

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 358**

51 Int. Cl.:

G01B 11/10 (2006.01)
G01B 17/02 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)
G01N 29/28 (2006.01)
G01N 29/30 (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.05.2011 PCT/FR2011/000319**
87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2011 WO11151538**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2011 E 11728315 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2577224**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de ayuda al control en producción de la capacidad de penetración de tubos**

30 Prioridad:

03.06.2010 FR 1002351

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NITSCHÉ, STEFAN;
GROOS, ANDREAS;
GUO, XIAOXING;
NOURRIT, NICOLAS y
SEGURA, ALEJANDRA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 769 358 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de ayuda al control en producción de la capacidad de penetración de tubos

La invención se refiere a la ayuda al control en producción de tubos, tales como los tubos de aplicación petrolífera.

5 Se fabrican actualmente tubos sin soldadura de acero, principalmente para aplicaciones petrolíferas de perforación o explotación. Estos tubos tienen una longitud individual del orden de 10 m, y se conectan unos a otros para formar un conducto de gran longitud. Se distinguen por las características de su conexión, así como por su diámetro exterior. Pero, en aplicación, importa también conocer el diámetro interior libre del tubo. Este es con frecuencia más pequeño al nivel de las conexiones de los extremos, que se añaden al tubo bruto de fabricación.

El documento EP 0 444 800 divulga un aparato de medición para tubos de acero.

10 La fabricación de los tubos está sometida a diferentes normas de control. Una de estas exige que se pueda hacer pasar al interior del tubo un cuerpo de calibración llamado « drift », tal como un cilindro de diámetro y de longitud bien determinadas. Este control puede ser efectuado en toda la longitud del tubo, o bien solo al nivel de sus extremos, donde el paso puede ser más difícil. En el sector petrolero, la geometría del cuerpo de calibración y las otras condiciones del ensayo o prueba están definidas en la norma API 5 CT / ISO 11950.

15 El documento DE 10 2008 060 391 B3 divulga también un procedimiento y un dispositivo para el control de tubos de acero para establecer un diagnóstico de la capacidad de penetración o paso de un cuerpo de calibración.

En la práctica, ello entraña diferentes dificultades, que van desde la necesidad de prever varios cuerpos de calibración de características diferentes, para cubrir una gama de tubos, hasta la gestión del riesgo de que los cuerpos de calibración se acuñen en el interior del tubo.

20 La presente invención viene a mejorar la situación.

Se propone, en primer lugar, un procedimiento de ayuda al control de tubos de acero en producción según la reivindicación 1.

Se propone igualmente un dispositivo de ayuda al control dimensional de tubos de acero en producción según la reivindicación 7.

25 Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la ayuda de la descripción que sigue y de los dibujos adjuntos, en los cuales:

- La figura 1 es el diagrama del principio general de un modo de producción de un tubo de acero;

- La figura 2 es el esquema de principio de una instalación de ensayo de tubos, según un primer modo de realización;

30 - La figura 3 es el esquema más detallado del elemento 1200 de la figura 2;

- La figura 4 ilustra la distribución de las mediciones del elemento 1200 a lo largo del tubo;

- La figura 5 es el esquema más detallado del elemento 1400 de la figura 2;

- La figura 6 ilustra la distribución de las mediciones del elemento 1400 a lo largo del tubo;

- La figura 7 ilustra la sección longitudinal de un trozo de tubo, con anotaciones sobre la curvatura del tubo;

35 - La figura 8 es el esquema de principio de una instalación de ensayo de tubos, de acuerdo con un segundo modo de realización, donde el tubo atraviesa un cajón de agua 2000;

- La figura 9 es un esquema de principio de un tubo que atraviesa un cajón de agua de un primer tipo;

- La figura 10 es un esquema de principio de un tubo que atraviesa un cajón de agua de un segundo tipo, de detectores ultrasónicos giratorios;

40 - La figura 11 ilustra la distribución de las mediciones de los detectores de la figura 10 a lo largo del tubo;

- La figura 12 es el esquema de principio de un tubo que atraviesa un cajón de agua de un tercer tipo, de detectores ultrasónicos fijos;

- La figura 13 ilustra una convención de representación de los detectores de la figura 12;

- La figura 14 ilustra la distribución de las mediciones de los detectores de la figura 12 a lo largo del tubo;

45 - La figura 15 ilustra un modo de realización particular, según la convención de la figura 13;

- La figura 15A ilustra un detalle de la figura 15;

- La figura 16 ilustra en detalle una parte de la distribución de las mediciones de los detectores de la figura 15 a lo largo del tubo.

