

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 306**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/06** (2006.01)

**G01N 29/22** (2006.01)

**G01N 29/26** (2006.01)

**G01N 29/265** (2006.01)

**G01N 29/27** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2008 E 08826353 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.08.2014 EP 2158478**

54 Título: **Procedimiento y aparato de control no destructivo manual de ejes de ruedas tubulares con perfiles de radios interno y externo variables**

30 Prioridad:

**21.06.2007 FR 0704436**

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

**24.11.2014**

73 Titular/es:

**VALLOUREC TUBES FRANCE (100.0%)  
27 Avenue du Général Leclerc  
92100 Boulogne-Billanco, FR**

72 Inventor/es:

**LESAGE, FRÉDÉRIC;  
NOËL, ALEXANDRE y  
NOGUEIRA DE PAULA, RENATO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 523 306 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).

## DESCRIPCION

Procedimiento y aparato de control no destructivo manual de ejes de ruedas tubulares con perfiles de radios interno y externo variables

5 El invento se refiere a los ejes de ruedas, que son utilizados por ejemplo en el campo ferroviario, y de una manera más precisa el control (o la inspección) de tales ejes por medio de técnica-(s) no destructiva-(s).

10 Como ya conoce el experto, algunos ejes de ruedas, y sobre todo los que deben soportar cargas importantes, deben ser objeto de controles no destructivos en las diferentes fases de fabricación de mantenimiento con el fin de responder a las normas internacionales. Los procedimientos de control no destructivos conocidos están bastante bien adaptados a los ejes de ruedas no huecos (o macizos). Se basan generalmente en un análisis acústico, por medio de sondas de ultrasonidos, como en los documentos US A 3 685 350 y FR A 1 350 320, así como eventualmente en un análisis complementario, como por ejemplo un análisis de superficie, según el documento WO 2006/099 397, o un análisis radiográfico. Entre las normas a las cuales deben satisfacer los ejes de ruedas macizos, se pueden citar particularmente NF EN 13261- 2004 para Europa, ISO 5948 - 1994 e ISO 6933 - 1986 para el mundo, M 101/90 - A para los Estados Unidos de América (Association of American Railroads (AAR)), NBR 7947 - 1989 para Brasil y JIS E 4502-1- 2002 para Japón.

15 A partir de los datos de análisis adquiridos, se pueden estimar las posiciones de las imperfecciones y de los defectos transversales o longitudinales en el seno del material macizo que constituye un eje y así determinar si este eje satisface o no una norma internacional (de fabricación o de mantenimiento periódico).

20 Se ha propuesto recientemente reemplazar algunos ejes de ruedas no huecos (o macizos) por ejes de ruedas tubulares cuya pared presente perfiles de radios exterior e interior variables. Estos nuevos ejes tubulares son particularmente ventajosos pues permiten una reducción notable del peso, típicamente del orden de 30% y en consecuencia un aumento de la carga transportada, acompañado de una disminución del consumo energético y en consecuencia de la polución. Pero el control de este tipo de ejes tubulares plantea un cierto número de problemas.

25 En efecto, por la razón de la existencia de un perfil de radio interior variable, es difícil de diferenciar los ecos que resultan de las zonas angulosas (o rincones) de los que resultan de imperfecciones o de defectos estructurales.

Por otra parte, un buen número de imperfecciones y/o de defectos presentan dimensiones más pequeñas que las encontradas en un eje macizo, lo que hace su detección todavía más difícil a causa de las pequeñas distancias recorridas por los ultrasonidos.

30 Finalmente, el posicionamiento de algunas porciones de un eje tubular de algunos equipamientos, tales como sobre todo las ruedas (enmangadas a la fuerza) y los discos de freno, con vistas a constituir un eje, es igualmente susceptible de inducir imperfecciones y/o defectos estructurales suplementarios, incluso de amplificar las dimensiones de algunos defectos estructurales y/o imperfecciones inducidos por las operaciones precedentes de forjado en caliente y de mecanizado. Resulta por ello todavía más necesario controlar estas porciones y las zonas adyacentes, tanto durante el primer ensamblaje como durante las operaciones de mantenimiento (con o sin desmontaje del-(de los) equipo-(s) del eje). Por lo tanto, estos análisis son difíciles, incluso hasta imposibles, de efectuar con los procedimientos de control existentes (documento EP A 0 522 92), en algunas porciones del eje, cuando este último está obstaculizado con equipos.

35 El invento tiene pues el objetivo de proponer un procedimiento y un aparato de control no destructivo que permita controlar manualmente con precisión la mayor parte, y si es posible la totalidad, de un eje de ruedas tubular (o más generalmente un producto de revolución hueco (tubular)), incluyendo aquí cuando este último está provisto de equipos.

Propone a este efecto un procedimiento de control de ejes de rueda tubulares que incluye las siguientes etapas:

45 a) colocar manualmente al menos una sonda de ultrasonidos en un primer lugar que se elige sobre la superficie externa o interna de la pared de un eje de ruedas tubular, presentando esta pared perfiles de radios exterior e interior variables y conocidos, y siendo elegido cada primer lugar en función de estos perfiles y de eventuales obstrucciones y entornos del eje, analizar después con cada sonda una primera porción elegida de la pared en un primer sector angular elegido, orientado según un primer sentido longitudinal o transversal, con el fin de adquirir datos de análisis para diferentes porciones angulares relativas del eje con respecto a una sonda,

50 b) recolocar manualmente al menos una sonda en un segundo lugar que se elige siempre en función de los perfiles y de eventuales obstrucciones y entornos del eje, después analizar con cada sonda recolocada una segunda porción elegida de la pared en un segundo sector angular elegido, orientado según un segundo sentido opuesto al primer sentido, con el fin de adquirir otros datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a una sonda, y

55 c) constituir a partir de los datos de análisis adquiridos mapas que representa las orientaciones transversales o longitudinales y las posiciones de indicaciones de ecos en el seno de la pared.

Se entenderá aquí por “indicación de eco” una información obtenida en una pared por reflexión sobre un interfaz (material/aire) o sobre una imperfección o incluso sobre un defecto (estructural). Por otra parte, se entenderá aquí por “imperfección” una parte de una pared que ha inducido un eco cuya amplitud es inferior a un umbral elegido, y que por tanto no es de una naturaleza tal que suponga el rechazo del eje. Finalmente, se entenderá aquí por “defecto” una parte de una pared que ha inducido un eco cuya amplitud es superior al umbral elegido, y que por tanto es de tal naturaleza que supone el rechazo del eje.

El procedimiento según el invento puede declinarse según numerosas variantes, en las cuales al menos algunas características pueden combinarse entre sí, y en particular:

- 10 - se pueden efectuar por ejemplo una primera vez las etapas a) a c) colocando manualmente cada sonda de ultrasonidos sobre la superficie externa de la pared con el fin de constituir mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared, a continuación se pueden efectuar una segunda vez al menos las etapas a) y c) colocando manualmente al menos una sonda de ultrasonidos sobre la superficie interna de la pared en un tercer lugar que se elige en función de sus perfiles, analizando a continuación con cada sonda una tercera porción elegida de la pared en un tercer sector angular elegido, orientado según al menos un sentido longitudinal o transversal elegido, con el fin de adquirir datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a una sonda, y de constituir mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared;
- 15 - se pueden efectuar por ejemplo las etapas a) a c) al menos una vez colocando manualmente cada sonda de ultrasonidos sobre la superficie externa o interna de la pared con el fin de efectuar un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección longitudinal, y constituir así mapas representativos de las orientaciones transversales y de las posiciones de las indicaciones de ecos en el seno de la pared, a continuación se pueden efectuar de nuevo las etapas a) a c) todavía al menos una vez colocando manualmente al menos una sonda de ultrasonidos sobre la superficie externa o interna de la pared con el fin un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección transversal y constituir así mapas representativos de las orientaciones longitudinales y de las posiciones de las indicaciones de ecos en el seno de la pared;
- 20 - después de haber efectuado una etapa c) se puede prever por ejemplo una etapa d) en la cual se efectúe un análisis al menos de la superficie externa de la pared por medio de otra técnica de análisis, diferente de la que está basada en los ultrasonidos, con el fin de adquirir datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas de al menos una sonda con respecto al eje, así como una eventual etapa e) en la cual se constituyen, a partir de estos datos de análisis adquiridos, mapas que representan las posiciones y orientaciones de las indicaciones de la superficie de la pared;
- 25 - por ejemplo, esta otra técnica de análisis puede elegirse entre la técnica llamada del flujo de escape y la técnica llamada de corrientes de Foucault;
- 30 - después de haber efectuado una etapa c) se puede prever una etapa d) en la cual se efectúe un análisis de al menos la superficie externa de la pared, por medio de una técnica llamada de inspección con partículas magnetizadas (o MPI (por “Magnetic Particle Inspection”)), con el fin de adquirir datos de análisis de la superficie para diferentes posiciones angulares del eje con respecto a una sonda;
- 35 - se puede por ejemplo analizar cada una de las primeras, segundas y eventuales terceras porciones de la pared por medio de un desplazamiento longitudinal relativo de al menos a una sonda con respecto al eje y/o por medio de un barrido electrónico con al menos una sonda;
- 40 - durante una al menos de las etapas a), b) y d) de pueden obtener por ejemplo las diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a cada sonda de las sondas que arrastran en rotación en rotación cada sonda con respecto a este eje;
- 45 - puede comprender una etapa f) en la cual se comparan los datos de los mapas que se han obtenido durante una etapa c) con los datos de los primeros mapas de calibración que hayan sido obtenidos previamente en un primer eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero desprovisto de defectos, con el fin de no conservar nada más que los datos que son representativos de las indicaciones de los ecos que no están presentes en los primeros mapas de calibración y constituir así mapas “corregidos”;
- 50 - puede incluir una etapa g) en la cual se comparen los datos de los mapas que se hayan obtenido durante una etapa c) o f) con los datos de los segundos mapas de calibración que se hayan obtenido sobre un segundo eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero que incluyan defectos conocidos, con el fin de no conservar nada más que los datos que sean representativos de las indicaciones de los ecos representativos de defectos conocidos presentes en los segundos mapas de calibración y constituir así mapas de defectos;
- 55 - puede incluir una etapa h) en la cual se comparan con una amplitud umbral elegida las amplitudes de los datos de los mapas que se hayan obtenido durante una etapa c) o f), con el fin de no conservar nada más que los datos representativos de las indicaciones de los ecos cuyas amplitudes sean superiores a la amplitud umbral y que como consecuencia señalen defectos, y así constituir mapas de defectos;

