

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 147**

51 Int. Cl.:
G01N 29/06 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01)
G01N 29/26 (2006.01)
G01N 29/265 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07788926 .9**
96 Fecha de presentación: **25.06.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2035822**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.03.2009**

54 Título: **Control no destructivo de productos siderúrgicos por ultrasonidos**

30 Prioridad:
30.06.2006 FR 0605923

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.03.2012

73 Titular/es:
V & M FRANCE
27 AVENUE DU GÉNÉRAL LECLERC
92100 BOULOGNE-BILLANCOURT, FR

72 Inventor/es:
BISIAUX, Bernard;
LESAGE, Frédéric;
PETIT, Sébastien y
DEUTSCH, Sylvain

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 377 147 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 de productos siderúrgicos por ultrasonidos.

La invención concierne al control no destructivo de materiales, en particular para tubos en fabricación.

5 Ya son conocidas diferentes propuestas, las cuales retomaremos, tendentes a utilizar las redes neuronales en el contexto del control no destructivo de materiales. Pero la naturaleza de las existentes no está concebida para funcionar en entorno industrial, sobre equipos ya en servicio, en tiempo real y que permitan al propio tiempo una clasificación al vuelo de las imperfecciones según su naturaleza, de modo que se pueda subsanar rápidamente un problema acaecido en fase de producción.

El objeto de la invención es el de mejorar la situación hacia un sistema que pueda:

- 10 - ser utilizado en entorno industrial y fácilmente implantado en equipos ya existentes en este entorno,
- ser utilizado en tiempo real, es decir, dar un diagnóstico rápido (a una velocidad suficiente para no ralentizar la velocidad de producción global), y
- que permita una clasificación de las imperfecciones según su naturaleza en orden a conocer su gravedad y a permitir la determinación de la causa técnica originaria de la imperfección y, así, rápidamente subsanar el problema en fase de producción.

20 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se propone un dispositivo configurado como herramienta de ayuda para la explotación, para el control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso y a la salida de fabricación. Una herramienta de este tipo está destinada a extraer información sobre eventuales imperfecciones del tubo. Unos sensores ultrasónicos emisores son excitados selectivamente según una ley de tiempos elegida. Unas señales de retorno son captadas por unos sensores ultrasónicos receptores que determinan una disposición de geometría elegida, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido. Finalmente, generalmente hay un movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores.

La herramienta propuesta de ayuda para la explotación comprende:

- 25 - un convertidor, capaz de aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en unas ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, y de extraer de ella una imagen de posibles imperfecciones en el tubo,
- un filtro, capaz de determinar, en las imágenes, zonas de presunta imperfección, así como propiedades de cada presunta imperfección,
- 30 - un combinador, acomodado para preparar entradas digitales de circuito neuronal, a partir de un extracto de las imágenes correspondientes a una zona de presunta imperfección, de propiedades de la presunta imperfección en la misma zona, procedentes del filtro, y de datos de contexto,
- al menos un circuito neuronal, que recibe entradas procedentes del combinador,
- una etapa digital de decisión y alarma, que opera sobre la base de la salida del circuito neuronal, y
- 35 - un autómata de selección y de marcado, acomodado para descartar y marcar tubos que la etapa digital de decisión y alarma ha decidido que son no conformes.

La invención también se puede ubicar a nivel de un dispositivo de control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso o a la salida de fabricación, que comprende:

- 40 - una disposición de transductores ultrasónicos de geometría elegida, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
- circuitos para excitar selectivamente estos elementos transductores, según una ley de tiempos elegida, y para recoger las señales de retorno que captan, y
- una herramienta de ayuda para la explotación según se ha definido anteriormente, y que se detalla más adelante.

Otro aspecto de la invención se expresa en forma de procedimiento de control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso o a la salida de fabricación, que comprende las siguientes etapas:

- a. prever una disposición de transductores ultrasónicos de geometría elegida, montada en acoplamiento

ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,

- b. excitar selectivamente estos elementos transductores según una ley de tiempos elegida,
- c. recoger las señales de retorno que captan estos, con el fin de analizar selectivamente estas señales de retorno, para extraer de ellas información sobre eventuales imperfecciones del tubo.

El procedimiento propuesto comprende además las siguientes etapas:

- d. aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en unas ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, y extraer de ella una imagen de posibles imperfecciones en el tubo,
- e. filtrar las imágenes según unos criterios de filtrado elegidos, con el fin de determinar en ellas unas zonas de presunta imperfección, así como propiedades de cada presunta imperfección,
- f. formar entradas digitales de circuito neuronal, a partir de un extracto de las imágenes correspondientes a una zona de presunta imperfección, de propiedades de la presunta imperfección en la misma zona, procedentes del filtro, y de datos de contexto,
- g. aplicar las entradas así formadas a al menos un circuito neuronal,
- h. tratar digitalmente la salida del circuito neuronal según unos criterios de decisión elegidos, para extraer de ella una decisión y/o una alarma, y
- i. descartar y marcar tubos que mediante la etapa h. se ha decidido que son no conformes.

Otros aspectos de la invención se encontrarán en la continuación de la presente solicitud de patente.

- Otras características y ventajas de la invención se irán poniendo de manifiesto conforme se examine la descripción detallada que sigue, así como los dibujos que se acompañan, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un tubo, que tiene imperfecciones o defectos llamados patrones;

- la figura 2 es una vista lateral esquemática que ilustra un ejemplo de instalación del tipo "control con cabezal giratorio" sobre un tubo a la salida de fabricación;

las figuras 3A a 3C son sendos detalles de diferentes tipos de medida de espesor y de control de imperfecciones longitudinales y transversas;

la figura 4 es el esquema de principio de la electrónica asociada a un sensor ultrasónico en control no destructivo en una instalación tradicional;

- las figuras 5A y 5B son una vista desde un extremo y una vista lateral de un tipo particular de celda de control no destructivo, denominado comúnmente "de cabezal giratorio" y representado esquemáticamente;

la figura 6 muestra la complejidad de los trayectos ultrasónicos que se dan en un tubo, sobre un ejemplo simple;

las figuras 6A y 6B son sendos 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 un grafo que muestra una representación clásica de la selectividad de una instalación de control;

la figura 8 es un esquema de principio de la electrónica asociada a un sensor ultrasónico en control no destructivo en un ejemplo de instalación susceptible de poner en práctica la invención;

la figura 8A es el esquema funcional más detallado de una parte de la figura 8;

- la figura 9 es una copia de pantalla esquematizada que ilustra dos imágenes ultrasónicas digitalizadas de potenciales imperfecciones en un tubo;

las figuras 10A a 10D son sendas 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 tendente 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 12 es un diagrama secuencial que ilustra el tratamiento de potenciales imperfecciones sucesivas en una

imagen;

la figura 13 es el esquema funcional de un sistema de filtros utilizables según la invención;

la figura 14 es el esquema funcional de un montaje de red neuronal tendente a determinar el tipo de una imperfección en un tubo;

5 la figura 15 es el esquema funcional de un montaje de red neuronal tendente a determinar el grado de profundidad 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

10 la figura 18 es el esquema general de una instalación que utiliza la invención para la detección de los defectos sobre diferentes tipos de sensores.

Los dibujos contienen elementos de carácter indiscutible. Por lo tanto, podrán no sólo servir para hacer comprender mejor la presente invención, sino también contribuir a su definición, si es el caso.

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

15 Usos conocidos de las redes neuronales

La utilización de redes neuronales en el contexto del control no destructivo de materiales ha sido objeto de numerosas publicaciones, la mayor parte del tiempo bastante teóricas, a las que se nos remitiremos a continuación.

20 El artículo "Localization and Shape Classification of Defects using the Finite Element Method and the Neural Networks" de ZAOUI, MARCHAND y RAZEK (NDT.NET - AGOSTO de 1999, vol. IV n.º resumen 8) formula propuestas en este campo. Sin embargo, estas propuestas están realizadas en el ámbito de manipulaciones en laboratorio y la aplicación descrita no permite una puesta en práctica en línea, en entorno industrial. Además, sólo se trata la detección mediante corrientes de Foucault, lo cual en muchas ocasiones es insuficiente.

25 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, pp. 37-47, 1996), describe la aplicación del tratamiento de imágenes y de las redes neuronales en la interpretación del denominado "scan TOFD". El procedimiento llamado TOFD (Time of Flight Diffraction) consiste en señalar las posiciones del sensor ultrasónico donde se puede observar una difracción del haz sobre los bordes de la imperfección, lo cual permite en lo sucesivo dimensionar la imperfección. Este procedimiento es difícilmente adaptable en los equipos de control no destructivo ya existentes, en especial en entorno industrial.

30 El artículo "Shape Classification of Flaw Indications in 3-Dimensional ultrasonic Images" de Dunlop y McNab (IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology -- July 1995 -- Volume 142, Issue 4, p. 307-312) concierne al diagnóstico en términos de corrosión de oleoducto. El sistema permite un control no destructivo en profundidad y permite un estudio en las tres dimensiones y en tiempo real. Sin embargo, el sistema es muy lento. Esto hace relativamente difícil su utilización en entorno industrial.

35 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 mediante la utilización de elementos de lógica borrosa, mezclados con la red de neuronas. Sin embargo, las técnicas estudiadas conciernen, también aquí, a la inspección de imperfecciones de oleoducto y a un diagnóstico sobre imperfecciones de corrosión.

El documento DE4201502C2 describe un procedimiento para crear una señal destinada a una red de neuronas, pero pocas o ningunas enseñanzas aporta sobre la interpretación de los resultados, en términos de diagnóstico. Además, una vez más, sólo se trata la detección mediante corrientes de Foucault.

40 La publicación de patente japonesa 11-002626 concierne a la detección de imperfecciones longitudinales únicamente, y solamente mediante corrientes de Foucault.

La publicación de patente No. 08-110323 se limita a un estudio en frecuencia de las señales obtenidas por ultrasonidos.

45 La publicación de patente No. 2003-279550 describe un programa para diferenciar entre una zona calificada de sana y una zona defectuosa de un producto utilizando una red de neuronas. Este programa no va más allá y no permite la clasificación ni la localización de imperfecciones. Por consecuencia, la aplicación de este programa puede conducir frecuentemente al rechazo de piezas que, no obstante, podrían ser consideradas como buenas si los resultados

fueran interpretados por un operario humano.

Control no destructivo de tubos - Estado de la técnica

La descripción detallada que sigue se da esencialmente en el contexto del control no destructivo de tubos a la salida de fabricación, a título no limitativo.

5 Como se indica en la figura 1, las imperfecciones en un tubo T se pueden distinguir atendiendo a su posición. Así, las imperfecciones de superficie, interna o externa, comprenden las imperfecciones longitudinales LD, y las imperfecciones circunferenciales (o transversas o transversales) CD y las imperfecciones oblicuas o inclinadas ID; mediante diferentes disposiciones de sensores, se pretende detectarlas en cuanto se extienden por una longitud y una profundidad definidas según las normas o las especificaciones o pliegos de condiciones técnicas de los clientes (a título de ejemplo, un valor de longitud de imperfección citado en las normas es de 1/2 pulgada, esto es, aproximadamente 12,7 mm con una profundidad de aproximadamente el 5 % del espesor del producto controlado). También se presta interés a las imperfecciones «en la pared», es decir, en la masa MD (no visibles en la figura 1), que a menudo corresponden a inclusiones o pliegues de laminación, los cuales se pretende detectar al mismo tiempo que se toma una medida de espesor. Los haces ultrasónicos vienen representados divergentes en la Figura 1 para hacer comprender la detección de imperfecciones. En la práctica, tal y como se verá, estos son más bien convergentes.

20 Según es convencional, en control no destructivo por ultrasonidos, se utiliza uno de los tres siguientes tipos de instalaciones: las instalaciones llamadas "de cabezal giratorio", las instalaciones llamadas "de tubo giratorio" y las instalaciones de sensor circundante de multielemento, 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 y como aquí se utiliza, la expresión "movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores" abarca el caso en el que la rotación relativa es virtual.

25 En la figura 2, la máquina de control no destructivo de cabezal giratorio comprende un dispositivo de ultrasonidos propiamente dicho, montado sobre un recinto de agua o "caja de agua" 100, que el tubo T atraviesa a la velocidad $v = 0,5$ metros por segundo, por ejemplo. Los sensores o palpadores de ultrasonidos emiten ondas longitudinales en el agua. Un sensor dado trabaja por ejemplo a 1 o varios MHz. Éste es excitado repetidamente mediante pulsos, de forma de onda elegida, a una cadencia (o frecuencia) de recurrencia F_r que es del orden de varios kHz o decenas de kHz, por ejemplo de 10 kHz.

Por otro lado, un transductor de ultrasonidos posee:

30 - una radiación de campo cercano, prácticamente paralela, dentro de una zona llamada de Fresnel, foco 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

35 - una radiación de campo lejano, dentro de una zona llamada de Fraunhofer, según un haz divergente de ángulo 2α , con

$$\sin \alpha = 1,22 \lambda / D$$

Las figuras 3A, 3B, 3C representan sendos sensores hechos convergentes por medio de una lente (de ultrasonidos) cóncava, tal y como son utilizados comúnmente en las aplicaciones para los tubos. Preferentemente se utiliza la zona de Fraunhofer, menos perturbada.

40 Así, para unos sensores tales como P11 y P12, el haz de ultrasonidos, que en general está focalizado, se extiende en la proximidad de un plano perpendicular al eje del tubo T. La detección se lleva a cabo, por tanto, en sección recta. Sus funciones son las siguientes:

- o bien su haz también es perpendicular al eje del tubo T en la sección recta, y sirven para la medición de espesor (por ejemplo P1, figura 3A); se habla entonces de "palpación recta";

45 - o bien su haz incide sobre el eje del tubo T, en sección recta, y sirven para detectar las imperfecciones longitudinales (por ejemplo P11, figura 3B). En tal caso, el ángulo de incidencia en la sección recta se elige preferentemente para no originar en el tubo más que ondas ultrasónicas transversales o de cizallamiento, habida cuenta de las características de la interfase agua/metal del tubo (en principio, agua/acero). Se prevén generalmente dos sensores P11 y P12, de incidencias opuestas con relación al eje del tubo (figura 2).