5 Los dibujos y los anexos a la descripción comprenden elementos de carácter cierto. Podrán por lo tanto servir no solo para hacer comprender mejor la descripción, sino también para contribuir, dado el caso, a la definición de la invención. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones.

Se hace referencia ahora a la figura 1, que ilustra esquemáticamente el proceso completo de fabricación de un tubo, por ejemplo para aplicación en los pozos de petróleo. Las operaciones no están necesariamente en orden, y algunas pueden ser realizadas al mismo tiempo.

10 La primera operación 10 es la fabricación de un tubo de acero liso, que se llama "redondo" en la técnica.

A continuación se fabrica un tubo sin soldadura en la operación 11, por laminación/extrusión en caliente sobre un mandril, o sobre una cabeza de perforación montada en el extremo de un vástago, y que pasa por el eje del tubo.

15 La operación 12 comprende controles no destructivos para situar eventuales defectos en el tubo. Estos controles no destructivos pueden adoptar diferentes formas, haciendo intervenir, por ejemplo, los ultrasonidos, o incluso las corrientes de Foucault.

La operación 13 comprende a continuación un control de la rectitud del tubo. Este control puede efectuarse manualmente con una regla, o bien con la ayuda de un láser. En el sector petrolífero, los criterios de rectitud están fijados por la norma API 5 CT / ISO 11950 antes citada.

20 A continuación, la operación 14 consiste en filetear o roscar los dos extremos del tubo, generalmente uno macho y el otro hembra. Esto puede hacerse, por ejemplo, por aterrajado directo en los dos extremos del tubo, o bien por adición a este de conteras de conexión previamente aterrajadas. Algunos tubos, destinados a ser conectados por soldadura, pueden no estar roscados.

Otros controles dimensionales pueden ser efectuados en la operación 15.

25 Es entonces cuando interviene, en la operación 16, un control de la "de penetración", que verifica que un cuerpo de calibre de características bien determinadas puede pasar a través del tubo, ya sea de extremo a extremo, ya sea, más simplemente, por uno varios segmentos de tubo. Lo más frecuente es trabajar sobre dos segmentos de extremo, allí donde el diámetro puede encontrarse reducido por el hecho haber realizado conexiones roscadas.

30 Después de la operación 16 se procederá, en la operación 17, a una decisión sobre la suerte de tubo. Esta decisión tiene en cuenta los resultados obtenidos en la operación 16. Aquella puede tener en cuenta también problemas encontrados en las operaciones anteriores (12, 14 y 15, principalmente), si estos problemas no han tenido por efecto la eliminación inmediata del tubo, antes de llegar a la operación 16. En la operación 17, la decisión puede ser calificar el tubo como bueno, como opuesta a calificarlo como malo, o, en una situación intermedia de incertidumbre, de decidir a proceder sobre el tubo a otras verificaciones, por ejemplo manuales.

35 La presente invención se interesa esencialmente en la operación 16, así como en la decisión que la sigue en la operación 17. Sin embargo, como se verá, estas operaciones no son independientes de lo que ha pasado anteriormente, por ejemplo en ocasión del control de la rectitud del tubo.

La Solicitante está interesada en los controles dimensionales efectuados en la operación 15.

Se considera ahora un primer modo de realización.

40 La instalación que realiza los controles dimensionales sobre el tubo es del tipo ilustrado en la figura 2. El tubo está ilustrado esquemáticamente con T.

En este modo de realización, el tubo avanza, coaxialmente a sí mismo, según un movimiento helicoidal, que se analiza como una rotación (esquematizada por la flecha F1), acompañada de una traslación según el eje geométrico longitudinal del tubo (esquematizada por la flecha F2).

45 En la entrada, se prevén aquí dos cinemómetros de láser 1011 y 1012, dispuestos para la medición de las velocidades axial y circunferencial de paso del tubo.