en caso de detección de una amplitud superior a la amplitud umbral de puede generar eventualmente una alarma;

-puede incluir una etapa i) que consista en mostrar un mapa sobre una pantalla;

- se pueden utilizar por ejemplo sondas capaces de emitir ultrasonidos según una dirección única de ángulo variable;

5 por ejemplo el ángulo puede variar entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal;

- como variante, se pueden utilizar sondas del tipo llamado de red de fase (o "phased array"), capaces de emitir ultrasonidos según direcciones que estén comprendidas en un sector angular elegido;

por ejemplo el sector angular puede estar comprendido entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal.

10 Se observará que las etapas a) a c) deben hacerse por este orden, pero que las otras etapas citadas d) a i) no se hacen forzosamente por este orden. En particular, una etapa i) puede por supuesto suceder después de una etapa c).

El invento propone igualmente un aparato de control de los ejes de ruedas destinado a utilizar el procedimiento presentado anteriormente. Este aparato comprende de forma más precisa:

15 -al menos una sonda de ultrasonidos encargada de analizar en un sector angular elegido porciones elegidas de una pared (que presenta perfiles de radios exterior e interior variables y conocidos), de un eje de ruedas tubular, y así adquirir los datos de análisis,

20 - medios de control encargados de determinar, en función de los perfiles y de eventuales obstrucciones y entornos del eje, al menos un primer y al menos un segundo lugares elegidos sobre la superficie externa o interna de la pared en donde se debe colocar manualmente cada sonda de tal manera que analice al menos una primera y al menos una segunda porción elegidas de la pared respectivamente en al menos un primer y en al menos un segundo sectores angulares elegidos, orientados según el primer y el segundo sentidos longitudinales o transversales opuestos, y adquieran así datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a la sonda, y

25 - unos medios de tratamiento encargados de constituir a partir de los datos de análisis adquiridos de los mapas que representan las orientaciones transversales o longitudinales y las posiciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared.

Este aparato según el invento puede declinarse según varias variantes, algunas características de las cuales pueden combinarse entre sí, y en particular:

30 - sus medios de control pueden estar encargados de determinar un primer desplazamiento que debe aplicarse manualmente a cada sonda con respecto a la superficie externa de la pared de tal manera que se adquieran los datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a cada sonda, para determinar a continuación un segundo desplazamiento que deba aplicarse manualmente al menos a una sonda con respecto a la superficie interna de la pared con el fin de que analice al menos una tercera porción elegida de la pared en el

35 menos un tercer sector angular elegido, orientado según un sentido longitudinal o transversal elegido, y de que adquiera así otros datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del eje con respecto a cada sonda. En este caso, los medios de tratamiento son los encargados de constituir, a partir de los datos de análisis adquiridos, mapas que representan las posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared;

40 - sus medios de control pueden ser los encargados i) de determinar un primer desplazamiento que deba aplicarse manualmente a cada sonda con respecto a la superficie externa o interna de la pared de tal manera que efectúe un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección longitudinal, y de que adquiera datos de análisis a partir de los cuales sus medios de tratamiento constituirán mapas representativos de las orientaciones transversales y de las posiciones de indicaciones de los ecos, a continuación ii) determinar al menos un segundo

45 desplazamiento que deba aplicarse manualmente a cada sonda con respecto a la superficie externa o interna de la pared con el fin de que efectúe un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección transversal y de que adquiera datos de análisis a partir de los cuales los medios de tratamiento constituirán mapas representativos de las orientaciones longitudinales y de las posiciones de indicaciones de los ecos;

50 - puede incluir medios de análisis de superficie encargados de analizar al menos la superficie externa de las pared por medio de otra técnica de análisis, diferente de la basada en los ultrasonidos, con el fin de adquirir datos de análisis para diferentes posiciones relativas del eje con respecto a una sonda. En este caso, los medios de tratamiento son eventualmente los encargados de constituir, a partir de estos datos de análisis (adquiridos por los medios de análisis de superficie), mapas que representan las posiciones y las orientaciones de las indicaciones de superficie de la pared;

por ejemplo los medios de análisis de superficie se escogen entre los medios de análisis de flujo de escape y los medios de análisis por corrientes de Foucault;

- 5 - puede incluir medios de análisis de superficie encargados de analizar al menos la superficie externa de la pared mediante la inspección con partículas magnetizadas (o MPI) con el fin de adquirir datos de análisis de superficie para diferentes posiciones relativas del eje con respecto a cada sonda;
- sus medios de control pueden ser los encargados de efectuar un barrido electrónico con al menos una sonda para que analice una parte al menos de las primeras, segundas y eventuales terceras porciones de la pared;
- 10 - sus medios de tratamiento pueden ser los encargados de comparar los datos de los mapas obtenidos sobre el eje a controlar con datos de los primeros mapas de calibración que se han obtenido sobre un primer eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero desprovistos de defectos, y de no conservar nada más que los datos que son representativos de las indicaciones de los ecos que no están presentes en los primeros mapas de calibración y constituir así mapas corregidos;
- 15 - sus medios de tratamiento pueden ser los encargados de comparar los datos de los mapas obtenidos sobre el eje a controlar con datos de segundos mapas de calibración obtenidos sobre un segundo eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero que incluye defectos conocidos, y de no conservar nada más que los datos representativos de las indicaciones de ecos representativos de defectos conocidos presentes en los segundos mapas de calibración y constituir así mapas de defectos;
- 20 - sus medios de tratamiento pueden ser los encargados de comparar con una amplitud umbral elegida las amplitudes de los datos de los mapas obtenidos sobre el eje a controlar, y de no conservar nada más que los datos representativos de las indicaciones de los ecos cuyas amplitudes son superiores a esta amplitud umbral y que señalan los defectos, y constituir así mapas de defectos;
- sus medios de tratamiento pueden ser los encargados de generar una alarma en caso de detección de una amplitud superior a la amplitud umbral;
- 25 - puede incluir una pantalla adecuada para mostrar al menos alguno de los mapas que han sido constituidos mediante sus medios de tratamiento;
- cada sonda puede por ejemplo ser la encargada de emitir ultrasonidos según una única dirección de ángulo variable, por ejemplo entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal;
- como variante, cada sonda puede por ejemplo ser del tipo llamado de red de fase y ser la encargada de emitir ultrasonidos según direcciones comprendidas en un sector angular elegido, comprendido por ejemplo entre 30 30 alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal.
- Otras características y ventajas del invento aparecerán con el examen de la descripción detallada que viene a continuación, y de los dibujos anexos, en los cuales:
- la figura 1 ilustra de manera esquemática, en una vista en corte longitudinal, un ejemplo de eje de ruedas tubular desprovisto de equipamiento,
- 35 - la figura 2 ilustra de manera esquemática, en una vista en corte longitudinal, una parte de un ejemplo de eje de ruedas tubular provisto de equipamiento,
- la figura 3 ilustra de manera esquemática y funcional un ejemplo de realización de un aparato de control según el invento,
- 40 - las figuras 4A y 4B ilustran de manera esquemática dos ejemplos de emplazamiento de sondas sobre dos lugares elegidos diferentes de la superficie externa de una parte de una pared de un eje (en una vista en perspectiva), con vistas a un análisis longitudinal,
- la figura 5 ilustra de manera esquemática un ejemplo de emplazamiento de una sonda sobre un lugar elegido de la superficie externa de una parte de una pared del eje (en una vista en perspectiva), con vistas a un análisis transversal,
- 45 - la figura 6 ilustra de manera esquemática un ejemplo de emplazamiento de una sonda sobre un lugar elegido de la superficie interna de una parte de una pared del eje (en una vista en perspectiva), con vistas a un análisis longitudinal,
- las figuras 7A y 7C representan primeras porciones de una parte de una pared cubiertas por tres sondas monodireccionales desplazadas longitudinalmente de la derecha hacia la izquierda para unos ángulos de emisión respectivamente iguales a 30°, 45° y 60° orientados según un primer sentido longitudinal,
- 50