50 La máquina también comprende dos sensores tales como P21 y P22 cuyo haz de ultrasonidos, por el contrario, que asimismo por regla general está focalizado, se extiende en la proximidad de un plano pasante por el eje del tubo, pero incidente con relación al plano perpendicular al eje del tubo T (ver sensor P21, Figura 3C). En tal caso, el

- ángulo de incidencia con relación al plano perpendicular al eje del tubo se elige preferentemente para no originar en el tubo más que ondas ultrasónicas transversales o de cizallamiento, habida cuenta de las características de la interfase agua/metal del tubo (en principio, agua/acero). Estos sensores sirven para detectar las imperfecciones transversas. Se prevén generalmente dos sensores P21 y P22, de incidencias opuestas con relación al plano perpendicular al eje del tubo (figura 2).
- El control de las imperfecciones generalmente se lleva a cabo focalizando el haz. El punto de focalización se mide con relación al "salto", que corresponde al primer trayecto de ida y vuelta de los ultrasonidos por el espesor del tubo. Así, el sensor de la figura 3A está focalizado al medio salto, en tanto que los sensores de las figuras 3B y 3C están focalizados a tres cuartos de salto. Por otro lado, el control de las imperfecciones externas generalmente se lleva a cabo al salto, y el de las imperfecciones internas, al medio salto.
- Se señala 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 tiempos siguientes:
- por una parte, 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, por el trayecto de los ultrasonidos,
 - por otra parte, el tiempo de propagación de ondas ultrasónicas transversales, tal y como es preciso en el interior del tubo para llevar a cabo el propio control 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.
- Clásicamente, los palpadores son accionados giratoriamente alrededor del eje del tubo, mediante unos medios no representados, a una velocidad T del orden de varios miles de vueltas por minuto, (6000 rpm por ejemplo). En el caso también conocido por el experto en la materia en el que es el tubo el que es accionado giratoriamente mientras que los palpadores no son accionados giratoriamente (instalación llamada "de tubo giratorio"), la velocidad de giro del tubo es del orden de unas decenas o unos miles de vueltas por minuto.
- Podemos llamar "celda" a cada conjunto sensor - medio de transmisión (agua) - tubo. Para una celda, se debe considerar además la abertura de haz O_d de los palpadores de ultrasonidos en detección. Una abertura se puede definir con dos componentes (figura 1), una O_{d1} en la sección recta del tubo, la otra O_{d2} en el plano pasante por el eje del tubo y el palpador.
- El ajuste de la instalación (en función de la velocidad de giro, de la velocidad de progresión, de las dimensiones O_{d1} y O_{d2} y del número de palpadores) debe garantizar un barrido por los haces ultrasónicos del conjunto de las superficies y del volumen del tubo que ha de controlarse.
- Es de señalar que determinadas normas o pliegos de prescripciones técnicas o especificaciones de los clientes dictan un solapamiento de las zonas barridas.
- El tiempo de análisis T_a queda, pues, definido por un compromiso entre:
- la cadencia (o frecuencia) de recurrencia F_r ,
 - en una sección recta del tubo, la velocidad de giro ω , habida cuenta de la abertura en detección O_{d1} de los palpadores de ultrasonidos (en otras palabras, habida cuenta del giro de los sensores, la componente O_{d1} de la abertura de haz debe permitir un tiempo de presencia de la imperfección frente a los sensores que sea al menos igual a T_a),
 - la longitud del tubo, la velocidad de progresión v del mismo, habida cuenta de la abertura en detección O_{d2} de un palpador de ultrasonidos y del número N_{Fi} de palpadores consagrados a la misma función F_i (que constituyen por tanto un grupo de palpadores), sobre la periferia del tubo (en otras palabras, habida cuenta del avance del tubo, la componente O_{d2} de la abertura de haz debe permitir un tiempo de presencia de la imperfección frente al sensor (o al grupo de sensores) que sea al menos igual a T_a),
 - el número de palpadores dedicados al mismo cometido (es decir, a la misma función), y
 - los tiempos de propagación de las ondas tales como se han definido anteriormente.
- Clásicamente, la máquina comprende típicamente 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 medición del espesor del producto y el control de las imperfecciones de tipo MD. Cada sensor puede ser, de hecho, un grupo de sensores trabajando juntos, tal como se verá.
- La máquina posee, de manera integrada o aparte, una electrónica de excitación y de detección asociada a cada uno de los sensores. Comprende ésta (figura 4) un emisor de pulsos 70, por ejemplo a 250 voltios para la excitación del

palpador P0 montado sobre la caja de agua 100. Como parte integrante del sistema de control no destructivo, el palpador de ultrasonidos P0, en el presente caso emisor/receptor, recibe los ecos consecuentes a esta excitación. Las líneas 700 y 710 transmiten respectivamente el pulso de excitación y la señal en bornes del palpador a un amplificador 73.

- 5 La salida del amplificador 73 sirve para la visualización por parte del operario y/o para el mando de un autómatas de selección, capaz de descartar (aguas abajo) los tubos no conformes.

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 el deslumbramiento del osciloscopio en el momento del pulso de emisión.

- 10 Otra salida del amplificador 73 se dirige hacia una etapa de tratamiento de señal 760. Este tratamiento comprende generalmente una rectificación, un alisamiento y un filtrado. Viene seguido de una etapa de detección o selector 762, capaz de aislar los ecos significativos, de una manera conocida. En la detección de la imperfección, es la presencia de un eco, con su amplitud o su duración (por tanto, de su energía), los que son significativos, en algunas franjas temporales, esencialmente el semisalto y el salto. Para la detección en espesor, se comprueba que el equivalente distancia de la diferencia de tiempo entre los respectivos ecos de fondo se corresponde perfectamente con el espesor deseado del tubo. Las anomalías detectadas según estos criterios pueden servir para emitir una alarma en 764 y/o para pilotar un autómatas de selección 766 que expulsa los tubos no conformes, marcándolos según la o las anomalías detectadas.

- 20 Materialmente en el caso de una instalación de cabezal giratorio (figuras 5A y 5B), la celda comprende aún, sobre un soporte mecánico 80, la caja de agua 100, que aloja un conjunto sensor P0, con una conexión 701, que aúna las líneas 700 y 710 de la figura 4. Se prevén por ejemplo tres rodamientos 81 a 83 para centrar el tubo T.

- 25 Según la técnica conocida (máquina vendida, por ejemplo, por la compañía alemana GE NUTRONIK, antiguamente NUKEM), el conjunto sensor P0 comprende unos sensores que giran a unos miles de vueltas/minuto alrededor del tubo. Se puede utilizar asimismo una pluralidad de sensores distribuidos en anillo alrededor del tubo. El anillo comprende por ejemplo 6 sectores de 128 sensores ultrasónicos, distribuidos alrededor de la periferia. Los sectores de sensores se hallan alternativamente ligeramente desplazados en el sentido del eje del tubo. Ello permite tener un solapamiento entre dos sectores de sensores consecutivos longitudinalmente y reduce asimismo los problemas de interferencias. La interferencia surge cuando un sensor dado recibe ecos debidos a un disparo efectuado en otro sensor.

- 30 A esto se suma un banco (no representado) de guiado del tubo aguas arriba y aguas abajo de la estación de control no destructivo, para posicionar debidamente el tubo que progresa en continuo, con relación a los sensores de ultrasonidos.

- 35 El control no destructivo debe llevarse a cabo en toda la periferia del tubo. Pero asimismo es esencial que este control siga la velocidad lineal v del tubo a la salida de fabricación. Se llega por tanto a un compromiso entre la velocidad lineal v del tubo, la cadencia (o frecuencia) de recurrencia F_r , el tiempo de análisis T_a , la abertura de trabajo O_d del palpador de ultrasonidos en detección, y la velocidad de giro ω , el número de sensores que desempeñan la misma función y la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas.

- 40 Asimismo es deseable que la misma instalación pueda trabajar con toda una gama de diámetros de tubos (y también de espesores de tubos), que abarquen la gama de producción. Es frecuente entonces prever varios valores de la velocidad de giro ω y de la frecuencia de recurrencia F_r , valores que se seleccionan en función del diámetro del tubo que ha de tratarse.

- 45 Se señalará finalmente que cualquier cambio de fabricación implica un nuevo ajuste de los ángulos de ataque de los ultrasonidos de cada sensor sobre la periferia del tubo. Esta delicada operación, efectuada manualmente, lleva corrientemente del orden de media hora, tiempo durante el cual queda detenida la producción de tubos. Tales son las condiciones en las que actualmente se efectúa el control no destructivo por ultrasonidos de los tubos, o de otros productos perfilados y/o de paredes delgadas, a la salida de fabricación.

En el campo del control no destructivo por ultrasonidos, se utiliza con frecuencia la siguiente terminología:

- «barrido» (o «Scan») designa una sucesión de posiciones relativas tubo/sensor,
- 50 - «incremento» designa el paso de barrido (inversamente proporcional a la frecuencia de recurrencia o frecuencia de disparos ultrasónicos),
- «Ascan» designa el grafo de la tensión eléctrica medida en bornes de un sensor ultrasónico, con, en abscisas, el tiempo de vuelo y , en ordenadas, una representación de la tensión eléctrica, asimismo denominada amplitud ultrasónica,
- «Bscan» designa una imagen relativa a un valor dado del incremento, con, en abscisas, el barrido

correspondiente al disparo ultrasónico, en ordenadas, el tiempo de vuelo y, en cada punto, la amplitud ultrasónica convertida en degradado de grises,

- «Ecodinámica» designa un grafo con, en abscisas, la indicación del disparo ultrasónico y, en ordenadas, la amplitud máxima recogida en un selector temporal del Ascan para el disparo correspondiente,

5 - «Cscan» designa una imagen con, en abscisas y en ordenadas, la posición equivalente en un espacio plano del punto de disparo de la onda ultrasónica y que representa, convertida a degradado de grises, la amplitud ultrasónica máxima para ese disparo recogida en el selector temporal en cuestión del Ascan ("amplitud de la imagen"). En el caso de un tubo, un punto de la abscisa del Cscan corresponde a una posición sobre la longitud del tubo y un punto de la ordenada corresponde a una posición sobre la circunferencia del tubo. En el caso de un
10 producto plano, un punto de la abscisa del Cscan corresponde a una posición sobre la longitud del producto plano y un punto de la ordenada corresponde a una posición sobre el ancho del producto plano.

La figura 6 es una vista en sección longitudinal esquemática de un sistema conformado por un sensor, por su columna de agua y por el tubo, y con ilustración de diferentes trayectos ultrasónicos determinantes de ecos. Ésta permite comprender bien la complejidad de estos trayectos y la dificultad del análisis.

15 La figure 6A es un diagrama amplitud/tiempo esquemático de la señal ultrasónica a nivel de un sensor que trabaja bajo incidencia oblicua. A partir del instante Texcit de excitación del sensor, encontramos un eco de interfase agua-tubo en el instante Tinterf (que se puede señalar asimismo con TphiExter0). A continuación vienen marcados (trazo de puntos vertical) el instante TphiInter, en el que el haz de ultrasonidos llega hasta el revestimiento interno del tubo, donde se refleja y refracta, así como el instante TphiExter1, en el que el haz de ultrasonidos llega hasta el
20 revestimiento externo del tubo. Como consecuencia de la incidencia oblicua, no se produce un eco reflejado significativo que regresa al sensor en TphiInter en ausencia de imperfección en ese lugar. Esto también se cumple en TphiExter1.

25 La figure 6B es un diagrama amplitud/tiempo esquemático de la señal ultrasónica a nivel de un sensor que trabaja bajo incidencia normal. La cronología general de las señales es la misma que para la figura 6A (con un margen de diferencia de un factor, relacionado con la incidencia). Por el contrario, bajo incidencia normal, se dan ecos significativos en TphiInter y en TphiExter1, incluso en ausencia de imperfección en los lugares afectados del tubo.

Actualmente, los sistemas de control no destructivo utilizados en producción de los tubos funcionan estableciendo la relación K entre:

- la amplitud A_s de una señal proveniente del tubo que ha de inspeccionarse, y

30 - la amplitud A_0 de la señal proveniente de un defecto patrón de referencia, para el tipo de control en cuestión. Este «defecto patrón de referencia» se define en general en un tubo patrón dotado de un defecto artificial (por ejemplo, una entalladura en U o en V) de características dimensionales elegidas, por ejemplo de conformidad con una norma de control no destructivo y/o con el pliego de especificaciones técnicas de un cliente.

35 La suposición implícita es que esta amplitud de señal es proporcional a la criticidad de la imperfección, es decir, a su profundidad (DD). El grafo de la figura 7 (bien conocido por el experto en la materia, véase Nondestructive Testing Handbook - capítulo statistics del volumen 7 publicado por la ASNT - American Society for Nondestructive Testing) representa la distribución real $K = f(DD)$. Éste muestra que, en realidad, la correlación es muy mala (del orden de 0,3 a 0,4 para el control por ultrasonidos).

40 Más precisamente, en el grafo de la figura 7, si se fija la amplitud de referencia A_0 ($K=1$) al valor XL (profundidad de la imperfección máxima aceptable) en el centro de la distribución (centrada a su vez en la oblicua TDis), se ve que aún se pueden encontrar imperfecciones a $K = 0,5$ de profundidad DD superior a XL. Así resulta que, por prudencia, se impone fijar A_0 para un valor netamente más bajo que XL. Consecuentemente, en la producción se descartan tubos que, no obstante, de hecho serían satisfactorios. Esto es nefasto económicamente, tanto más cuanto que las técnicas de fabricación de tubos siguen siendo bastante pesadas, tanto en complejidad como en necesidades de
45 energía.

La firma solicitante se ha esforzado por mejorar la situación.

La figura 8 representa un dispositivo semejante al de la figura 4, pero modificado para la puesta en práctica de la invención.

50 La salida del amplificador 73 se aplica a una etapa 761, que digitaliza la amplitud de la señal procedente del amplificador 73 y trabaja con esta señal digitalizada. Este tratamiento será descrito posteriormente con referencia a la figura 11. Se pueden conservar a continuación unas etapas 764 y 766 funcionalmente semejantes a aquellas de la figura 8. La señal bruta del sensor, tal como queda visible en el osciloscopio 750, es denominada A-Scan por los expertos en la materia. Comprende ésta unos ecos según el esquema definido mediante la figura 6.

Es deseable pasar a una formación de imágenes de las imperfecciones del tubo, con ayuda de las señales de

ultrasonidos. Se describirá a continuación la obtención de una imagen.

En la práctica, una imagen se obtiene atendiendo a varias exploraciones sucesivas del tubo mediante un sensor Px, bajo sucesivos ángulos que cubren sensiblemente una sección recta del tubo. Es posible hacerlo con disparos sucesivos mediante un sólo sensor, utilizando la rotación relativa tubo/sensor.

5 Nos ponemos en este punto, a título de ejemplo no limitativo, en el caso de una instalación de la clase llamada de cabezal giratorio.

En la figura 8A, se considera un sensor Px, que puede ser de uno de los tipos P1, P11, P12, P21 y P22 antedichos. En el ejemplo ilustrado, este sensor Px comprende de hecho n sensores elementales Px-1, ..., Px-i, ..., Px-n, que se hallan alineados según el eje longitudinal del tubo y que son objeto de un disparo ultrasónico en el mismo momento.

10 En la figura 8A, lo que se halla entre los sensores elementales y las imágenes de salida 769A y 769B se puede considerar un convertidor.

La señal Ascan del primer sensor elemental Px-1 se aplica a un amplificador 73-1, seguido de dos canales paralelos: el del selector 761-1A, seguido del digitalizador de línea 765-1A, y el del selector 761-1B, seguido del digitalizador de línea 765-1B.

15 Basándose en la información obtenida al paso del tubo patrón, el operario introduce en el selector 761-1A la información T_1A correspondiente a una indicación de posición y de ancho temporal, que le designa, en función de la geometría conocida del tubo, los instantes en los que va a encontrar un «eco de revestimiento interno», relativo al interior del tubo, por ejemplo el primer eco *Int1* de la figura 6. La figura 6A muestra más netamente la ventana temporal «Int» correspondiente, alrededor de T_{philnter} .