50 Después de los cinemómetros de láser 1011 y 1012, interviene un puesto 1200 que medirá el diámetro exterior del tubo. A continuación, están previstos dos puestos de medición de ultrasonidos 1400 y 1500, implantados bajo el trayecto del tubo, al tiempo que están acoplados a este por medio de una capa de agua mantenida continua, que se le puede llamar "lecho de agua" ("water bed"). En el otro extremo, se pueden disponer otros dos cinemómetros de láser 1091 y 1092, que funcionan como los cinemómetros de láser 1011 y 1012. Esta opción permite continuar las mediciones al final del paso del tubo, cuando los cinemómetros de láser 1011 y 1012 ya no lo ven.

La invención se basa en la idea de que no se prevé el puesto concretamente dedicado al control de la capacidad de penetración, en el cual se hace pasar físicamente un cuerpo de calibración al interior del tubo. Por el contrario, el control de la capacidad de penetración se hará de manera virtual. Es decir, que utiliza para lo esencial mediciones ya realizadas en el tubo por otras razones, siendo estas mediciones preparadas para permitir el control de la capacidad de penetración.

Se describirá ahora el puesto de los cinemómetros de láser de entrada 1011 y 1012.

Uno de ellos, por ejemplo el cinemómetro de láser 1011, envía un rayo láser hacia el tubo desde el exterior, bajo un ángulo elegido, en un plano radial. Simplificando, se puede considerar que la radiación retro-difundida por el tubo se mezcla (heterodino) con la radiación bruta del láser, para hacer aparecer la variación de frecuencia Doppler en un detector óptico.

Se trabaja de preferencia en modo llamado « Doppler diferencial » con dos haces láser que llegan simétricamente sobre el tubo de un plano radial, mientras que la detección óptica se hace según una perpendicular a la superficie del tubo. Conociendo la longitud de onda λ del láser y el ángulo de incidencia φ de los rayos láser sobre el tubo a una y otra parte de la dirección de detección, se puede convertir la variación de frecuencia Doppler f_D en un valor de velocidad axial V del tubo, por ejemplo en metros por segundo, según la fórmula:

$$V = (f_D \lambda) / (2 \text{ sen } \varphi)$$

El otro cinemómetro, por ejemplo el 1012, utiliza dos haces láser que llegan simétricamente sobre el tubo en un plano axial, mientras que la detección óptica se hace según una perpendicular a la superficie del tubo. Como anteriormente, la variación de frecuencia Doppler obtenida se convierte en un valor de la velocidad circunferencial del tubo, por ejemplo en metros por segundo. En un modo de realización particular, los cinemómetros de láser de entrada 1011 y 1012 están basados en los materiales LVS-300 de la empresa alemana Polytec GmbH.

El puesto de medición de diámetro 1200 está ilustrado con más detalle en la figura 3. Aquel comprende dos emisores de luz 1201 y 1202, situados lado a lado en posición conocida. Los emisores de luz 1201 y 1202 están situados de manera que se establecen dos haces luminosos rectilíneos sensiblemente planos, en la dirección de los detectores de luz respectivos 1203 y 1204, igualmente en posición relativa conocida. Se puede engendrar un tal haz plano a partir del rayo láser representado por una lente cilíndrica. Los foto-detectores son, por ejemplo, barras de foto-diodos.

Los dos haces luminosos están situados sensiblemente adyacentes entre sí, en un mismo plano, de manera que

- estos haces luminosos sean interceptados por el tubo, por el lado donde están adyacentes (lado interior), mientras que

- en el exterior, cada haz rebasa siempre el diámetro grande del tubo.

Los detectores de luz respectivos 1203 y 1204 están situados para "ver" las dos zonas, opuestas transversalmente, donde el tubo intercepta el haz luminoso. En el ejemplo, el montaje de los elementos 1201, 1202, 1203 y 1204 posee dos planos de simetría que pasan por el eje del tubo, pero ello no es imperativo. Se podría, por otra parte, confundir los dos emisores de luz 1201 y 1202 en uno solo y, del mismo modo, los dos detectores de luz 1203 y 1204 en uno solo.

De ese modo, los detectores 1203 y 1204 recibirán las partes de los haces incidentes que atraviesan el tubo. Al ser conocidas las posiciones de los detectores de luz 1203 y 1204, sus partes no iluminadas (o, por sustracción, sus partes iluminadas) permiten acceder a la medición del diámetro exterior D_1 del tubo.

Se prevé de preferencia otra disposición semejante, en ángulo recto con respecto a la primera, constituida por fuentes de luz 1301 y 1302, con los detectores de luz 1303 y 1304 en oposición. Esto permite obtener otro diámetro D_2 , en la dirección perpendicular a la del diámetro D_1 . En un modo de realización particular, el puesto de medición de diámetro 1200 se basa en el producto LMD 412-DSP de la empresa LAP lasers GmbH.