- las figuras 8A a 8C ilustran segundas porciones de la parte de pared de las figuras 7A a 7C cubiertas por las tres mismas sondas monodireccionales desplazadas longitudinalmente de la izquierda hacia la derecha para ángulos de emisión respectivamente de 30, 45° y 60° orientados según un segundo sentido longitudinal,
  - 5 - las figuras 9A y 9B ilustran las primeras y segundas porciones de la parte de la pared de las figuras 7A a 7C cubiertas por tres sondas de red de fase para sectores angulares comprendidos entre 30° y 70° y orientados respectivamente según un primero y un segundo sentido longitudinales,
  - la figura 10 ilustra una tercera porción de una parte de una pared cubierta por una sonda de red de fase colocada sobre la superficie interna, para un sector angular comprendido entre 30° y 70°, orientado según un sentido longitudinal, y
  - 10 - las figuras 11A y 11B ilustran dos ejemplos de mapas obtenidos sobre una misma pared de un eje de ruedas.
- Los dibujos anexos podrían no solamente servir para completar el invento, sino también para contribuir a su definición, llegado el caso.
- El invento tiene como objetivo permitir el control no destructivo manual de la mayor parte, y si es posible de la totalidad, de un eje de ruedas tubular, incluyendo cuando este último está provisto de equipamientos.
- 15 Se considera en lo que sigue que los ejes tubulares a controlar están destinados a formar parte de ruedas de vagones para el transporte de mercancía(s) o de pasajeros. Pero, el invento no está limitado a esta aplicación. Se refiere en efecto a todo tipo de producto de revolución hueco (tubular), sometidos a unos esfuerzos durante el servicio, como por ejemplo esfuerzos de fatiga, y cuya pared comprende perfiles de radios exterior e interior variables y conocidos.
  - 20 Tal y como se ilustra en la figura 1, un eje (de ruedas) tubular AE incluye una pared PA que es definida por medio de operaciones de forjado en caliente y mecanizado y que presenta al final perfiles de radios exterior R1 e interior R2 variables. Se observará que el espesor radial (es decir según una dirección perpendicular al eje geométrico longitudinal XX) no es forzosamente constante. En otras palabras, los perfiles de los radios exterior R1 e interior R2 no son forzosamente superponibles a una homotecia cercana.
  - 25 El control manual de un eje de este tipo, tanto si está desprovisto de equipamientos, como en el ejemplo de la figura 1, como si está provisto de equipamientos EQ (tales como particularmente ruedas y/o discos de freno), como en el ejemplo de la figura 2, incluso aunque esté montado en un vagón, se hace por medio de un aparato de control del tipo del ilustrado esquemática y funcionalmente en la figura 3.
  - 30 Tal aparato comprende al menos una sonda de ultrasonidos SU (aquí están representadas cinco), un módulo de control MC y un módulo de tratamiento MT, así como preferentemente una pantalla EC. Se observará que el módulo de control MC, el módulo de tratamiento MT y la pantalla EC pueden formar parte de un micro-ordenador (o de una estación de trabajo) MO conectado a las sondas SU, como está ilustrado a título de ejemplo no limitativo en la figura 3. En lo que sigue se considerará que el aparato incluye al menos dos sondas SU.
  - 35 Cuando el eje de ruedas AE a controlar no está montado en un vagón (como está ilustrado en la figura 3), puede ser depositado por ejemplo sobre unos calzos CA (o cualquier otro medio de soporte adaptado a estos efectos), con o sin sus equipamientos.
  - 40 Las sondas de ultrasonidos SU puede disponerse de tal manera que emitan ultrasonidos según una única dirección cuyo ángulo es elegido pero que puede variar en función de las necesidades, ya sea del tipo llamado red de fase (o "phased array"), es decir dispuestas de tal manera que emitan ultrasonidos según varias direcciones comprendidas en un sector angular elegido en función de las necesidades (gracias a un barrido angular electrónico). Se puede obtener igualmente el equivalente a un desplazamiento longitudinal del captador por medio de un barrido electrónico.
  - 45 En el primer caso (monodireccional), cada sonda SU incluye un único elemento de detección encargado de recibir los ecos que provienen de la pared PA objeto del análisis. En el segundo caso (sonda de red de fase), cada sonda SU incluye varios elementos de detección encargados de recibir los ecos que provienen de la pared PA objeto del análisis después de refracciones y/o reflexiones (eventualmente múltiples) bajo diferentes ángulos. Hay que recordar que los elementos de detección están realizados generalmente en un material compuesto y situados sobre transductores. Cuando los elementos de detección de una sonda son excitados, producen un haz de análisis divergente. La forma de este último y por consiguiente su dirección general de incidencia, pueden modificarse electrónicamente introduciendo retardos temporales al nivel de los instantes de excitación de los elementos de
  - 50 detección elegidos de una sonda. Se llama generalmente "sonda virtual" a la combinación de elementos de detección de una sonda y a los eventuales retardos temporales asociados que son utilizados para producir un haz de análisis en una dirección general dada. Una sonda de red de fase puede constituir así varias sondas virtuales (por ejemplo varias decenas) en función de las combinaciones de las que hayan sido objeto. La frecuencia de excitación de los transductores es típicamente del orden de algunos megahercios (2 a 5 MHz). Cuando no son
  - 55 excitados en emisión, estos mismos elementos de detección sirven para la detección de ecos que provienen de los

interfaces material/aire o material/líquido, de las imperfecciones y de los defectos. Constituyen así captadores del tipo emisor/receptor.

5 Los perfiles de radios internos R2 y externos R1 que presenta la pared PA y las eventuales obstrucciones y entornos del eje AE son analizados, por ejemplo por medio de un aparato lógico de simulaciones del tipo CIVA 8,0 (desarrollado y comercializado por el Comisariado de Energía Atómica (CEA)), de tal manera que determina el número de sondas SU que van a ser necesarias para analizar la integridad o una parte elegida solamente del eje AE, teniendo en cuenta su tipo (monodireccional o de red de fase y (en este segundo caso su número de elementos de detección)) y el hecho de que pueden ser orientadas de tal manera que se efectúan análisis longitudinales o transversales según un primer y un segundo sentidos opuestos.

10 Se entenderá aquí por “análisis longitudinal” un análisis efectuado con vistas a buscar defectos y/o imperfecciones orientadas preferentemente de manera longitudinal o según un pequeño ángulo agudo con respecto a la dirección longitudinal XX (ángulo agudo típicamente inferior a  $\pm 25^\circ$ , y preferentemente inferior a  $\pm 5^\circ$ ). A veces se emplea el término oblicuidad para designar esta orientación del defecto. Este análisis se efectúa por medio de un haz emitido según una dirección perpendicular a la dirección longitudinal XX, es decir cuya dirección general está contenida sensiblemente en un plano perpendicular a la dirección longitudinal XX o bien que forma un pequeño ángulo agudo (típicamente inferior a  $\pm 10^\circ$ ) con esta dirección perpendicular.

15 Por otra parte, se entenderá aquí por “análisis transversal” a un análisis efectuado con vistas a buscar defectos y/o imperfecciones orientadas preferentemente en dirección transversal o según un pequeño ángulo agudo con respecto a un plano perpendicular a la dirección longitudinal XX (ángulo agudo típicamente inferior a  $\pm 25^\circ$ , y preferentemente inferior a  $\pm 5^\circ$ ). A veces se emplea el término oblicuidad para designar esta orientación del defecto. Este análisis se efectúa por medio de un haz emitido según una dirección paralela a la dirección longitudinal XX, es decir cuya dirección general está contenida sensiblemente en un plano que contiene a su vez la dirección longitudinal XX o bien que forma un pequeño ángulo agudo (típicamente inferior a  $\pm 10^\circ$ ) con esta dirección longitudinal.

20 Además, se entenderá aquí por “entorno del eje” al contenido en el espacio que lo rodea cuando debe ser controlado. Se comprenderá que, en efecto, cuando se debe controlar un eje AE que está montado en un vagón, colocado a su vez sobre unos railes, las porciones que se pueden controlar pueden ser notablemente reducidas.

25 Teniendo en cuenta las formas de los perfiles de radios internos R2 y externos R1 que presenta habitualmente la pared PA de los ejes AE y las eventuales obstrucciones y entornos de estos últimos, el ángulo de emisión de una sonda SU monodireccional debe generalmente poder variarse entre alrededor de  $0^\circ$  y alrededor de  $70^\circ$  con respecto a la dirección longitudinal XX, y el sector angular de emisión de una sonda SU de red de fase debe estar comprendido generalmente entre alrededor de  $0^\circ$  y alrededor de  $70^\circ$  con respecto a la dirección longitudinal XX.

30 Una vez que el módulo de control MC ha determinado para cada sonda SU el (primer) lugar elegido en el que debe ser colocada inicialmente y de forma manual en relación con el eje AE de tal manera que analice una primera porción elegida de la pared PA en un primer sector angular elegido, orientado según un primer sentido longitudinal o transversal, así como el eventual (segundo) lugar elegido en el que debe ser colocada posteriormente y de forma manual con relación al eje AE de tal manera que analice una segunda porción elegida de la pared PA en un segundo sector angular elegido, orientado según un segundo sentido longitudinal o transversal opuesto al primer sentido, se pueden colocar manualmente las sondas SU en sus primeros lugares elegidos respectivos.