20 Igualmente, basándose en la información obtenida al paso del tubo patrón, el operario introduce en el selector 761-1B la información T_1B correspondiente a una indicación de posición y de ancho temporal, que le designa, en función de la geometría conocida del tubo, los instantes en los que va a encontrar un «eco de revestimiento externo», relativo al exterior del tubo, por ejemplo el primer eco *Ext1* de la figura 6. La figura 6A muestra más netamente la ventana temporal «Ext» correspondiente, alrededor de T_{phiExter} .

25 El esquema se repite para los demás sensores Px-2, ... Px-i, ... Px-n.

Así, cada selector temporal 761 trabaja por ventanas temporales, habida cuenta del instante de emisión de los ultrasonidos y de los intervalos de tiempo predeterminables en los que cabe esperar ecos referentes a ese selector. La ilustración de las figuras 6 muestra cómo se pueden definir los intervalos de tiempo interesantes, habida cuenta del ángulo de ataque del haz de ultrasonidos sobre el tubo, así como del diámetro (interno o externo) y del espesor del tubo. Un intervalo de tiempo dado corresponde a un eco dado en un punto dado del tubo, para una posición relativa dada entre el tubo y el sensor.

30

Para mayor simplicidad, se admite en el presente caso que los instantes de disparos están sincronizados en la rotación relativa tubo/sensores, de modo que un sensor elemental siempre trabaja sobre la misma generatriz longitudinal del tubo. La salida de su selector proporciona por tanto una sucesión espaciada de muestras analógicas de señal, que corresponden cada una de ellas a la amplitud de un eco esperado sobre una pared del tubo. Estas muestras del sensor Px-1 (por ejemplo) son digitalizadas en 765.

35

El sincronismo con la emisión se puede asegurar mediante un enlace (no representado) con el emisor 70, o con su disparador, el circuito de sincronización 753 o su base de tiempos 752 (figura 8). La presentación 750 se puede mantener, si se desea. El sistema puede funcionar en tubo giratorio a velocidad sensiblemente constante. En este caso, la velocidad angular y el avance del tubo se pueden medir con ayuda de un codificador angular preciso, por ejemplo el modelo RS0550168 suministrado por la compañía Hengstler, y de un velocímetro láser, por ejemplo el modelo LSV 065 suministrado por la compañía Polytec. El tubo también puede no girar, en tanto que el que gira es el sistema de sensores. En tal caso, el velocímetro láser basta para medir el avance del tubo, en tanto que la velocidad de rotación de los sensores es conocida por medio de un codificador angular.

40

45 Para un disparo dado, el conjunto de los sensores Px-1 a Px-n proporciona una línea de una imagen, que corresponde a una sección recta del tubo. En la otra dimensión de la imagen, un sensor elemental dado proporciona una línea que corresponde a una generatriz del tubo.

Los digitalizadores 765-1A, 765-2A, ..., 765-iA, ..., 765-nA permiten rellenar una imagen «interna» 769A, relativa al revestimiento interno del tubo. Los digitalizadores 765-1B, 765-2B, ..., 765-iB, ..., 765-nB permiten rellenar una imagen «externa» 769B, relativa al revestimiento externo del tubo (a la salida, se utilizan trazos de puntos y rayas para dotar de claridad al esquema).

50

La imagen memorizada en 769A o 769B, que es un Cscan tal como se ha definido anteriormente, vale para el sensor o grupo de sensores Px en cuestión. Cada punto de esta imagen corresponde, trasladado a escala de grises, a un valor extraído de la amplitud del eco debido a la reflexión de la señal de ultrasonidos sobre una eventual imperfección de la zona en cuestión del tubo. Este valor (señalado en adelante con K) puede representar la relación

55

entre la amplitud máxima de la señal ultrasónica captada sobre el tubo en curso de prueba y la amplitud máxima de la señal ultrasónica obtenida con un «defecto patrón de referencia» artificial, según está definido más arriba.

5 Esta imagen corresponde ahora a una zona del tubo, obtenida mediante la reunión de las zonas sensiblemente anulares del tubo que corresponden a cada una de las líneas digitalizadas. De hecho, se trata de zonas anulares si el haz de ultrasonidos es aplicado sensiblemente perpendicularmente al eje del tubo. Es sabido que ocurre de modo diferente para algunos tipos de imperfecciones. Las zonas son entonces más bien elípticas y, de hecho, alabeadas o "torcidas" en el espacio. En la presente descripción, la expresión "zonas anulares" abarca estas diferentes posibilidades.

10 Es de señalar que, para obtener esta reconstitución completa de la imagen C-Scan, es necesaria la información suplementaria de posicionamiento del tubo con relación al sensor. Ésta se halla disponible como entrada separada 740. Esta información viene de un codificador XYZ o de un láser XYZ. Como el tubo se puede equiparar a un cilindro sin espesor, la información de posición se puede reducir a dos dimensiones.

Se comprende que la puesta en práctica de la invención sobre un banco existente de control por ultrasonidos ("UT bench") implica:

- 15 - la accesibilidad a los datos brutos de control por ultrasonidos ("UT Raw Data"), que se lleva a cabo, por ejemplo, con ayuda de una tarjeta de adquisición, como el modelo NI 6024 serie E o NI 6251 serie M de la compañía National Instrument,
- la disponibilidad de una información en línea sobre la velocidad de rotación (del tubo o del cabezal de sensores), y
- 20 - la disponibilidad de una información en línea sobre la velocidad de avance del tubo.

El esquema de la figura 8A se puede aplicar:

- 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 769A y una imagen externa 769B. A continuación, se puede elegir una de las imágenes en función de un comando señalado con «Int/Ext»,
- 25 - en paralelo a un sensor de tipo P21 y a un sensor de tipo P22, los cuales, una vez más, van a permitir cada uno de ellos obtener una imagen interna 769A y una imagen externa 769B.

30 El esquema de la figura 8A también se puede aplicar en un sensor de tipo P1, en cuyo caso se prevén tres vías paralelas detrás de cada amplificador (al menos virtualmente). Una de las vías funciona sobre una franja temporal repetitiva posicionada como se indica en «Volum.» en la figura 6B. Este canal permite un control de imperfecciones de volumen, es decir, en el espesor del tubo.

Las otras dos vías pueden funcionar respectivamente en las franjas temporales repetitivas posicionadas como se indica en «WphiExter0» y en «WphiInter1» en la figura 6B. Estas otras dos vías permiten una medición del espesor del tubo.

35 La distinción entre las 3 vías es meramente funcional (virtual). En efecto, dichas otras dos vías pueden ser físicamente la misma, en la cual se discriminan los instantes o franjas «WphiExter0» y «WphiInter1». También se puede utilizar una sola vía física, en la cual se discriminan los instantes o franjas «WphiExter0», «Volum.» y «WphiInter1».

H es representativo de describir con mayor detalle el caso de un sensor de tipo P11 con un sensor de tipo P12. Tal es lo que se hará a continuación.

40 Se recuerda que estos dos grupos de sensores P11 y P12 sirven para la detección de imperfecciones longitudinales en los tubos. El control ultrasónico se realiza con disparos de ultrasonidos (US) en dos direcciones priorizadas ("clock wise" - "counter clock wise"):

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

50 Así, las imperfecciones longitudinales son detectadas ventajosamente con 2 sensores o grupos de sensores de cuyo haz los ejes están inclinados simétricamente con relación a un plano perpendicular al eje del tubo. La inclinación es, por ejemplo, de aproximadamente +/- 17°. Esto proporciona un ejemplo de aplicación del sistema en dos sensores, o dos grupos de sensores, tal como se ha mencionado más arriba.

La figura 9 muestra un ejemplo de dos imágenes 901 y 902 de tipo C-Scan, una encima de la otra, con la misma

referencia de tiempo. Estas dos imágenes provienen respectivamente de la información de 2 grupos de sensores en situaciones opuestas, en el presente caso los grupos de sensores de tipo P11 y P12 (como variante, los grupos de sensores de tipo P21 y P22), y ello para uno de los dos casos «Interno» / «Externo».

5 Las imágenes de los bloques 901 y 902 representan la señal en nivel de gris (de hecho, en paleta de colores). Se presentan a voluntad indicaciones complementarias, entre ellas imágenes complementarias:

- 921, que es una vista de la amplitud de la señal según una línea vertical 911 elegida en la imagen 901,
- 922, que es una vista de la amplitud de la señal según una línea vertical 912 elegida en la imagen 902,
- 910, que contiene dos curvas, que representan el máximo encontrado en la vertical correspondiente en las imágenes 901 y 902, respectivamente.

10 Se hace referencia ahora a la figura 11. Los bloques de imágenes 901 y 902 representan las imágenes memorizadas para los grupos de sensores P11 y P12, por ejemplo tales como quedan visibles en la figura 9. La imagen 901 ha sido preparada de la manera ilustrada en la figura 8A. El bloque convertidor 891 de la figura 11 corresponde al montaje de la figura 8A, aplicado al sensor P11. Igualmente, el bloque convertidor 892 corresponde también al montaje de la figura 8A, pero aplicado al sensor P12. Los bloques convertidores 891 y 892 utilizan los
15 datos de contexto tubo/sensores del bloque 740. Estos datos son relativos a las características del tubo en curso de revisión y de los sensores en curso de utilización. Estos se transmiten asimismo a los bloques convertidores 891 y 892, a los bloques de imágenes 901 y 902, así como al bloque combinador 960.

20 Después de los bloques 901 y 902 se ilustran los filtros 921 y 922, que en particular permiten realizar extractos de las imágenes, y de sus datos de preparación, en cuanto datos de entrada reunidos por el bloque combinador 960 para el tratamiento neuronal 970, tal como se verá.

En la forma de realización descrita, 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 por consecuencia realiza un extracto de la imagen (Cscan) para la zona Zcur, y un acceso a la preparación de imagen 891 para obtener de ella información memorizada (llamada Ascan) relativa a la
25 zona Zcur. El conjunto de estos datos es transmitido por la función de extracción 951 al combinador 960, como entradas del tratamiento neuronal 970, al tiempo que una salida proporciona informaciones obtenidas mediante filtrado, al menos algunas relativas a la zona Zcur, las cuales éste transmite como entrada del tratamiento neuronal (combinador 960),
- como opción (trazo de rayas) unas salidas de datos complementarios hacia una memoria 990.

30 Lo mismo ocurre para el filtro 922, con la función de extracción 952, para la misma zona actual Zcur.

El tratamiento neuronal 970 alimenta una lógica de decisión y de alarma 992, que pilota un automatismo de selección y de marcado 994. Se puede prever una interfaz de interpretación por parte de un operario 996, la cual puede presentar la totalidad o parte de los datos contenidos en la memoria 990, con relación a la porción de tubo en curso de revisión.

35 En el presente caso, la figura 11 trata información proveniente como mínimo de dos grupos de sensores que cubren 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 tratar la información proveniente de un mayor número de grupos de sensores destinados a controles de diferente tipo. El número de imágenes tratadas al mismo tiempo queda aumentado en su tanto.

40 La función primaria de los filtros 921 y 922 es la de determinar zonas de imperfecciones en las imágenes Cscan 901 y 902. Con carácter general, el filtrado va acomodado para señalar las zonas que han de analizarse y distinguir en ellas las imperfecciones de las demás indicaciones. El filtrado trabaja sobre dos porciones homólogas de las dos imágenes de la figura 9. De hecho, los dos filtros trabajan conjuntamente, como se refleja mediante la vinculación bidireccional que los enlaza en la figura 11.

45 Mediante barrido de la imagen digital, se localizan primero los lugares de la imagen donde existen potenciales imperfecciones.

A tal efecto, es posible aplicar un único umbral fijo establecido mediante calibración.

La firma solicitante prefiere actualmente utilizar un umbral que se adapte al nivel de ruido en curso en la imagen. El procedimiento se fundamenta en la teoría de la detección de una señal en un ruido blanco, que puede fundamentarse en dos supuestos:

50 Supuesto H0: medida = ruido blanco de media m_b y de desviación tipo std_b

Supuesto H1: medida = señal + ruido blanco

Se procede a pruebas estadísticas, que permiten determinar si nos encontramos en el ámbito del supuesto H0 o del supuesto H1. Estos cálculos estadísticos se efectúan en tiempo real sobre n puntos deslizantes de la imagen correspondientes a disparos consecutivos, pudiendo determinarse el número n mediante el aprendizaje.

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

10 En la práctica, se corrobora 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 del material del producto controlado). La utilización de un umbral variable evita las falsas alarmas que se producen si se aplica un umbral fijo.

15 Entre otras indicaciones falsas susceptibles de aparecer, los parásitos se manifiestan en picos muy breves en la señal de ultrasonidos. Estos parásitos se pueden descartar mediante algoritmos simples que podemos llamar algoritmos de conteo acumulativo o incluso integradores (ejemplo: "n golpes antes de la alarma" o "doble umbral").

La firma solicitante ha considerado aún la "espira", que es el trayecto seguido por el sensor a lo largo de la superficie cilíndrica con la que se equipara el tubo. Se puede efectuar un filtrado a lo largo de cada espira para reducir aún más el porcentaje de falsas alarmas. A tal efecto se utiliza por ejemplo un filtro de Butterworth y/o una transformada de Fourier discreta, tal como una transformada rápida de Fourier. Esta técnica es aplicada en cada línea digital.

20 La misma clase de algoritmo se puede aplicar en el sentido de la longitud del tubo.

25 Así, se localizan potenciales imperfecciones. Cuando se señala una imperfección, su posición corresponde a la posición analizada en las imágenes de la figura 9 (por ejemplo). Esta imagen 2D corresponde a una desarrollada del tubo, equiparado a un cilindro sin espesor. Las indicaciones de posición radial/espesor (o más simplemente de situación interna, externa o en masa de la imperfección) se pueden representar como atributos de los puntos de la imagen. Tendremos así:

- dos imágenes 2D que representan las eventuales imperfecciones en el revestimiento externo del tubo,
- dos imágenes 2D que representan las eventuales imperfecciones en el revestimiento interno del tubo, y
- una imagen 2D que representa las eventuales imperfecciones en el espesor del tubo.

30 Se consideran ahora las imperfecciones «confirmadas», después de la eliminación, en particular, de los parásitos y de las falsas alarmas.

Para la continuación, la firma solicitante ha optado actualmente por trabajar sobre una zona de imagen de tamaño fijo. Hay que encuadrar por tanto esta zona sobre los datos de existencia de imperfección que se acaban de obtener.

35 En otras palabras, cabe posicionar los puntos señalados como si fueran superiores al umbral para determinar la zona completa alrededor de una imperfección. Esto es una necesidad, por ejemplo, si se desea determinar la oblicuidad de una imperfección.

El algoritmo se articula en torno a diferentes etapas:

- detección del contorno (por ejemplo gradiente de Roberts),
- dilatación (unificación de los contornos cercanos),
- erosión y posterior cierre, lo cual permite determinar una máscara alrededor de las imperfecciones,
- 40 - una última etapa de contorneo permite localizar completamente la imperfección.

Para cada imperfección, se obtienen así las coordenadas de la correspondiente zona de imagen, que serán útiles para el análisis mediante red de neuronas que interviene a continuación.

La figura 12 ilustra este tratamiento de las zonas de imagen en forma de un diagrama de flujo.

45 Al principio de las imágenes (801), se tiene de cero a p zonas de imagen por tratar, en calidad de presentar una imperfección confirmada. La operación 803 supone que existe al menos una primera zona, que sirve de zona actual que se va a tratar Zcur en 805. Para esta zona Zcur:

- la operación 807 extrae selectivamente los datos de las imágenes 901 y 902 que corresponden a esta zona (definida por sus coordenadas en la imagen),

- la operación 809 extrae selectivamente datos que han intervenido en la preparación de las imágenes 901 y 902, y que corresponden a la zona Zcur. Más adelante se darán ejemplos de estos datos,

- la operación 811 realiza el tratamiento neuronal propiamente dicho, el cual retomaremos.

5 - Los resultados obtenidos para la zona Zcur son memorizados selectivamente en 813, en correspondencia con una designación de la zona Zcur.

- La prueba 820 busca si existe otra zona por tratar en la imagen, en cuyo caso se recomienza en 805 con esta otra zona como se indica en 821; si no, se termina (822) el tratamiento de la o las imágenes en curso.

En el caso del tratamiento del sensor P1, no hay más que una sola imagen, lo cual cambia el número de parámetros de entrada. Aparte de eso, el tratamiento generalmente puede ser el mismo.

10 Tras la determinación de cada zona de interés Zcur, el filtrado puede incluir 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.

La figura 13 es semejante a la figura 11, pero sólo para la imagen 901. En ella aparecen:

- los elementos de contexto tubo-sensores del bloque 740,

15 - 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 en la zona Zcur en cuestión se halla situada en el revestimiento interno o en el revestimiento externo.

Lo que el filtrado añade a los datos de base se define, además de detalles que han de conocerse, para cada zona Zcur (bloque 805), como indica el contenido del marco a trazo de rayas:

20 - una búsqueda del ángulo de oblicuidad en 931,

- una indicación de longitud de imperfección 932,

a ello puede añadirse aún, en particular:

- una indicación de alineación en C-Scan, en 935, y

- en 936, una indicación sobre la existencia de otras imperfecciones en la misma sección recta del tubo.

25 En la forma de realización descrita, los datos tales como 935 y 936 van hacia la memoria 990. El resto va hacia las redes neuronales 970. Estas, en el presente caso, están separadas en dos funciones, como se verá a continuación.

Circuitos neuronales

30 Una imperfección en un tubo se puede definir por su posición, su tipo y su gravedad, a menudo equiparada con su profundidad. En la forma de realización descrita, el tipo y el grado de profundidad de una imperfección de tubo se determinan por separado con ayuda de dos procesos neuronales de igual estructura general, que ahora se detallarán en un ejemplo.

El caso del tipo de la imperfección es tratado según la figura 14, en tanto que el caso de la gravedad es tratado según la figura 15.

35 Los tipos se pueden definir, por ejemplo, tal como se ilustra en las figuras 10A a 10D. Estas figuras ilustran cuatro tipos, que constituyen una elección simplificadora con respecto a la lista de las imperfecciones suministradas por la API y que pueden ser producidas por los procedimientos de elaboración del tubo. Los epígrafes en español y en inglés son los utilizados por el experto en la materia para designar la naturaleza de las imperfecciones. Se observa que las imperfecciones de los tipos 1 y 3 son rectas, las de las figuras 2 y 4 arqueadas (con "chord").

Una correspondencia entre las imperfecciones reales y los cuatro referidos tipos se puede definir como sigue:

40

Nombre en francés	Nombre en inglés	Afectación
Entalla	Notch	TIPO 1
Grieta	Crack	TIPO 1
Costura/pliegue perpendicular o recto (laminación)	Seam (perpendicular)	TIPO 1
Costura/pliegue (laminación)	Seam (arcuate), "overlap"	TIPO 2
Astilla	Sliver	TIPO 3
Laminación de cuerpos extraños	Rolled-in-slug	TIPO 4
Arrancadura	Gouge	TIPO 4
Inclusión	Inclusion	TIPO 4
Deficiencia en el relleno ("falta de material")	Bore-slug	TIPO 4
Traslape/solape/pliegue	Lap	TIPO 4

En el presente caso, las figuras 14 y 15 utilizan ambas unos circuitos neuronales con tres neuronas intermedias (o "neuronas ocultas"), señaladas con NC121 a NC123 para la figura 14, y NC141 a NC143 para la figura 15.

5 Las figuras 14 y 15 tienen en común un cierto número de entradas. Para tratar de facilitar la comprensión, las entradas se ilustran mediante tipos diferentes de trazos. Los dobles trazos indican que las entradas son múltiples, es decir, repetidas para cada punto de la zona Zcur.

10 En primer lugar, en 7410, proviene una información, de acuerdo con el estado en cuestión de los selectores 761 concernidos, indicativa de si es cuestión de tratar con una imperfección situada en el revestimiento interno o en el revestimiento externo de la pared del tubo.

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

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

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

Se hace referencia ahora a la figura 14 solamente. La siguiente categoría 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 queda reflejado en el dibujo mediante el empleo de un doble trazo.

Para un primer sensor, tenemos:

25 - en 9511, *K1*, que es la relación entre la amplitud máxima de la señal ultrasónica hallada en la zona Zcur y en la imagen 901, respecto a la amplitud máxima del antedicho «defecto patrón de referencia». De hecho, en el ejemplo, la amplitud en cada píxel de la imagen 901 viene definida por esta relación; *K1* es, entonces, simplemente el máximo de amplitud hallado en la zona Zcur de la imagen 901; se señala con *Pmax1* el punto de la zona Zcur donde es hallado este máximo.

30 - en 9512, *QBE1*, que es una magnitud del C-Scan llamada *QuantBumpsEchodyn*, que representa el número de máximos locales hallados en la zona Zcur de la imagen 901 en la proximidad del punto *Pmax1* de amplitud máxima. Este número *QBE1* queda limitado a los máximos locales hallados en la proximidad de *Pmax1*, a uno y otro

lado, pero sin que la amplitud de la señal haya vuelto a descender por debajo de un nivel correspondiente al ruido de fondo. QBE1 tomará generalmente ya sea el valor 1, o bien el valor 2.

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

- 5 - en 9518, RT1, que es una magnitud que representa el tiempo de subida del eco en la señal ultrasónica nativa llamada A-Scan, (se trata de la diferencia entre el momento en que la señal es máxima y el último momento anterior en el que la señal se halla en el nivel del ruido de fondo, corrientemente expresado en microsegundos). Esta magnitud RT1 ha sido medida con anterioridad a la salida del amplificador 73 de que se trata (figura 8A); ha sido almacenada, por ejemplo en 891, en correspondencia con el punto del tubo al que concierne. Así es como puede ser recuperada selectivamente por el extractor 951.
- 10

Para el segundo sensor, tenemos:

- 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 hallado en la zona Zcur de la imagen 902; se señala con Pmax2 el punto de la zona Zcur donde es hallado este máximo.
- 15 - en 9522, QBE2 se define como QBE1, pero en la imagen 902 en lugar de la imagen 901, y en la proximidad de Pmax2. También aquí, QBE2 tomará generalmente ya sea el valor 1, o bien el valor 2.

Estas dos magnitudes provienen de la imagen 902, a través del extractor 952. A ello se añade:

- en 9528, RT2 que es una magnitud que representa el tiempo de subida del eco en la señal nativa llamada A-Scan. Al igual que anteriormente, esta magnitud RT2 ha sido medida con anterioridad a la salida del amplificador 73 de que se trata (figura 8A); ha sido almacenada, por ejemplo en 892, en correspondencia con el punto del tubo al que concierne. Así es como puede ser recuperada selectivamente por el extractor 952.
- 20

La última entrada 958 de la red neuronal es un valor constante, señalado con *ConstantA*, que representa una constante determinada en el reglaje del modelo y resultante del aprendizaje.

- 25 La salida 998 de la figura 14 es una magnitud indicativa del tipo de la imperfección y su inclinación media (definida en función del tipo).

El caso del grado de profundidad (o gravedad) de la imperfección es tratado según la figura 15. Las entradas son las mismas que para la figura 14, salvo:

- para el primer sensor, el bloque 9512 se sustituye por un bloque 9513, que trata una magnitud EW_1, o *EchodynWidth*, que es la anchura a media altura (50 %) de la forma de onda ecodinámica, para este primer sensor. Esta magnitud EW_1 es extraída del Cscan.
- 30 - igualmente, para el segundo sensor, el bloque 9522 se sustituye por un bloque 9523, que trata la magnitud EW_2, o *EchodynWidth*, que es la anchura a media altura (50 %) de la forma de onda ecodinámica, para este segundo sensor.
- en 959, la constante, señalada ahora con *ConstantB*, es diferente.
- 35 - la salida 999 es una indicación de gravedad de imperfección, señalada con DD.

Se hace constar que, en ambos casos (figuras 14 y 15), un circuito neuronal 970 dado trata un extracto de imagen 951 para uno de los grupos de sensores ultrasónicos, así como un extracto de imagen 952 correspondiente a la misma zona, pero proveniente de otro grupo de sensores.

- 40 La firma solicitante ha observado que era posible obtener unos resultados muy satisfactorios, a condición de un ajuste conveniente de los parámetros de los circuitos neuronales y, eventualmente, de su número, para optimizar la predicción.

Además, la firma solicitante ha corroborado que, mediante combinación de la información recogida por las diferentes redes de neuronas, era posible afinar aún más la predicción.

- 45 Globalmente, los parámetros de entrada de la red de neuronas son entonces unas características de las dos imágenes (relación de la amplitud máx. respecto a la amplitud del patrón, anchura de eco, orientación del eco representativa de la oblicuidad de la imperfección...) y del control (sensor, dimensión del tubo...).

- 50 Los parámetros de salida son las características de la imperfección (profundidad, inclinación/tipo). La decisión y/o alarma (992) puede adoptarse automáticamente con ayuda de criterios de decisión escogidos, a base de umbrales, aparejados a un margen de seguridad según las necesidades. Para definir estos umbrales, podemos apoyarnos en los resultados del aprendizaje.

Se hace ahora referencia a la Figura 16, que es un modelo del circuito neuronal elemental de las figuras 14 ó 15, para dos sensores.

Este modelo comprende un nivel o capa de entrada IL ("Input Layer"), que agrupa todos los parámetros de entrada (a menudo conocidos como "neuronas de entrada"). Para no sobrecargar la figura, sólo están representadas tres neuronas E1 a E3, más una constante, que también puede ser considerada una neurona E0. Esta constante se denomina la mayoría de las veces «sesgo». En la práctica las neuronas de entrada son más numerosas, de acuerdo con la figura 14 o con la figura 15, según el caso.

A continuación está previsto al menos un nivel o capa HL ("Hidden Layer" o "capa oculta"), que comprende k neuronas (de las cuales sólo 2 están representadas para no sobrecargar el dibujo).

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

Se notará que la "neurona" - constante E0 interviene para ponderar no solamente la o las capas ocultas HL, sino también la neurona de salida (capa OL o "Output Layer").

El comportamiento general de un circuito neuronal tal y como se utiliza en el presente caso 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.

En el circuito previsto en el presente caso, una neurona elemental se comporta según la fórmula [12], tal y como está esquematizado en la figura 17.

La salida S1 de la figura 16 proporciona un valor estimado que corresponde a la fórmula [13] del Anexo 1.

Mediante aprendizaje, la firma solicitante ha ajustado las neuronas ocultas y su peso de modo que la función f sea una función no lineal, continua, derivable y acotada. El ejemplo que actualmente se prefiere es la función arco-tangente.

Es sabido que una red neuronal determina sus coeficientes w_{ij} comúnmente denominados sinapsis mediante aprendizaje. Este aprendizaje debe hacer intervenir típicamente de 3 a 10 veces más ejemplos que pesos hay que calcular, todo ello cubriendo correctamente el intervalo de las condiciones de trabajo deseadas.

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. Tal es lo que refleja la fórmula [14].

La calidad de funcionamiento del circuito neuronal viene definida por una magnitud global de desviación C_g , llamada "coste". Esta puede expresarse por ejemplo según la fórmula [15], como una magnitud global de desviación cuadrática ponderada.

El aprendizaje plantea diferentes problemas en un caso como el del control de las imperfecciones en los tubos, en particular debido a que se trata de técnicas pesadas, como ya se ha indicado.

La firma solicitante efectuó en primer lugar un primer aprendizaje por simulación. Se puede utilizar a tal efecto el equipo lógico CIVA, desarrollado y comercializado por el Commissariat à l'Energie Atomique, Francia. Este primer aprendizaje permitió señalar los parámetros influyentes y construir una primera versión de la red de neuronas sobre la base de imperfecciones virtuales. La función de coste fue optimizada.

La firma solicitante efectuó a continuación un segundo aprendizaje que combinaba los resultados obtenidos por simulación e imperfecciones artificiales, es decir, creadas intencionadamente sobre tubos reales. Este segundo aprendizaje permite construir una segunda versión de la red de neuronas, cuya función de coste también ha sido optimizado.

La firma solicitante combinó a continuación los resultados obtenidos sobre imperfecciones artificiales y sobre un conjunto de imperfecciones presentes en tubos reales, conociéndose con precisión estas imperfecciones mediante medidas llevadas a cabo *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. No obstante, en su implantación en una instalación nueva o modificada, actualmente conviene hacer que pase por una "reglaje", con ayuda de una decena de muestras artificiales que abarcan el conjunto de la gama de las imperfecciones que han de tratarse. Obviamente viene seguido de una optimización.

Las figuras 11, 12, 14 y 15 han sido descritas en el contexto de los sensores P11 y P12.

El mismo principio puede aplicarse al grupo de sensores P1. En este caso, no habrá una imagen 2 y la red construida tiene menos parámetros de entrada, como ya se ha indicado. Los circuitos descritos para dos sensores pueden ser utilizados para uno solo, pero sin parámetros de entrada para la parte «Imagen 2».

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

5 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 está designado globalmente por 761, de acuerdo con la figura 8, donde viene seguido de los bloques 764 y 766.

Se obtiene así un conjunto tal como se representa mediante la figura 18, con:

- para el sensor P1, un tratamiento 761-1, seguido de una fase de decisión y alarma 764-1;
- para los sensores P11 y P12, un tratamiento 761-10, seguido de una fase de decisión y alarma 764-10;
- 10 - para los sensores P21 y P22, un tratamiento 761-20, seguido de una fase de decisión y alarma 764-20;
- siendo interpretadas las tres fases 764-1, 764-10 y 764-20 por el autómata de selección y de alarma 766.

Una variante de la figura 18, no representada, consiste en no prever más que una sola fase «Decisión & alarma», que utiliza directamente las salidas de los tres tratamientos 761-1, 761-10 y 761-20.

15 El control no destructivo propiamente dicho se lleva a cabo "al vuelo", es decir, a medida que el tubo desfila por la instalación de control. La decisión procedente del tratamiento de la información descrito más arriba también puede ser tomada ya sea a medida que el tubo desfila por la instalación de control (con decisión-alarma y marcado "al vuelo"); una variante consiste en tomar esta decisión después de haber sido inspeccionada toda la longitud del tubo, o incluso más tarde (después del control del conjunto de un lote de tubos, por ejemplo), siendo señalado/identificado cada tubo (N° de serie, por ejemplo). En este caso, es necesario que la información obtenida sea registrada (memorizada). Los registros pueden ser objeto de un posterior análisis por parte de un operario habilitado para
20 tomar una decisión después de haber analizado los resultados registrados y tratados por la(s) red(es) de neuronas.