35 Esta colocación manual de las sondas SU con relación al eje AE puede hacerse en primeros lugares elegidos que estén sobre la superficie externa SE de la pared PA, o bien sobre la superficie interna SI de esta pared PA, según las necesidades (y la configuración del eje AE). Se puede comenzar por ejemplo por efectuar análisis por ultrasonidos colocando las sondas SU sobre la superficie externa SE de la pared PA, y después eventualmente completar estos análisis colocando a continuación sondas SU sobre la superficie interna SI de la pared PA (es decir en el interior del eje tubular AE). Pero a la inversa es igualmente posible.

40 El acoplamiento entre las sondas SU y la superficie interna SI o externa de la pared PA puede hacerse mediante cualquiera de los medios conocidos por el experto, y particularmente por medio de glicerina o por inmersión en agua, preferentemente mezclada con un producto anticorrosivo.

45 En las figuras 4A y 4B se han representado dos ejemplos de emplazamiento de una sonda SU en dos lugares elegidos de la superficie externa SE de una parte de la pared PA del eje AE, con vistas a un análisis longitudinal. Se ha representado igualmente en la figura 5 un ejemplo de emplazamiento de una sonda SU en un lugar elegido de la superficie externa SE de una parte de una pared PA del eje AE, con vistas a un análisis transversal. Igualmente se ha representado en la figura 6 un ejemplo de emplazamiento de una sonda SU en un lugar elegido de la superficie interna SI de una parte de la pared PA del eje AE, con vistas a un análisis longitudinal.

50 Es importante observar que una sonda SU puede analizar una porción que le ha sido asignada o bien siendo mantenida al nivel de un lugar elegido, o bien siendo desplazada manualmente por un técnico, longitudinal y/o transversalmente, entre una posición de partida (que corresponde al lugar inicialmente elegido) y una posición de

final (que corresponde a otro lugar elegido), eventualmente por medio de una o varias posiciones intermedias (que corresponden cada una a otro lugar elegido).

5 En lugar de desplazar manualmente algunas sondas SU, o bien como complemento de tal desplazamiento, pueden ser utilizadas en modo de barrido electrónico, bajo el control del módulo de control MC, para analizar una parte al menos de las porciones de una pared PA. Hay que recordar que un barrido electrónico se obtiene con una sonda SU utilizando algunos de estos elementos de detección situados en emplazamientos elegidos de su red de fase y atribuyendo retardos elegidos a estos elementos de detección elegidos de manera que emitan secuencialmente. Este modo de desplazamiento “electrónico” es ventajoso pues evita tener que desplazar manualmente una sonda SU.

10 El módulo de control MC es el encargado de determinar, en función de los perfiles interno y externo del eje AE a controlar y de las eventuales obstrucciones y entorno de este último, al menos primeros y segundos lugares elegidos sobre la superficie externa SE o interna SI de la pared PA en dónde deber ser colocadas manualmente las sondas SU con el fin de que analicen las primeras y segundas porciones elegidas de la pared PA respectivamente en los primeros y segundos sectores angulares elegidos, orientados según un primer y un segundo sentidos longitudinales (dirección XX) o transversales (dirección perpendicular a la dirección XX) opuestos, y que adquieran así datos de análisis para diferentes posiciones relativas del eje AE con respecto a las sondas SU.

15 Se observará que la solución utilizada para analizar toda una porción de pared PA elegida depende del tipo de sonda SU disponible y, además, en el caso de las sondas de red de fase, del número de elementos de detección que las constituyen. En efecto, se comprenderá que si el número de elementos de detección de una sonda SU está adaptado a la cobertura de la porción de la pared PA que le ha sido asignada, es inútil prever un desplazamiento longitudinal manual pues se le puede sustituir por un barrido electrónico. A título de ejemplo, si una sonda SU debe cubrir una porción de pared PA de extensión longitudinal igual a 100 mm, entonces debe tener al menos 200 elementos de detección de 0,5 mm de lado, separados por ejemplo dos a dos una distancia igual a alrededor de 0,1 mm. Hay que recordar que cuanto más pequeñas son las dimensiones de los elementos de detección, más anchos pueden ser los sectores angulares de análisis. Se puede encontrar un compromiso entre el número de elementos de detección de las sondas SU y las posibilidades de extensión de la cobertura ofrecidas por el barrido electrónico, de tal manera que se eviten los desplazamientos longitudinales manuales.

20 Se observará igualmente que la utilización de sondas de red de fase es más ventajosa que la de las sondas monodireccionales pues permite obtener una mejor continuidad sobre un mismo sector angular de análisis evitando absolutamente cualquier desplazamiento angular de la fuente de ultrasonidos.

25 Según el invento, una vez que las sondas SU han sido colocadas manualmente sobre la superficies externa SE o interna SI de una pared PA en los primeros lugares (elegidos en función de sus perfiles y de las eventuales obstrucciones y entorno del eje AE), cada una de estas sondas procede al análisis de la primera porción de la pared PA, que ha sido determinada para ella por el módulo de control MC, en un primer sector angular elegido que está orientado según un primer sentido longitudinal o transversal. Cada sonda SU puede obtener así datos de análisis para la posición angular corriente relativa del eje AE con respecto a la citada sonda SU. Al desplazar angularmente las sondas SU con respecto al eje AE sobre los sectores angulares sucesivos elegidos, cada sonda SU puede efectuar una nueva obtención de datos de análisis después de cada desplazamiento angular. Se puede disponer así de datos de análisis relativos a la totalidad de la circunferencia de cada primera porción de pared PA inspeccionada.

30 Estos datos de análisis incluyen por ejemplo los ángulos de emisión, los instantes de emisión y de recepción de los ultrasonidos (o lo que es equivalente los intervalos temporales entre los instantes de emisión y de recepción), y los ángulos de recepción. Aquellos son transmitidos, por ejemplo, transmitidos por las sondas SU al módulo de control MC, que es el encargado de almacenarlos en una memoria MY en correspondencia con las posiciones longitudinales y angulares de las primeras porciones inspeccionadas con respecto a una referencial elegida, así como eventualmente identificar la sonda SU utilizada para obtenerlos.

35 A continuación, algunas al menos de las sondas SU son recolocadas sobre la superficie externa SE o interna SI de la pared PA en los segundos lugares (elegidos en función de sus perfiles y de eventuales obstrucciones y entorno del eje AE con el fin de que procedan al análisis de las segundas porciones de la pared PA que les han sido atribuidas respectivamente, en segundos sectores angulares elegidos que están orientados según un segundo sentido longitudinal o transversal, opuesto al primer sentido.

40 Por ejemplo, si el primer sentido corresponde a un sentido que va de la izquierda hacia la derecha del eje longitudinal XX, entonces el segundo sentido se corresponde con un sentido que va de la derecha hacia la izquierda del citado eje longitudinal XX. De la misma manera, si el primer sentido corresponde a un sentido que va de la izquierda hacia la derecha de un segundo eje perpendicular al eje longitudinal XX, entonces el segundo sentido se corresponde con un sentido que va de la derecha hacia la izquierda del citado segundo eje.

45 Cada sonda SU recolocada manualmente puede obtener así datos de análisis para su posición angular corriente con respecto al eje AE. Al desplazar angularmente las sondas SU con respecto al eje AE sobre sectores angulares elegidos, cada sonda SU puede efectuar una nueva obtención de datos de análisis después de cada desplazamiento

angular. Se puede disponer así de datos de análisis relativos a la integridad de la circunferencia de cada segunda porción de pared PA inspeccionada. Estos datos de análisis son transmitidos por ejemplo por las sondas SU al módulo de control MC que es el encargado de almacenarlos en una memoria en correspondencia con las posiciones longitudinales y angulares de las segundas porciones inspeccionadas con respecto a una referencial elegida, así como eventualmente de identificar la sonda SU utilizada para obtenerlos.

Gracias a este doble análisis según sentidos opuestos, se puede inspeccionar todo o parte de un eje de ruedas AE (según las necesidades), tal y como resulta de las figuras 7 a 10. De una manera más precisa:

- las figuras 7A a 7C representan las primeras porciones de una parte de una pared que pueden ser cubiertas por tres sondas monodireccionales, colocadas sobre la superficie externa SE y desplazadas longitudinalmente desde la derecha hacia la izquierda, para unos ángulos de emisión respectivamente iguales a 30°, 45° y 60° orientados según un primer sentido longitudinal (que va desde la derecha hacia la izquierda),

- las figura 8A a 8C representan las segundas porciones de esta misma parte de la pared que pueden ser cubiertas por las tres mismas sondas monodireccionales, colocadas sobre la superficie externa SE y desplazadas longitudinalmente desde la izquierda hacia la derecha, para unos ángulos de emisión respectivamente iguales a 30°, 45° y 60°, orientados según un segundo sentido longitudinal (que va desde la izquierda hacia la derecha),

- la figura 9A representa las primeras porciones de esta misma parte de pared que pueden ser cubiertas por tres sondas de red de fase, colocadas sobre la superficie externa SE, para un sector angular comprendido entre 30° y 70°, orientado según un primer sentido longitudinal (que va desde la derecha hacia la izquierda).

- la figura 9B representa las segundas porciones de esta misma parte de pared que pueden ser cubiertas por las tres mismas sondas de red de fase, colocadas sobre la superficie externa SE, para un sector angular comprendido entre 30° y 70°, orientado según un segundo sentido longitudinal (que va desde la izquierda hacia la derecha), y

- la figura 10 representa las terceras porciones de esta misma parte de pared que pueden ser cubiertas por una sonda de red de fase, colocada sobre la superficie interna SI para un sector angular comprendido entre 30° y 70°, orientado según un sentido longitudinal (que va desde la izquierda hacia la derecha).

Teniendo en cuenta las formas de los perfiles de radios internos R2 y externos R1 que presenta habitualmente la pared PA de los ejes AE y las eventuales obstrucciones y entornos de estos últimos, el ángulo de emisión de una sonda SU monodireccional debe generalmente poder variar entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal XX o transversal, y el sector angular de emisión de una sonda SU de red de fase debe estar comprendido generalmente entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal XX o transversal.

Sobre los ejemplos de las figuras 7 a 10 cada flecha de doble sentido materializa la extensión longitudinal de la (primera) porción analizada por una sonda SU (colocada encima). Se comprenderá que la obstrucción y el entorno de un eje de ruedas AE reduce notablemente, en alguna de sus partes, las extensiones longitudinales de las porciones que pueden ser analizadas técnicamente (cubiertas) por una misma sonda SU. Este es en particular el caso en las partes que están situadas bajo las ruedas, las cuales tienen una probabilidad más importante de tener defectos estructurales inducidos por el encaje a la fuerza y/o por las cargas soportadas, y que por lo tanto deben ser objeto de una inspección (análisis) lo más preciso posible y lo más completo posible.

Los datos de análisis almacenados son extraídos por el módulo de tratamiento MT, que es el encargado entonces de reagruparlos en función de las zonas del eje a las que se refieren de tal manera que constituyen mapas que representan las orientaciones transversales o longitudinales y las posiciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared PA.

Hay que recordar que las indicaciones de los ecos resultan de una reflexión ya sea sobre un interfaz material/aire o material/líquido, ya sea sobre una imperfección, o incluso sobre un defecto.

Hay que recordar igualmente que los análisis longitudinales están adaptados más particularmente a la detección de imperfecciones y de defectos transversales (que son generalmente los más frecuentes), mientras que los análisis transversales están más particularmente adaptados a la detección de imperfecciones y de defectos longitudinales.

El hecho de inspeccionar materiales según dos sentidos opuestos y por tanto según direcciones de análisis muy diferentes permite detectar imperfecciones y defectos de dimensiones más pequeñas, y de esta manera un mayor número de imperfecciones y de defectos que con los procedimientos y aparatos de control de la técnica anterior adaptados a los ejes no huecos (o macizos). Pero eso permite igualmente una buena detección de imperfecciones y defectos oblicuos e inclinados (o "desordenados") en el interior de la pared PA.

Se observará que el módulo de tratamiento MT puede eventualmente estar dispuesto de tal manera que efectúe "correlaciones" entre datos de análisis relativos a zonas idénticas que constituyen las zonas de recubrimiento de primera-(s) y/o segunda-(s) porciones de pared. Pueden constituir así mapas "brutos" de estas zonas de recubrimiento, eventualmente de tipo tridimensional (3D).

Los ficheros de datos que constituyen los mapas brutos están almacenados preferentemente en una memoria MY. Estos mapas pueden ser entonces mostrados de manera individualizada (unos detrás de otros o de forma agrupada (varios al mismo tiempo) sobre la pantalla EC con vistas a un análisis por un técnico, ya sea analizados en primer lugar de forma automatizada, y después convertidos en mapas “corregidos” o mapas “de defectos” que pueden ser mostrados sobre una pantalla EC de manera individualizada o de manera agrupada.

Pueden efectuarse varios tipos de análisis comparativos sobre los mapas “brutos”.

Por ejemplo, un módulo de tratamiento MT puede ser el encargado de comparar los datos de algunos al menos de los mapas, que han sido obtenidos sobre un eje AE a controlar, con datos de los primeros mapas de calibración que han sido obtenidos sobre un primer eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero desprovisto de defectos. En este caso, el módulo de tratamiento MT no retiene nada más que los datos que son representativos de las indicaciones de los ecos que no están presentes en los primeros mapas de calibración, con el fin de constituir mapas corregidos que almacena en la memoria MY.

Como variante o como complemento, el módulo de tratamiento MT puede ser el encargado de comparar al menos los datos de ciertos mapas (brutos o corregidos) que han sido obtenidos sobre un eje AE con los datos de segundos mapas de calibración que han sido obtenidos sobre un segundo eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero que incluyen defectos conocidos. En este caso, el módulo de tratamiento MT no retiene nada más que los datos que son representativos de las indicaciones de los ecos representativos de defectos conocidos presentes en los segundos mapas de calibración, con el fin de constituir mapas de defectos que almacena en la memoria MY.

Como variante como complemento, el módulo de tratamiento MT puede ser el encargado de comparar con una amplitud umbral elegida las amplitudes de las indicaciones de los ecos representados sobre al menos ciertos mapas. En este caso, el módulo de tratamiento MT no retiene nada más que los datos que son representativos de las indicaciones de los ecos cuyas amplitudes son superiores a la amplitud umbral elegida y que de esta manera son censados como producidos por los defectos, con el fin de constituir mapas de defectos.

Por otra parte, se puede considerar igualmente que el módulo de tratamiento MT genera una alarma (sonora y/o visual, (mostrada sobre la pantalla EC)) cada vez que detecta que una amplitud es superior a la amplitud umbral elegida.

Se han representado en las figuras 11A y 11B dos ejemplos de mapas brutos obtenidos sobre una misma pared PA del eje de ruedas AE. Los defectos estructurales detectados están referenciados como DS.

Como se ha indicado anteriormente, se puede analizar una pared PA colocando manualmente las sondas SU sobre su superficie externa SE o bien sobre su superficie interna SI. Pero se puede considerar igualmente efectuar un doble análisis, por ejemplo comenzando por colocar manualmente las sondas SU sobre su superficie externa SE y después colocando manualmente algunas sondas SU sobre su superficie interna SI. De una manera más precisa, en este caso se colocan manualmente las sondas SU sobre la superficie externa SE de la pared PA en primeros lugares elegidos y se analizan con estas sondas SU primeras porciones elegidas de la pared PA en primeros sectores angulares elegidos, orientados según un primer sentido longitudinal (o transversal), con el fin de obtener datos de análisis para diferentes posiciones angulares de las sondas SU con respecto al eje AE. A continuación, se recolocan manualmente al menos algunas de estas sondas SU sobre la superficie externa SE de la pared PA en segundos lugares elegidos y se analizan con estas sondas SU segundas porciones elegidas de la pared PA en segundos sectores angulares elegidos, orientados según un segundo sentido longitudinal (o transversal), opuesto al primero, con el fin de obtener datos de análisis para diferentes posiciones angulares de las sondas SU con respecto al eje AE. Finalmente, se colocan manualmente al menos algunas de las sondas SU sobre la superficie interna SI de la pared PA en terceros lugares elegidos y se analizan con estas sondas SU terceras porciones elegidas de la pared PA en terceros sectores angulares elegidos, orientados al menos según un sentido longitudinal (o transversal), incluso en dos sentidos opuestos, con el fin de obtener datos de análisis para diferentes posiciones angulares de las sondas SU con respecto al eje AE.

El módulo de tratamiento MT constituye entonces, a partir del conjunto de datos de análisis, mapas representativos de unas posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la pared PA.

Este doble análisis por el exterior y el interior puede permitir cubrir la totalidad de las porciones de una pared PA a inspeccionar, mientras que esto puede comprobarse que es imposible por medio de un solo análisis por el exterior, debido a los perfiles de esta pared y/o a las obstrucciones y/o al entorno del eje AE.

Igualmente es posible efectuar un primer análisis longitudinal en los dos sentidos (como se ha indicado anteriormente) y por el exterior (o el interior), y a continuación un segundo análisis transversal en al menos un sentido y por el exterior (o por el interior), de tal manera que se constituyen mapas representativos de las orientaciones transversales y de posiciones de indicaciones de ecos en el seno de la pared PA y mapas representativos de las orientaciones longitudinales y de posiciones de indicaciones de ecos en el seno de esta misma pared PA.

Igualmente, es posible efectuar un primer análisis longitudinal en los dos sentidos y por el exterior, y a continuación un segundo análisis transversal en al menos un sentido y por el interior.

Igualmente, es posible efectuar un primer análisis transversal en los dos sentidos y por el interior, y a continuación un segundo análisis en al menos un sentido y por el exterior.

- 5 De una forma general, se pueden considerar todas las combinaciones de análisis longitudinal-(es) y transversal-(es) por el interior y por el exterior.

Se observará que los análisis por el interior pueden necesitar en algunos casos un remandrinado al menos de las extremidades del eje de ruedas tubular AE, de tal manera que permita la colocación de al menos una sonda SU en el interior de este eje, contra la superficie interna SI de su pared PA, así como su eventual desplazamiento manual.