Por supuesto, habida cuenta de las propiedades de los circuitos neuronales, es posible agrupar al menos parcialmente el conjunto de los circuitos neuronales (contenidos en los tratamientos 761-1, 761-10 y 761-20) en un solo circuito neuronal, que tenga todas las entradas deseadas.

25 La forma de realización descrita utiliza directamente redes neuronales. La invención no queda limitada a esta clase de realización. En el presente caso, la expresión "disposición de la clase circuito neuronal" puede abarcar otras técnicas de estadísticas no lineales, con o sin circuitos neuronales.

30 El sistema que aquí se propone ha sido descrito en el caso del control no destructivo en la fabricación de tubos sin soldadura, caso en el que la invención se aplica particularmente bien. Las mismas técnicas pueden aplicarse en particular a productos siderúrgicos largos, no necesariamente tubulares.

35 En el caso de tubos soldados u otros productos soldados (como por ejemplo chapas o placas), el sistema se revela capaz de determinar además los límites del cordón de soldadura y, consecuentemente, de localizar las eventuales imperfecciones en el cordón de soldadura, que pueden estar sujetas a supervisión. Por su parte, las imperfecciones situadas fuera de los límites del cordón de soldadura, que pueden corresponder a inclusiones ya presentes en la lámina (o producto) base, han de considerarse de otro modo.

Anexo 1

Sección 1

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

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

$$5 \quad S = \sum_{i=1}^k S_i w_i' + w_0' \quad (13)$$

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

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

Sección 2

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

$$10 \quad umbral = std_b Q^{-1}(pfa) + m_b \quad (22)$$

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo en configuración de herramienta de ayuda para la explotación, para el control no destructivo, en curso o a la salida de fabricación, de productos siderúrgicos, tales como tubos u otros productos largos, estando destinada esta herramienta a extraer información sobre eventuales imperfecciones del tubo, a partir de señales de retorno que captan (73), consecutivamente a la excitación selectiva (70) de sensores ultrasónicos emisores según una ley de tiempos elegida, unos sensores ultrasónicos receptores que determinan una disposición de geometría elegida, montado en acoplamiento ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
- 5
- caracterizándose dicha herramienta de explotación porque comprende:
- 10
- un convertidor (891, 892) capaz de aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en unas ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, y de extraer de ella una imagen (901, 902) de posibles imperfecciones en el tubo,
 - un filtro (921, 922), capaz de determinar, en las imágenes (901, 902), zonas de presunta imperfección (Zcur), así como propiedades de cada presunta imperfección,
 - 15
 - un combinador (960), acomodado para preparar entradas digitales de trabajo, a partir de un extracto (951, 952) de las imágenes correspondientes a una zona de presunta imperfección (Zcur), de propiedades de la presunta imperfección en la misma zona, procedentes del filtro (921, 922), y de datos de contexto (740),
 - al menos una disposición de la clase circuito neuronal (970), que recibe entradas de trabajo procedentes del combinador (960),
 - 20
 - una etapa digital de decisión y alarma (992), que opera sobre la base de la salida de la disposición de la clase circuito neuronal (970), y
 - un autómata de selección y de marcado (994), acomodado para descartar y marcar tubos que la etapa digital de decisión y alarma (992) ha decidido que son no conformes.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, destinado a trabajar con dos disposiciones de transductores ultrasónicos de geometría elegida (P11, P12, P21, P22), montadas en acoplamiento ultrasónico sensiblemente según una simetría especular de la dirección de sus respectivos haces ultrasónicos, caracterizado porque dicha herramienta de explotación comprende dos convertidores (891, 892) respectivamente consagrados a estas dos disposiciones de transductores (P11, P22, P21, P22), y porque el combinador (960) se halla acomodado para operar selectivamente sobre los ecos de revestimiento interno o sobre los ecos de revestimiento externo o sobre los ecos que intervienen en la masa del tubo, pero al mismo tiempo sobre los datos relativos a una y otra de las dos disposiciones de transductores.
- 25
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el convertidor (891, 892) se halla acomodado para aislar selectivamente una representación digital de posibles máximos de ecos en unas ventanas temporales designadas correspondientes a ecos de revestimiento interno, a ecos de revestimiento externo, así como ecos provenientes de la masa del tubo, respectivamente, y porque el combinador (960) se halla acomodado para operar selectivamente sobre los ecos de revestimiento interno o sobre los ecos de revestimiento externo o sobre los ecos surgidos en la masa.
- 30
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el combinador (960) recibe al menos una entrada (9511, 9521) relativa a un valor límite de amplitud de la imagen en la zona de presunta imperfección.
- 40
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el filtro (921, 922) se halla acomodado para producir, como propiedades de cada presunta imperfección, su oblicuidad y su longitud, en tanto que el combinador (960) recibe entradas correspondientes de oblicuidad de imperfección (931) y de longitud de imperfección (932).
- 45
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el filtro (921, 922), el combinador (960), el circuito neuronal (970) y la etapa digital de decisión y alarma (992) se hallan acomodados para operar iterativamente sobre una sucesión de zonas de presunta imperfección (Zcur), determinadas por dicho filtro (921, 922).
- 50
7. Dispositivo según la reivindicación 6, caracterizado porque el filtro (921, 922), el combinador (960), el circuito neuronal (970) y la etapa digital de decisión y alarma (992) se hallan acomodados para operar alternativamente sobre el revestimiento interno y el revestimiento externo del tubo.
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dicha disposición de la clase circuito neuronal comprende:

- un primer circuito neuronal (NC121- NC123) a propósito para evaluar la naturaleza de una imperfección de entre una pluralidad de clases predefinidas, y
 - un segundo circuito neuronal (NC141- NC143) a propósito para evaluar la gravedad de una imperfección.
- 5 9. Dispositivo según la reivindicación 8, caracterizado porque los dos circuitos neuronales tienen unas entradas que difieren en:
- una entrada (9512, 9522) de número de máximos vecinos para el primer circuito neuronal, y
 - una entrada (9513, 9523) de anchura de eco para el segundo circuito neuronal.
10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 8 y 9, caracterizado porque las salidas de los dos circuitos neuronales se combinan para afinar la predicción.
- 10 11. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la emisión y la recepción de las señales ultrasónicas las realiza cada vez un mismo transductor, para una parte al menos de la disposición de sensores.
12. Dispositivo de control no destructivo de tubos en curso o a la salida de fabricación, caracterizado porque comprende:
- 15 - una disposición de transductores ultrasónicos de geometría elegida, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido, 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 tiempos elegida, y para recoger (73) las señales de retorno que captan, y
- 20 - una herramienta de ayuda para la explotación según una de las reivindicaciones precedentes.
13. Procedimiento de control no destructivo de productos siderúrgicos, tales como tubos u otros productos largos, en curso o a la salida de fabricación, que comprende las siguientes etapas:
- a. prever una disposición de transductores ultrasónicos de geometría elegida, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo por mediación de un medio líquido, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
- 25 b. excitar selectivamente (70) estos elementos transductores según una ley de tiempos elegida,
- c. recoger (73) las señales de retorno que captan estos, con el fin de analizar selectivamente estas señales de retorno (760-766), para extraer de ellas información sobre eventuales imperfecciones del tubo,
- caracterizado porque comprende además las siguientes etapas:
- 30 d. aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en unas ventanas de tiempo designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación (891, 892), y extraer de ella una imagen (901, 902) de posibles imperfecciones en el tubo,
- e. filtrar (921, 922) las imágenes (901, 902) según unos criterios de filtrado elegidos, con el fin de determinar en ellas unas zonas de presunta imperfección (Z_{cur}), así como propiedades de cada presunta imperfección,
- 35 f. formar (960) entradas digitales de trabajo, a partir de un extracto (951, 952) de las imágenes correspondientes a una zona de presunta imperfección (Z_{cur}), de propiedades de la presunta imperfección en la misma zona, procedentes del filtro (921, 922), y de datos de contexto (740),
- g. aplicar las entradas así formadas (960) a al menos una disposición de la clase circuito neuronal (970),
- 40 h. tratar digitalmente la salida de la disposición de la clase circuito neuronal (970) según unos criterios de decisión elegidos, para extraer de ella una decisión y/o una alarma (992), y
- i. descartar y marcar (994) tubos que mediante la etapa h. se ha decidido que son no conformes.
14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que:
- en la etapa a., se prevén dos disposiciones de transductores ultrasónicos de geometría elegida (P11, P12, P21, P22), montadas en acoplamiento ultrasónico sensiblemente según una simetría especular de la dirección de sus respectivos haces ultrasónicos,
- 45 caracterizado porque las etapas d. a i. se ejecutan conjuntamente sobre las señales procedentes de una y otra de

esas dos disposiciones de transductores.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 y 14, caracterizado porque:

- 5 - en la etapa d., dichas ventanas temporales designadas comprenden algunas al menos de las ventanas del grupo correspondiente a ecos de revestimiento interno, a ecos de revestimiento externo, así como ecos provenientes de la masa del tubo.

16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado porque:

- en la etapa e., los criterios de filtrado elegidos comprenden al menos un criterio de existencia de imperfección, un criterio de oblicuidad de imperfección y un criterio de longitud de imperfección.

17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 a 16, caracterizado porque:

- 10 - las etapas f. y g. se repiten iterativamente para cada imperfección detectada en la etapa e.

1/16

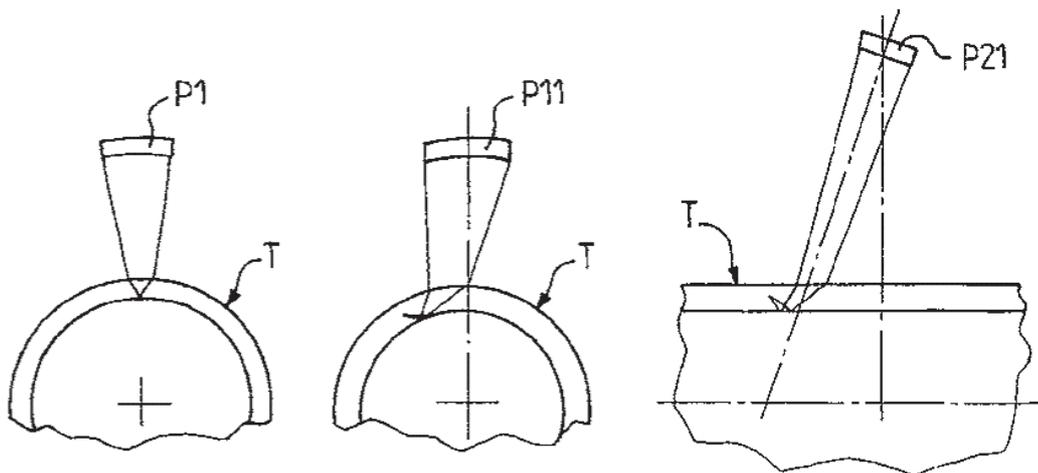
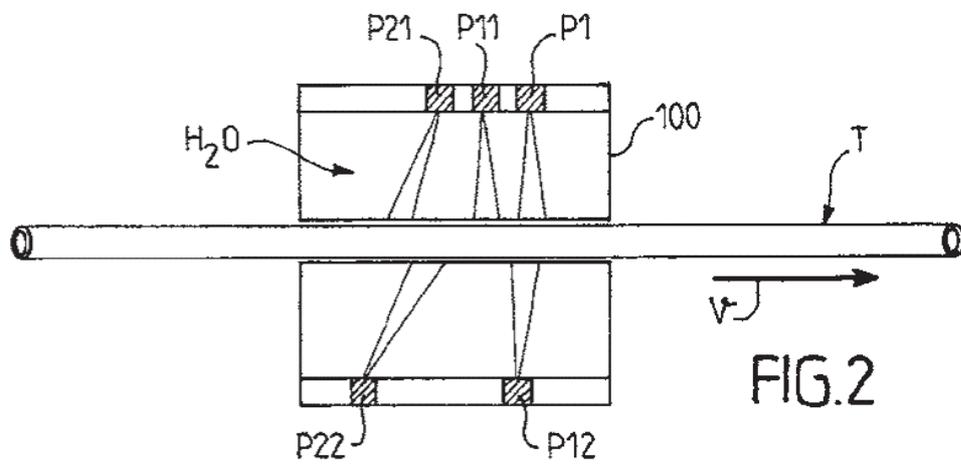
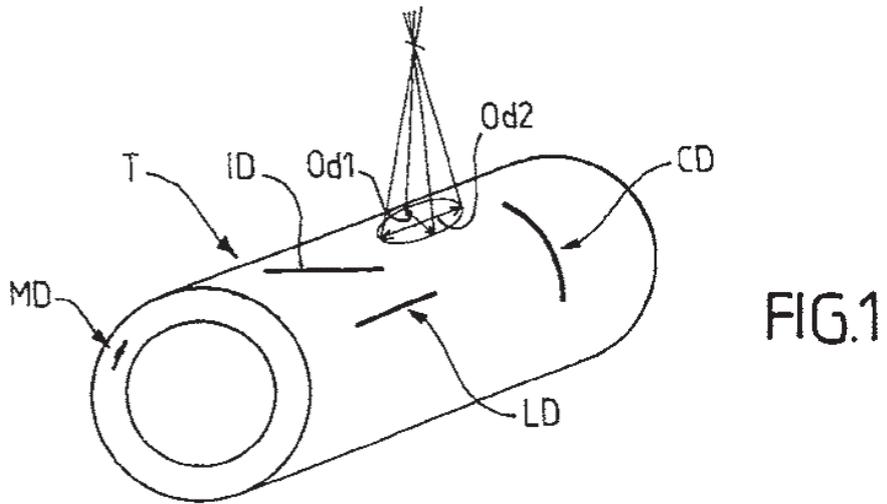