- 10 Se observará igualmente que los lugares de colocación de las sondas SU, los diferentes ángulos o los diferentes sectores angulares de análisis por ultrasonidos de cada una de las sondas SU y las porciones de pared atribuidas a las diferentes sondas pueden ser determinadas eventualmente por medio del módulo de control MC en función del o de los esfuerzos. Así, se puede considerar que una parte de un control sea efectuada con un haz cuya dirección general está sensiblemente contenida en un plano que contiene a su vez la dirección longitudinal XX y sobre
- 15 porciones de pared que presentan dos a dos de las tasas de recubrimiento elegidas, por ejemplo 50%, y/o que una parte de un control es hecha con haces sucesivos cuyas direcciones generales están sensiblemente contenidas en planos que forman ángulos agudos con esta dirección longitudinal XX a la que cruzan entre 0° y +20° y entre 0° y -20°. Por otra parte, el ángulo de inclinación de los elementos de detección de una sonda SU puede ser elegido en función de las necesidades. A título de ejemplo no limitativo, puede elegirse un ángulo de 45° con respecto a la
- 20 dirección longitudinal XX.

Igualmente, se observará, tal y como lo conoce el experto, que la ganancia de cada transductor debe ser objeto de un ajuste durante una fase de calibración, por ejemplo para que la amplitud de la señal obtenida sobre el primer eco que proviene de un interfaz de la pared PA se corresponde con una amplitud igual por ejemplo a alrededor de 50% de la dinámica total de amplitud utilizada para los mapas.

- 25 Por otra parte, la fase de calibración comprende igualmente, de manera preferente, una primera parte dedicada a la obtención de los mapas de calibración citados anteriormente, que son representativos de los resultados de análisis por ultrasonidos efectuados sobre un eje de rueda tubular de calibración del mismo tipo que los que deben ser objeto de control, pero sano (es decir desprovisto de imperfecciones y de defectos estructurales). Esta primera parte de la fase de calibración permite conocer, en efecto, con antelación, los ecos que son inducidos por la geometría de la pared PA (y sobre todo los rincones y más generalmente las zonas en las cuales el radio interior R2 o exterior R1 varían de forma importante) y diferenciarlos así de los que son inducidos por las imperfecciones y los defectos estructurales en los ejes de ruedas tubulares AE a controlar.

- 35 Asimismo, la fase de calibración puede comportar igualmente una segunda parte dedicada a la obtención de los mapas de calibración citados anteriormente, que son representativos de los resultados de análisis por ultrasonidos efectuados sobre un eje de rueda tubular de calibración del mismo tipo que el que debe ser objeto de control, pero cuya calibración incluye defectos estructurales o artificiales característicos (como por ejemplo muescas o cavidades características) definidas en lugares elegidos. Estos defectos estructurales o artificiales característicos están definidos según un cuaderno de cargas y/o normas que fijan un umbral de orden o escrutinio entre imperfecciones y defectos. Cuando la amplitud de la señal que viene de los ecos sobre defectos naturales es inferior al umbral de
- 40 orden se está en presencia de una imperfección. En caso contrario, (superior al umbral) se está en presencia de un defecto. Esta segunda parte de la fase de calibración permite conocer, en efecto, con antelación los ecos que son inducidos por defectos estructurales o artificiales característicos y poder así detectar más fácilmente en los mapas, por comparación con el umbral de escrutinio, los "objetos" que inducen los ecos (o firmas) de tipos similares en los ejes de ruedas tubulares AE a controlar.

- 45 Una vez que se ha terminado el análisis longitudinal y/o transversal por ultrasonidos de un eje de ruedas tubular AE, es posible efectuar a continuación manualmente al menos un análisis complementario de otro tipo. Por ejemplo, se puede efectuar un análisis de la superficie externa SE de la pared PA con el fin de obtener los datos de análisis de la superficie para diferentes posiciones relativas del eje AE con respecto a los medios de análisis de la superficie.

- 50 Entre las técnicas de análisis de la superficie que pueden ser utilizadas, se puede citar sobre todo la llamada de flujo de fuga y la de las corrientes de Foucault. Algunas de estas técnicas son ventajosas por el hecho de que proporcionan datos de análisis de la superficie a partir de los cuales se pueden realizar mapas representativos de las posiciones y de las orientaciones de los defectos de la superficie de la pared PA. Los ficheros de datos que constituyen estos mapas de defectos de la superficie son almacenados preferentemente en una memoria MY con el fin de que los citados mapas de defectos de la superficie puedan ser mostrados de forma individualizada (unos
- 55 después de otros) o de forma agrupada (varios al mismo tiempo), eventualmente con los mapas de defectos estructurales (obtenidos por ultrasonidos), sobre una pantalla EC con vistas a un análisis por un técnico y/o a una comparación con los mapas obtenidos con las sondas SU. Esto puede permitir igualmente una comparación

automática mediante el aparato de los mapas de defectos de la superficie y de los mapas obtenidos por ultrasonidos.

5 Se observará que igualmente se puede efectuar un análisis de la superficie del tipo MPI ("Magnetic Particle Inspection) - inspección con partículas magnetizadas). Hay que recordar que esta técnica consiste en recubrir la superficie externa SE de una pared PA por medio de partículas magnéticas y de un revelador, a continuación magnetizar la pared a inspeccionar, y después observar (con los ojos) de manera visual bajo una luz UV (ultravioleta) las irregularidades de orientación de estas partículas magnéticas, irregularidades de orientación ligadas a la presencia de defectos o imperfecciones. El inconveniente de esta técnica de análisis de superficie reside en el hecho de que no permite, al día de hoy, obtener mapas de defectos de la superficie, y en que reposa por tanto  
10 exclusivamente en la observación visual del técnico que efectúa el control del eje AE, y en que necesita de inmediato una comparación visual y no automática con los mapas obtenidos por ultrasonidos. Se es entonces tributarios de la interpretación del operador y de sus criterios.

15 Se observará igualmente que los mapas de los que se ha tratado anteriormente pueden ser de todos los tipos conocidos por el experto, y en particular del tipo A-Scan, B-Scan, C-Scan, D-Scan, S-Scan (o Sector Scan). A título de ejemplo puramente ilustrativo, se pueden constituir por ejemplo mapas del tipo S-Scan (que proporcionan indicaciones de localización en el volumen- un mapa por cada posición de una sonda).

20 Gracias al invento, es posible detectar imperfecciones y defectos de alrededor de 2 mm de espesor (es decir de alrededor del 5% del espesor nominal de la pared PA en la dirección radial), de alrededor de 5 mm de largo y de alrededor de 1 mm de ancho. Por otra parte, pueden ser detectadas las imperfecciones y los defectos longitudinales y transversales que presentan una oblicuidad según unos ángulos agudos típicamente inferiores a  $\pm 25^\circ$  y preferentemente inferiores a  $\pm 5^\circ$ . Además, pueden ser detectadas cavidades (o "flaws") longitudinales o transversales que presentan ángulos de desordenación (o "tilt angles") que pueden alcanzar hasta alrededor de  $60^\circ$ .

25 El invento no se limita a los ejemplos de procedimiento y de aparato de control de ejes de ruedas tubulares descritos anteriormente, sólo a título de ejemplo, sino que engloba todas las variantes que pueda considerar el experto en el marco de las reivindicaciones que siguen.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de control de ejes de ruedas por medio de sondas de ultrasonidos, caracterizado por que comprende las etapas siguientes:
  - 5 a) colocar manualmente al menos una sonda de ultrasonidos (SU) en un primer lugar que es elegido sobre la superficie externa (SE) o interna (SI) de una pared (PA) de un eje de ruedas tubular (AE), presentando la citada pared (PA) unos perfiles de radios exterior e interior variables y conocidos, siendo elegido cada primer lugar en función de los citados perfiles y de eventuales obstrucciones y entorno del citado eje (AE), a continuación analizar con cada sonda (SU) una primera porción elegida de la citada pared (PA) en un primer sector angular elegido, orientado según un primer sentido longitudinal o transversal, de tal manera que se obtienen unos datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a una sonda (SU).
  - 10 b) recolocar manualmente al menos una sonda (SU) en un segundo lugar elegido en función de los perfiles de la pared (PA) y de las citadas eventuales obstrucciones y entornos del eje (AE), y a continuación analizar con cada sonda (SU) recolocada manualmente una segunda porción elegida de la citada pared (PA) en un segundo sector angular elegido, orientado según un segundo sentido opuesto al citado primer sentido, de tal manera que se obtengan otros datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a una sonda (SU), y
  - 15 c) constituir a partir de los citados datos obtenidos mapas representativos de las orientaciones transversales o longitudinales y de las posiciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la citada pared (PA).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se efectúan una primera vez las etapas a) a c) colocando manualmente cada sonda de ultrasonidos (SU) sobre la superficie externa (SE) de la citada pared (PA) de tal manera que se constituyen mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de ecos en el seno de la citada pared (PA), a continuación se efectúan una segunda vez al menos las etapas a) a c) colocando manualmente al menos una sonda de ultrasonidos (SU) sobre la superficie interna (SI) de la citada pared (PA) en un tercer lugar, elegido en función de sus perfiles, y a continuación se analizan con cada sonda (SU) una tercera porción de la citada pared (PA) en un tercer sector angular elegido, orientado según al menos un sentido longitudinal o transversal elegido, de tal manera que se obtengan datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a una sonda (SU), y constituir así mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la citada pared (PA).
- 20 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que se efectúan las etapas a) a c) al menos una vez colocando manualmente cada sonda de ultrasonidos (SU) sobre la superficie externa (SE) o interna (SI) de la citada pared (PA) de tal manera que se efectúa un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección longitudinal, y se constituyen así mapas representativos de la orientaciones transversales y de las posiciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la citada pared (PA), y a continuación se efectúan de nuevo las etapas a) a c) todavía una vez más al menos colocando manualmente una sonda de ultrasonidos (SU) al menos sobre la superficie externa (SE) o interna (SI) de la citada pared (PA) de tal manera que se efectúe un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección transversal y constituir así mapas representativos de las orientaciones longitudinales y de las posiciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la citada pared (PA).
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque, después de haber efectuado una etapa c) se prevé una etapa d) en la cual se efectúa un análisis de al menos la superficie externa (SE) de la citada pared (PA), por medio de otra técnica de análisis diferente de la basada en ultrasonidos, de tal manera que se obtienen datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas de al menos una sonda (SU) con respecto al citado eje (AE), después de haber efectuado una etapa d), se prevé una etapa e) en la cual se constituyen, a partir de estos datos de análisis obtenidos, mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de superficie de la citada pared (PA), la citada otra técnica de análisis es elegida de un grupo que incluye la técnica llamada de flujo de fuga y la técnica llamada de corrientes de Foucault, o, después de haber efectuado una etapa c), se prevé una etapa d) en la cual se efectúa un análisis de al menos la superficie externa (SE) de la citada pared (PA) por medio de una técnica llamada de inspección con partículas magnetizadas (o MPI), de tal manera que se obtengan datos de análisis de superficie para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a una sonda (SU).
- 40 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque se analizan cada una de las primeras, segundas y eventuales terceras porciones de la citada pared por medio de un desplazamiento longitudinal de al menos una sonda (SUI) con respecto al citado eje (AE) y/o por medio de un barrido electrónico con al menos una sonda (SU), y con una al menos de las citadas etapas a), b) y c) y se obtienen las diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a cada sonda (SU) arrastrando en rotación manualmente cada sonda (SU) con respecto al citado eje (AE).
- 45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque incluye una etapa f) en la cual se comparan los datos de los mapas obtenidos durante una etapa c) con los datos de los primeros mapas de