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

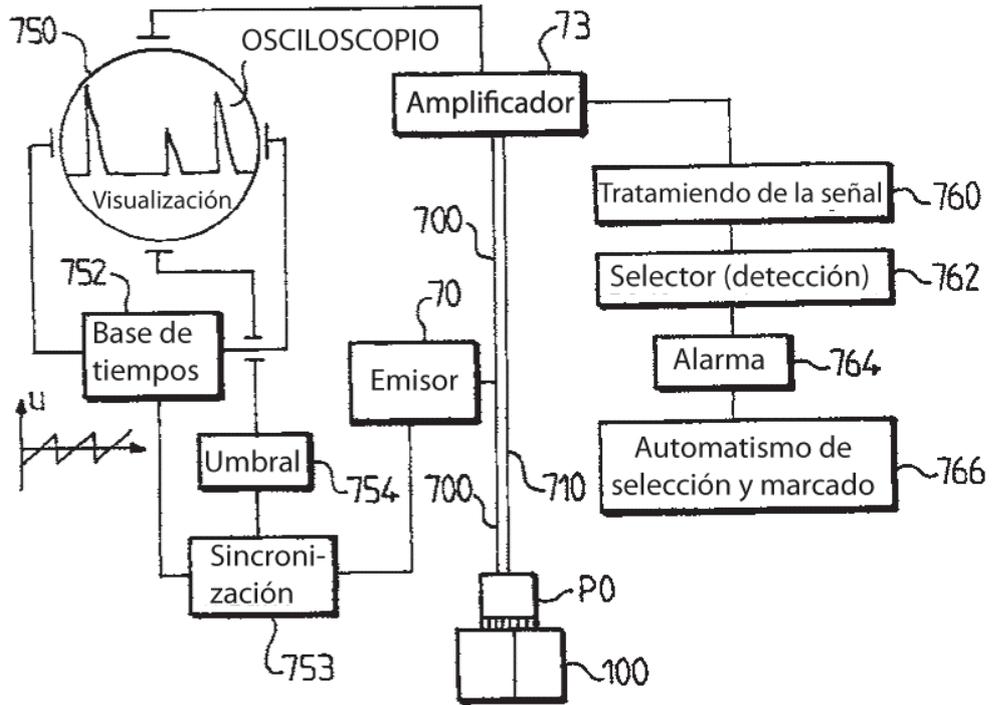


FIG.4

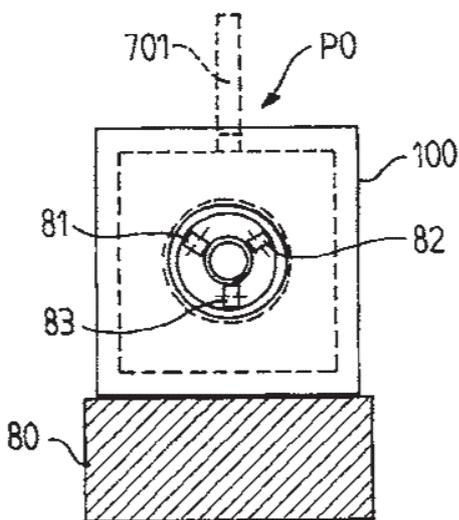


FIG.5A

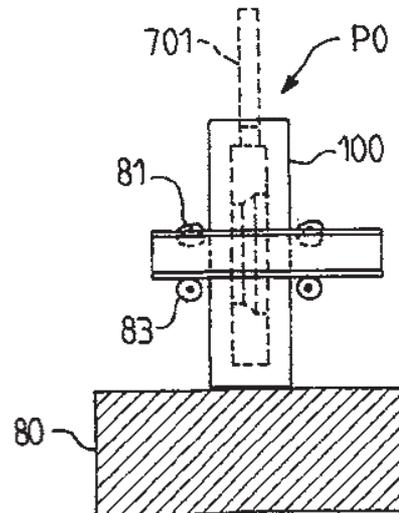


FIG.5B

4/16

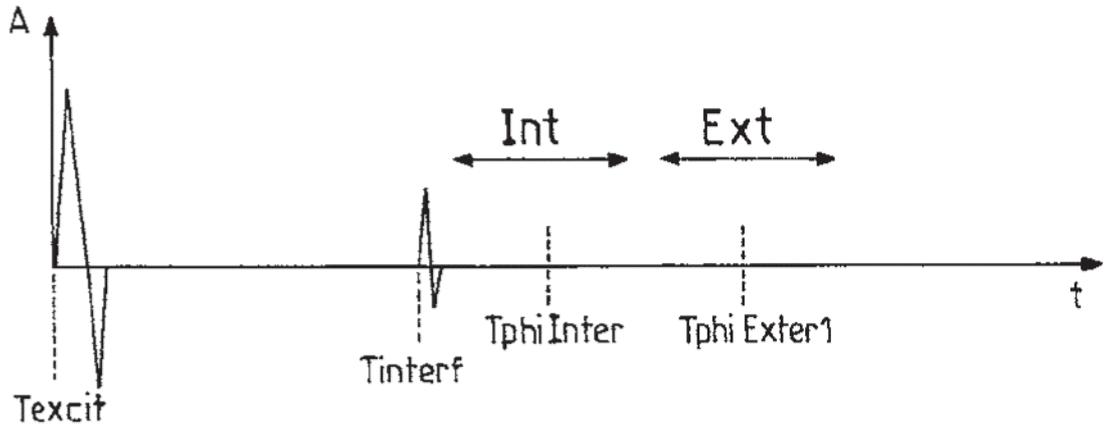


FIG. 6A

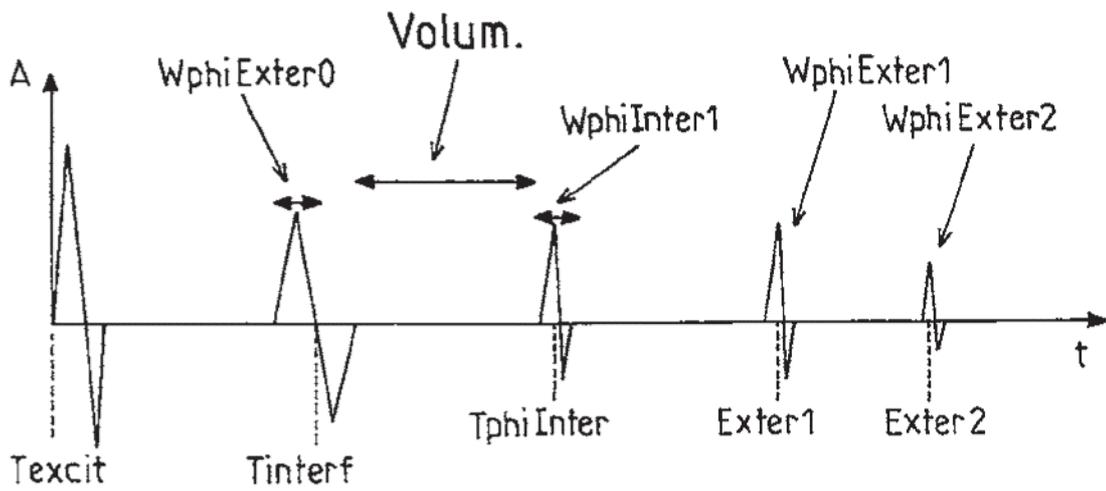


FIG. 6B

5/16

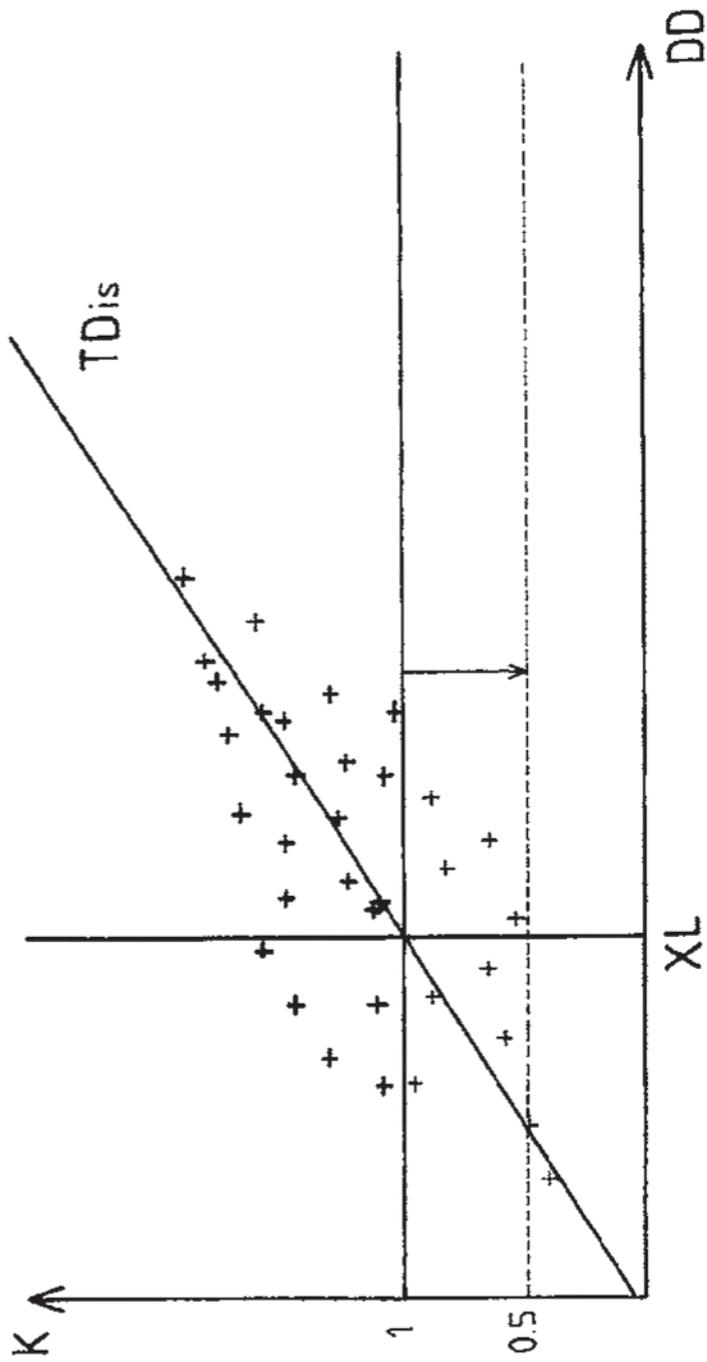


FIG.7

6/16

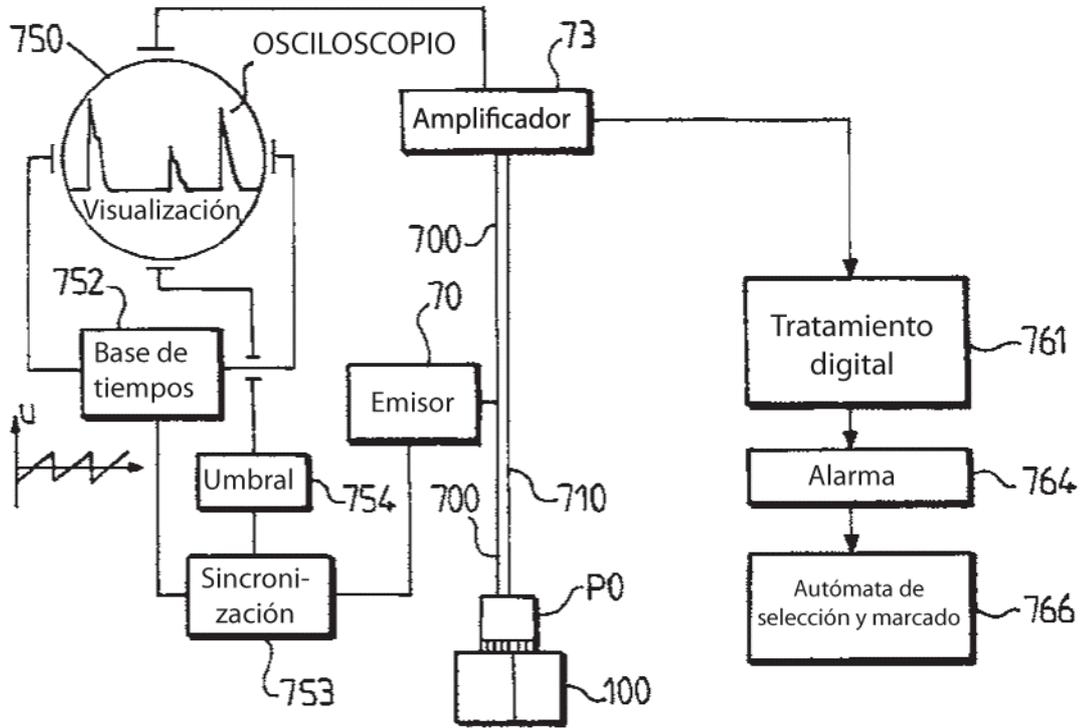


FIG.8

7/16

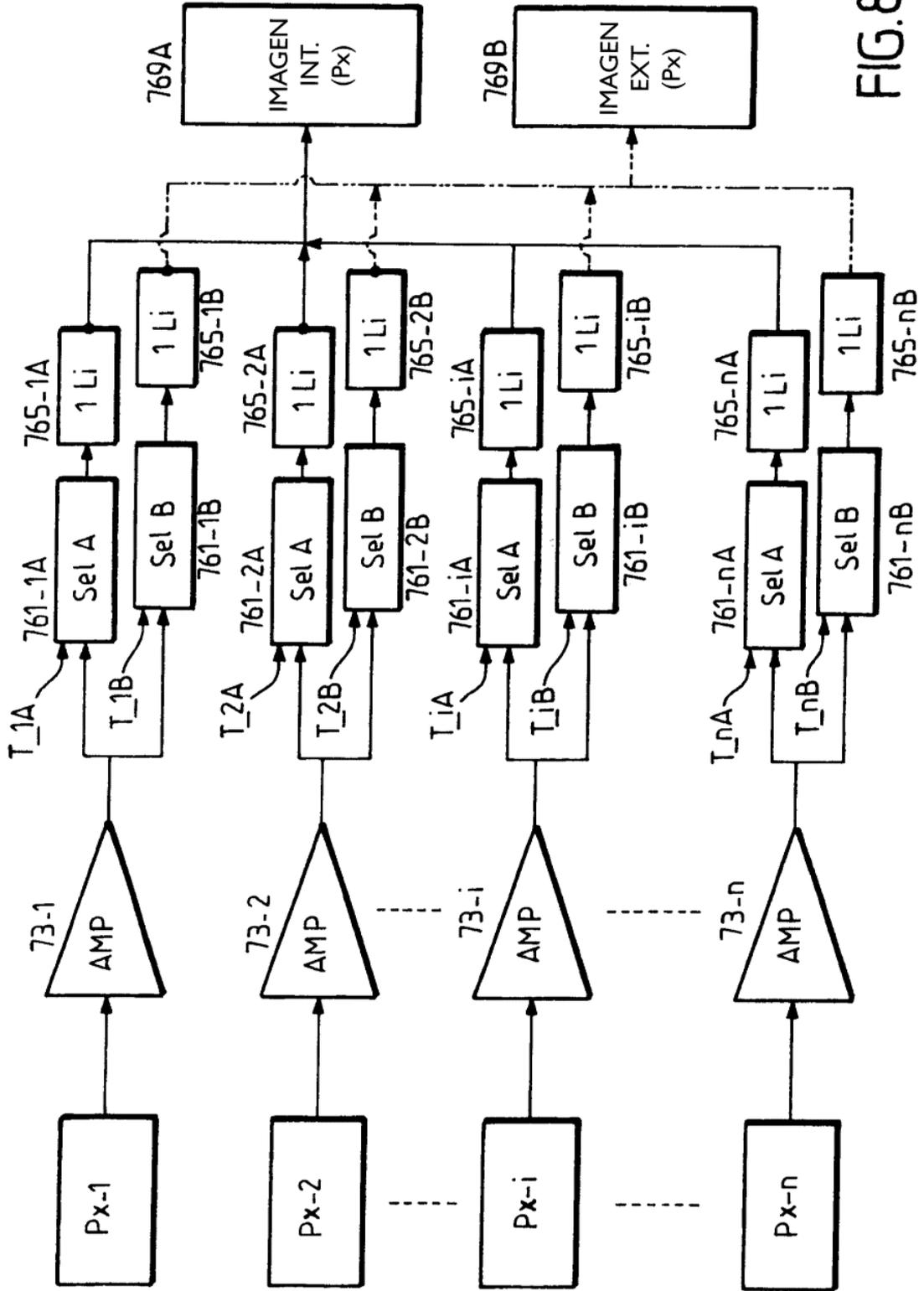


FIG. 8A

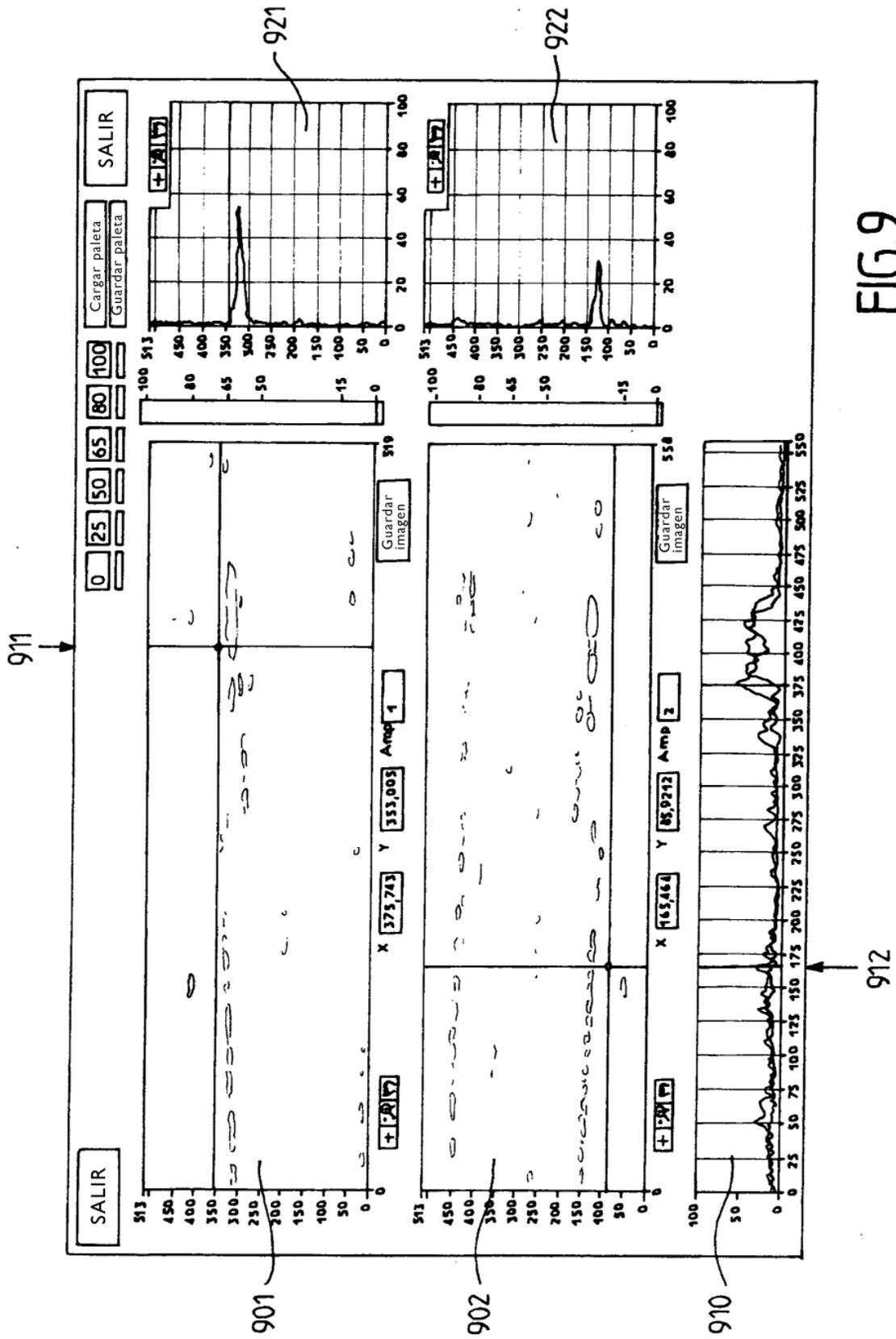


FIG. 9

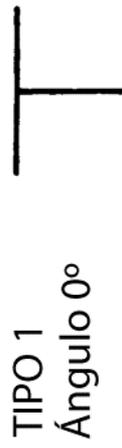


FIG.10A

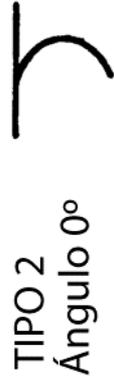


FIG.10B

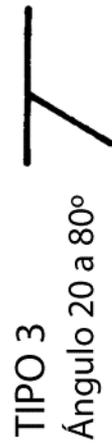


FIG.10C

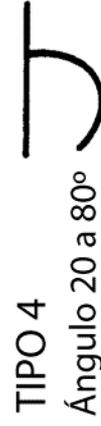


FIG.10D

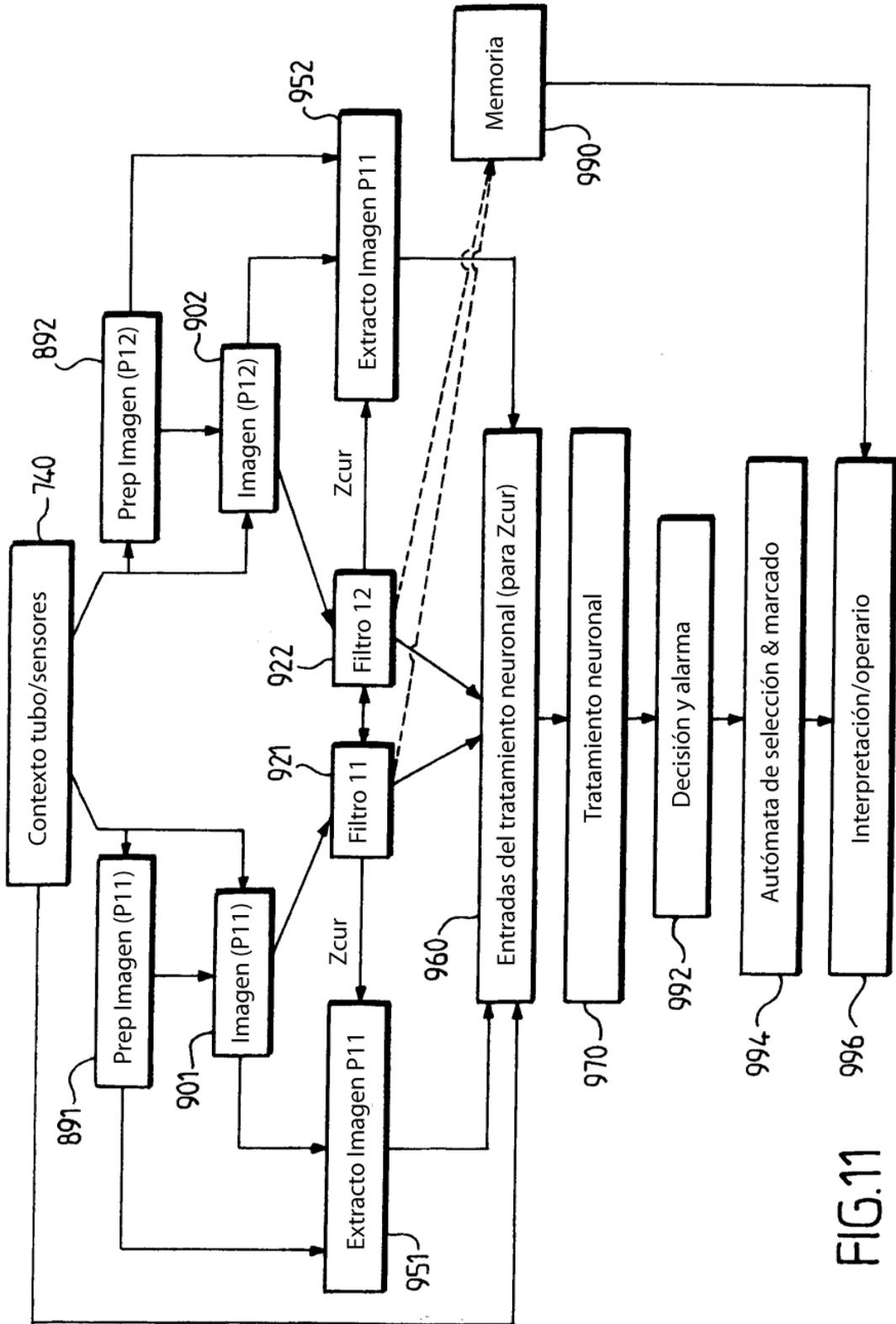