- calibración obtenidos sobre un primer eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero desprovisto de defectos, de tal manera que no se retengan nada más que los datos representativos de las indicaciones de los ecos que no están presentes en los citados primeros mapas de calibración y constituir así mapas corregidos, una etapa g) en la cual se comparan los datos de los mapas obtenidos durante una etapa c) o f) con los datos de los segundos mapas de calibración obtenidos sobre un segundo eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero que incluye defectos conocidos, de tal manera que no se retengan nada más que los datos representativos de las indicaciones de ecos representativos de defectos conocidos presentes en los citados segundos mapas de calibración, y constituir así mapas de defectos, una etapa h) en la cual se comparan con una amplitud umbral elegida las amplitudes de los datos de los mapas obtenidos durante una etapa c) o f) de tal manera que no se retengan nada más que los datos representativos de indicaciones de ecos cuyas amplitudes son superiores a la citada amplitud umbral y señalan defectos, y constituir así mapas de defectos, en caso de detección de una amplitud superior a la citada amplitud umbral, se genera una alarma, y una etapa i) en la cual se muestra al menos un mapa sobre una pantalla (EC).
- 5
- 10
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque se utiliza una sonda (SU) capacitada para emitir ultrasonidos según un única dirección de ángulo variable, variando el citado ángulo entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal.
- 15
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se utiliza una sonda (SU) del tipo llamado de red de fase, capacitada para emitir ultrasonidos según direcciones comprendidas en un sector angular elegido, estando comprendido el citado sector angular entre alrededor de 0° y alrededor de 70°, con respecto a la dirección longitudinal o transversal.
- 20
9. Aparato de control de ejes de ruedas, caracterizado porque comprende: i) al menos una sonda de ultrasonidos (SU) preparada para analizar en un sector angular elegido porciones elegidas de una pared (PA), que presenta unos perfiles de radios exterior e interior variables y conocidos de un eje de ruedas tubular (AE), y obtener así datos de análisis, ii) unos medios de control (MC) preparados para determinar, en función de los citados perfiles y de eventuales obstrucciones y entornos del citado eje, al menos un primer y al menos un segundo lugares elegidos sobre la superficie externa (SE) o interna (SI) de la citada pared (PA) en donde debe colocarse manualmente cada sonda (SU) de tal manera que analice al menos una primera y al menos una segunda porciones elegidas de la citada pared (PA) respectivamente en al menos un primero y al menos un segundo sectores angulares elegidos, orientados según un primer y un segundo sentidos longitudinales o transversales opuestos, y que obtenga así datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a ella (SU), e iii) unos medios de tratamiento (MT) preparados para constituir, a partir de los citados datos de análisis obtenidos, mapas representativos de las orientaciones transversales o longitudinales y de las posiciones de indicaciones de ecos en el seno de la citada pared (PA).
- 25
- 30
10. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado porque los citados medios de control (MC) están preparados para determinar un primer desplazamiento que debe ser aplicado a cada sonda (SU) con respecto a la superficie externa (SE) de la citada pared (PA) de tal manera que obtenga unos datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a una sonda (SU), a continuación para determinar un segundo desplazamiento que debe ser aplicado manualmente al menos a una sonda (SU) con respecto a la superficie interna (SI) de la citada pared (PA) de tal manera que analice al menos una tercera porción elegida de la citada pared (PA) en al menos un tercer sector angular elegido, orientado según un sentido longitudinal o transversal elegido y que obtenga así otros datos de análisis para diferentes posiciones angulares relativas del citado eje (AE) con respecto a ella (SU), y porque los citados medios de tratamiento (MT) están preparados para constituir, a partir de los citados datos de análisis obtenidos, mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de los ecos en el seno de la citada pared (PA).
- 35
- 40
11. Aparato según una de las reivindicaciones 9 y 10, caracterizado porque los citados medios de control (MC) están preparados i) para determinar un primer desplazamiento que debe ser aplicado manualmente a cada sonda (SU) con respecto a la superficie externa (SE) o interna (SI) de la citada pared (PA) de tal manera que efectúe un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección longitudinal, y que obtenga datos de análisis a partir de los cuales los citados medios de tratamiento (MT) van a constituir mapas representativos de las orientaciones transversales y de las posiciones de las indicaciones de ecos, a continuación ii) para determinar al menos un segundo desplazamiento que debe ser aplicado manualmente al menos a una sonda (SU) con respecto a la superficie externa (SE) o interna (SI) de la citada pared (PA) de tal manera que efectúe un análisis ultrasónico en un sector angular orientado según una dirección transversal, y que obtenga datos de análisis a partir de los cuales los citados medios de tratamiento (MT) van a constituir mapas representativos de las orientaciones longitudinales y de las posiciones de las indicaciones de ecos.
- 45
- 50
- 55
12. Aparato según una de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado porque comprende medios de análisis de superficie preparados para analizar al menos la superficie externa (SE) de la citada pared (PA), por medio de otra técnica de análisis diferente de la basada en los ultrasonidos, de tal manera que obtenga datos de análisis para diferentes posiciones relativas del citado eje (AE) con respecto a cada sonda (SU), estando preparados los citados medios de tratamiento (MT) para constituir, a partir de los citados datos de análisis obtenidos por los citados medios de análisis de superficie (MAS), mapas representativos de las posiciones y orientaciones de las indicaciones de
- 60

- superficie de la citada pared (PA), siendo elegidos los citados medios de análisis de un grupo que incluye medios de análisis de flujo de fuga y medios de análisis por corrientes de Foucault, medios de análisis de superficie preparados para analizar al menos la superficie externa (SE) de la citada pared (PA) por inspección con partículas magnetizadas (o MPI), de tal manera que se obtengan los datos de análisis de superficie para diferentes posiciones relativas del citado eje (AE) con respecto a las citadas sondas (SU), estando preparados los citados medios de control (MC) para efectuar un barrido electrónico con al menos una sonda (SU) para que ésta analice una parte al menos de las citadas primeras, segundas y eventuales terceras porciones de la citada pared (PA), estando preparados los citados medios de tratamiento (MT) para comparar con datos de los mapas obtenidos sobre el citado eje (AE) a controlar con datos de los primeros mapas de calibración obtenidos sobre un primer eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero desprovisto de defectos, y para no retener nada más que los datos representativos de las indicaciones de ecos que no están presentes en los citados primeros mapas de calibración y constituir así mapas corregidos, estando preparados los citados medios de tratamiento (MT) para comparar los datos de mapas obtenidos sobre el citado eje (AE) a controlar con datos de segundos mapas de calibración obtenidos sobre un segundo eje de calibración del mismo tipo que el controlado, pero que incluye defectos conocidos, y para no retener nada más que los datos representativos de las indicaciones de ecos representativos de defectos conocidos presentes en los citados segundos mapas de calibración, y constituir así mapas de defectos, y estando preparados los citados medios de tratamiento (MT) para comparar con una amplitud umbral elegida las amplitudes de los datos de los mapas obtenidos sobre el citado eje (SE) a controlar, y para no retener nada más que datos representativos de las indicaciones de ecos cuyas amplitudes son superiores a la citada amplitud umbral y señalen defectos, y constituir así mapas de defectos, y para generar una alarma en caso de detección de una amplitud superior a la citada amplitud umbral.
- 5
- 10
- 15
- 20
13. Aparato según una de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizado porque cada sonda (SU) está capacitada para emitir ultrasonidos según una única dirección de ángulo variable, variando el citado ángulo entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal.
- 25
14. Aparato según una de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizado porque cada sonda (SU) es del tipo llamado de red de fase y está capacitada para emitir ultrasonidos según direcciones comprendidas en un sector angular elegido.
15. Aparato según la reivindicación 14, caracterizado por que el citado sector angular está comprendido entre alrededor de 0° y alrededor de 70° con respecto a la dirección longitudinal o transversal.