FIG.11

11/16

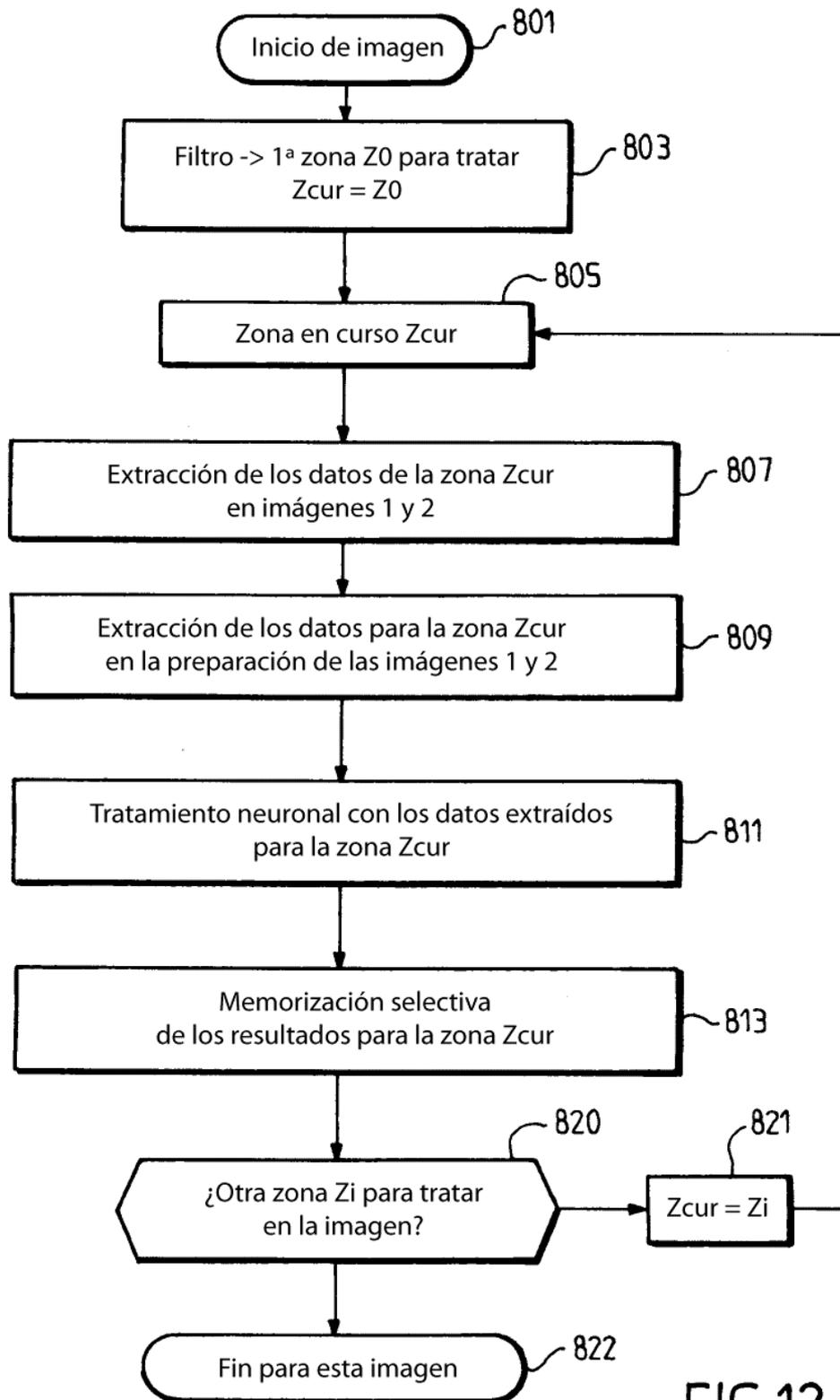


FIG.12

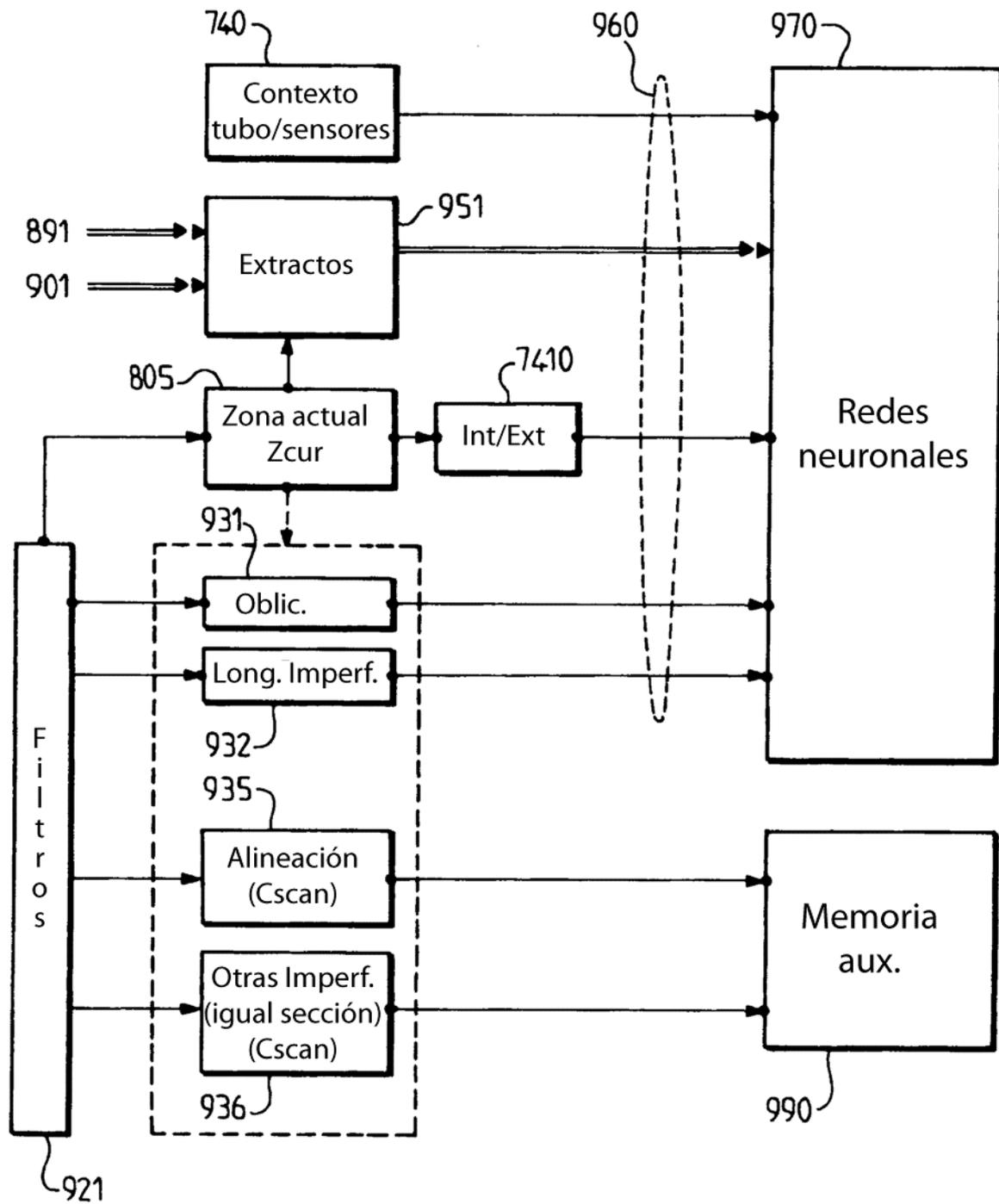


FIG.13

13/16

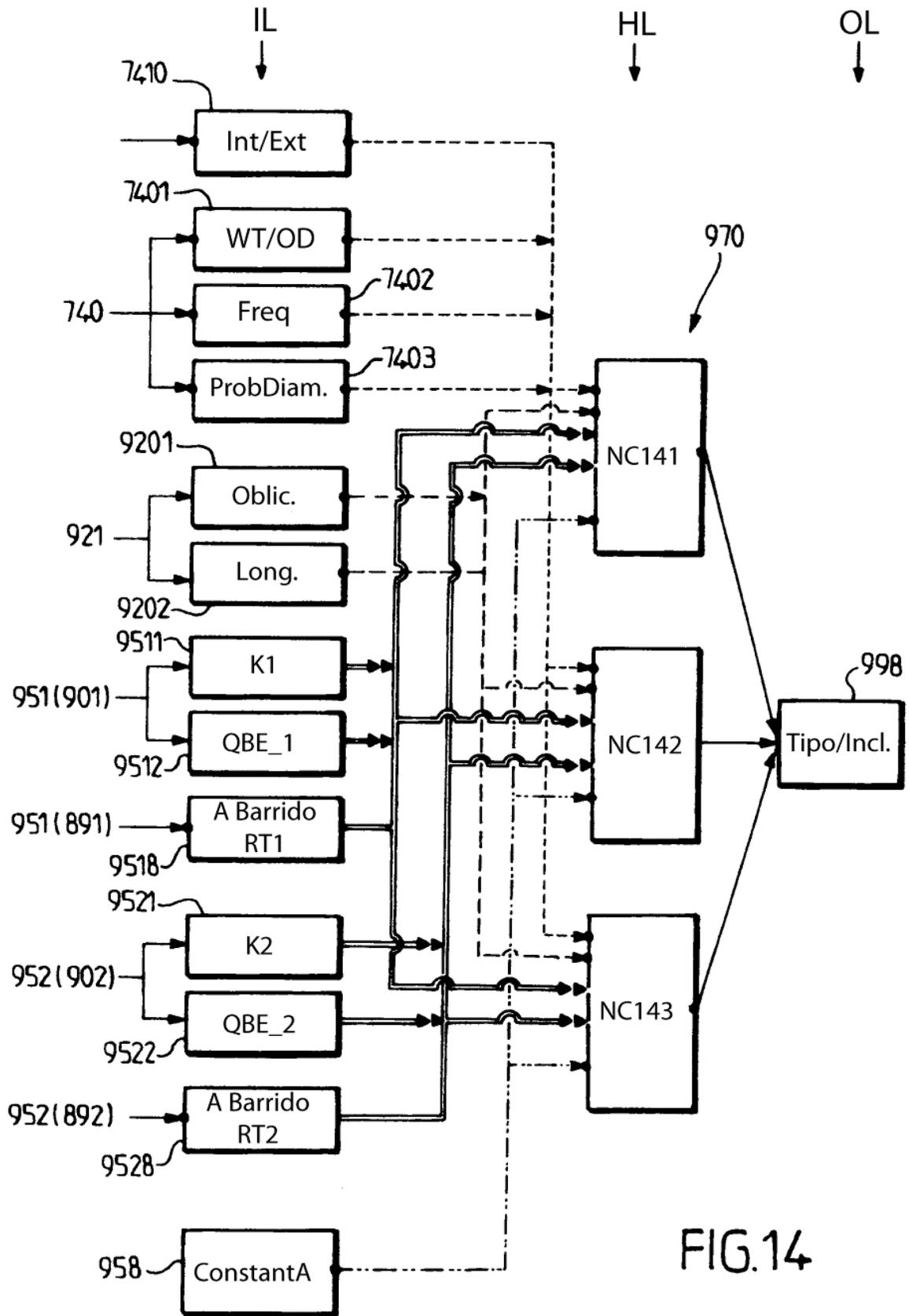


FIG.14

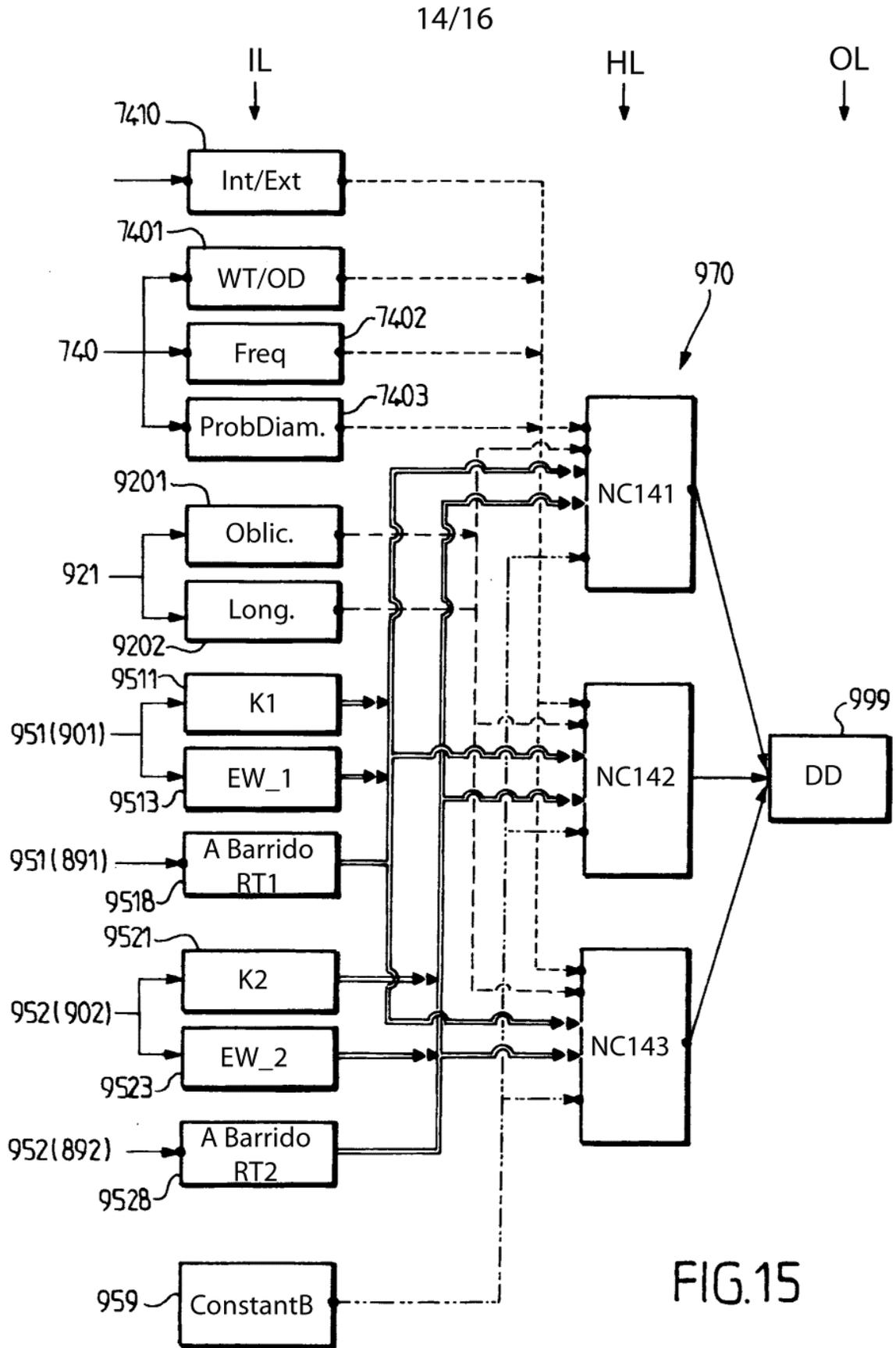


FIG.15

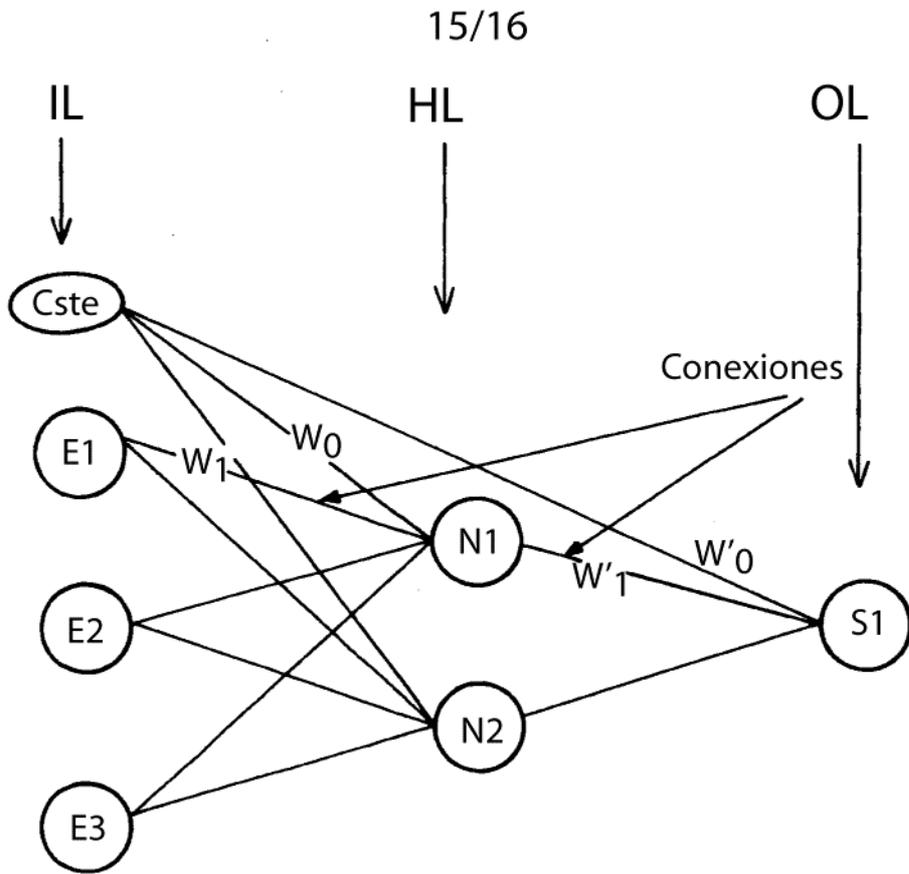


FIG.16

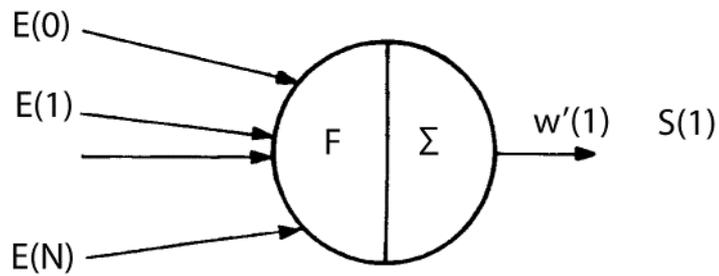


FIG.17

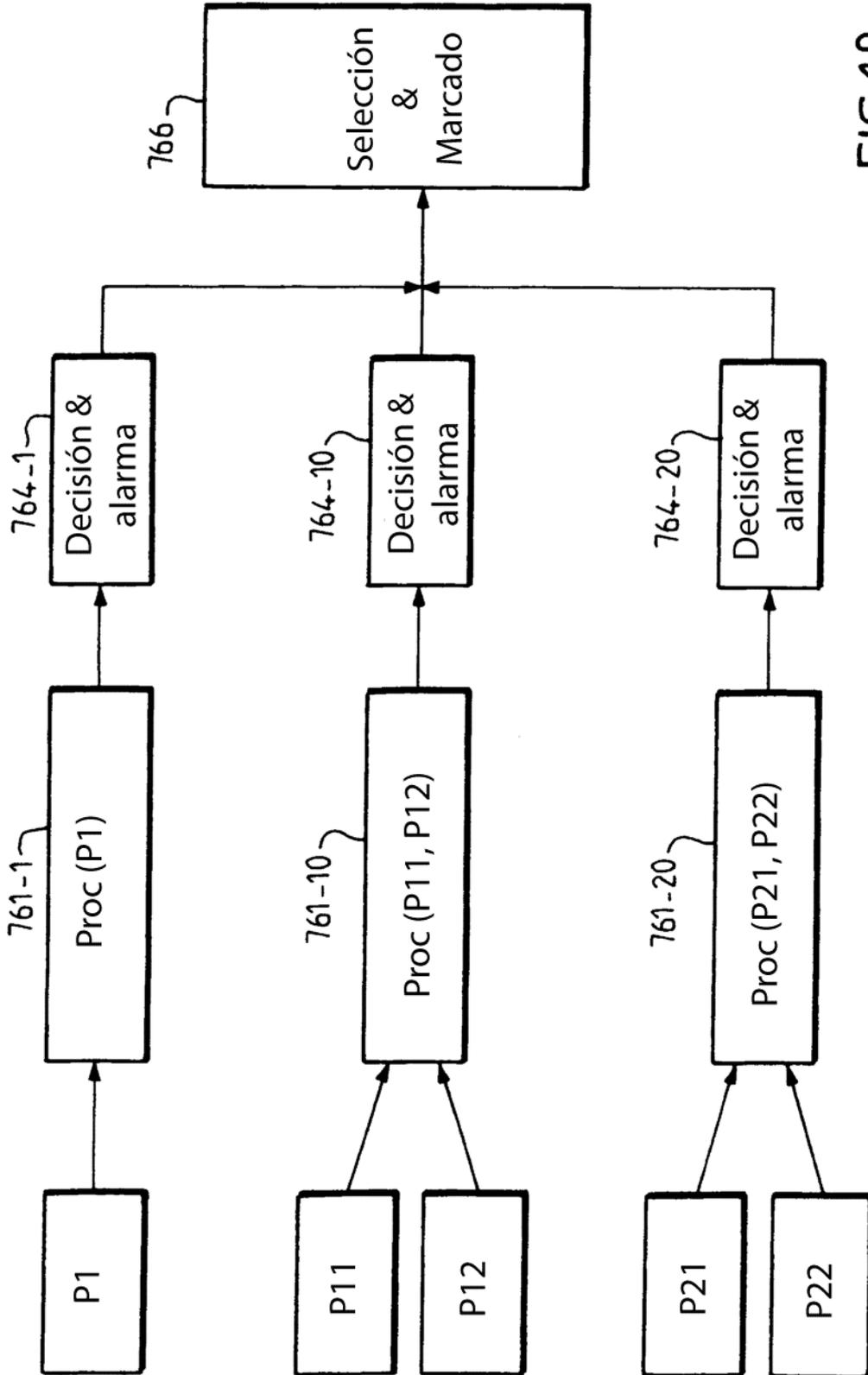


FIG.18