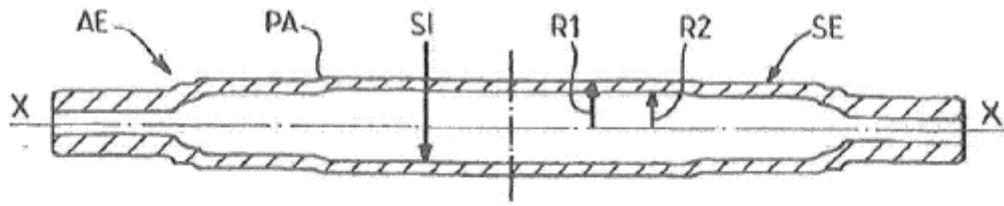


FIG.1

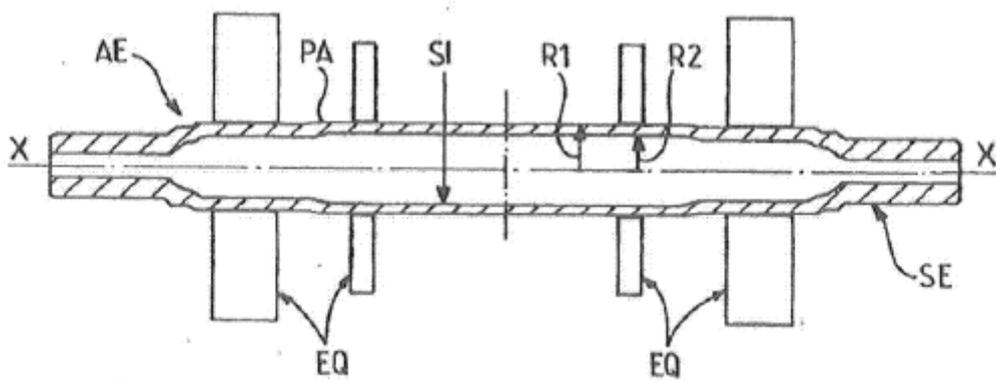


FIG.2

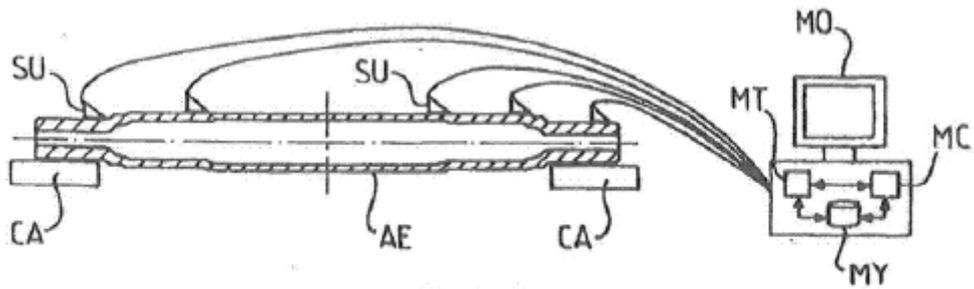


FIG.3

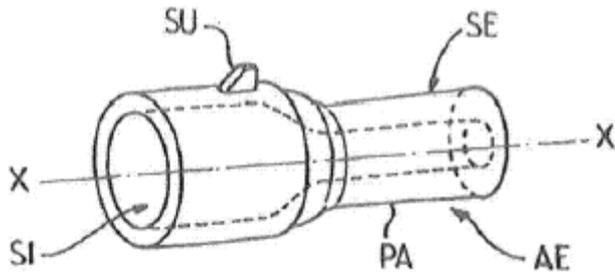


FIG. 4A

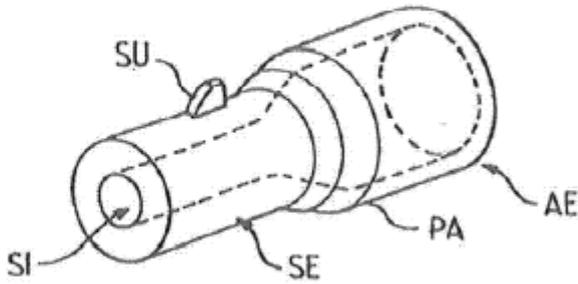


FIG. 4B

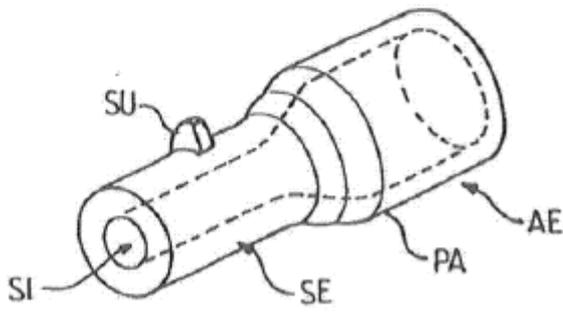


FIG. 5

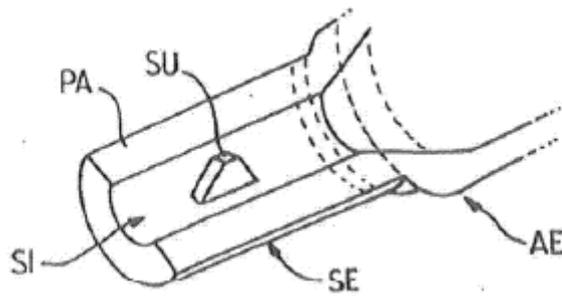


FIG. 6

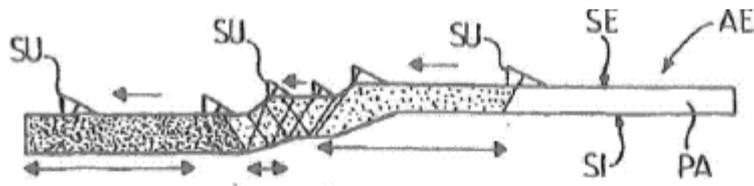


FIG. 7A

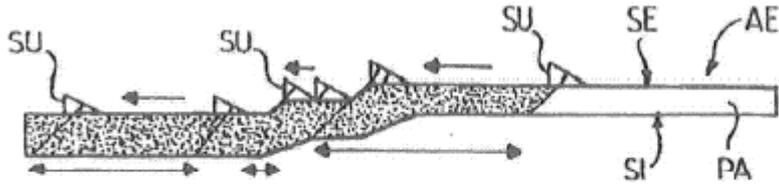


FIG. 7B

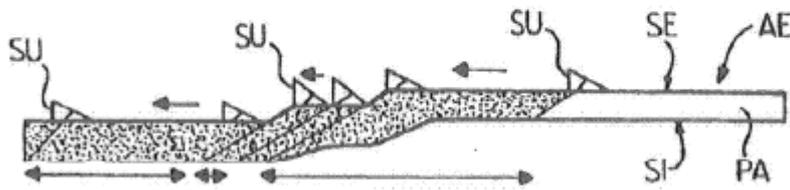


FIG. 7C

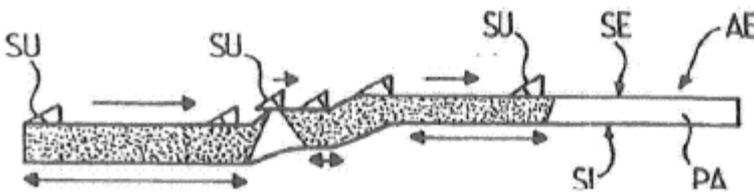


FIG. 8A

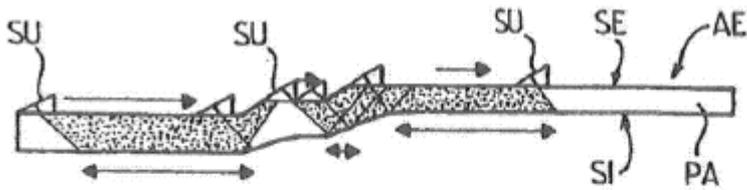


FIG. 8B

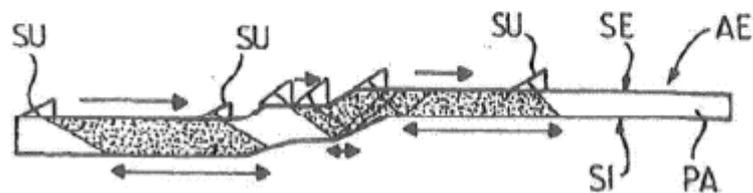


FIG. 8C