De manera breve, se obtienen así dos medidas del diámetro en dos direcciones perpendiculares entre sí, situadas en un mismo plano, en sección recta del tubo. Cada vez, la dirección de medición del diámetro es perpendicular a la dirección del haz luminoso paralelo al plano utilizado.

Como el tubo avanza por medio de un movimiento de traslación acompañado de una rotación, los puntos de medición del diámetro seguirán dos hélices o espiras, como se ilustra en 1200 y 1300 en el tubo esquemático T de la figura 4. Las dos hélices están sensiblemente en ángulo recto entre sí, con respecto al eje longitudinal del tubo, por cuanto que las mediciones en las dos direcciones perpendiculares se hacen al mismo tiempo, por lo tanto en un plano en sección recta. (En caso contrario, estas estarían desplazadas con respecto a esta situación en ángulo recto, en proporción de desplazamiento temporal entre las dos medidas). Se observará que con dos mediciones del diámetro en un plano radial, se obtienen cuatro puntos de la circunferencia para los cuales es conocido el diámetro. En efecto, una medición del diámetro vale para cada uno de los extremos de este diámetro. A las dos hélices de la

figura 4 se añaden por tanto, en base a las mismas mediciones, otras dos hélices que les son diametralmente opuestas. De ese modo, la periferia del tubo se encuentra cubierta por cuatro “hélices de diámetro”.

Características más precisas de estas medidas se dan en la tabla 1 siguiente.

| Tabla 1 | |
|---|---|
| <i>Característica</i> | <i>Valor</i> |
| Precisión en los foto-detectores | 10 micrómetros |
| Precisión explotable | 10 micrómetros |
| Paso de una espira de una hélice | 120 mm (tubos de diámetro exterior de 200 a 400 mm aproximadamente) |
| Paso de medición según el eje del tubo | 1 mm |
| Cadencia de medición | 120 puntos por espira y por láser |
| Número de puntos de medición por espira (2 veces 2 hélices) | $4 \cdot 120 = 480$ |

5 Después del puesto 1200 de la figura 2, está previsto un puesto de medición de ultrasonidos 1400. Puede estar previsto también otro puesto de medición de ultrasonidos 1500, aguas abajo. Por ejemplo, el puesto de ultrasonidos 1400 se ocupa de las mediciones del espesor del tubo y de la búsqueda de defectos longitudinales, mientras que el puesto de ultrasonidos 1500 se ocupa de las búsquedas de defectos transversales y oblicuos.

La medición del espesor del tubo por medio del puesto 1400 servirá también para la medición de la capacidad de penetración.

10 En la figura 5 se ilustra un esquema más detallado del puesto 1400. Se ve ahí esquematizada una sección de tubo T. Un lecho de agua WB está dispuesto de manera continua entre la parte baja del tubo y doce detectores de referencias 1401 y 1412, situados lado a lado en la dirección de desplazamiento del tubo. Cada detector se extiende transversalmente según un arco de círculo de sección recta bajo el tubo. En un modo de realización particular, el puesto 1400 se basa en el producto GRP-PAT-PB de la empresa General Electric Inspection Technologies (GEIT).

15 Cada detector de ultrasonidos mide el espesor de la pared del tubo en sección recta a su nivel. El principio de esta medición por ultrasonidos es conocido. Utiliza la variación temporal entre el eco obtenido sobre la pared externa del tubo a través del lecho de agua, y el primer eco que sigue, el cual corresponde a una reflexión (o retro-difusión) de los ultrasonidos sobre la pared interna del tubo. En un instante dado, se obtienen por tanto 12 puntos de medición del espesor, en 12 secciones rectas espaciadas a lo largo del eje del tubo. Los 12 puntos de medición seguirán, habida cuenta de la rotación y de la translación del tubo, las 12 hélices 1421 a 1432. Se tienen por tanto 12 “hélices de espesor”.

Características más precisas de estas mediciones se dan en la tabla 2 que sigue.

| Tabla 2 | |
|---|-----------------------------|
| <i>Característica</i> | <i>Valor</i> |
| Resolución de la medición por ultrasonidos | 0,01 mm |
| Precisión explotable | 0,03 mm |
| Paso de una espira de una hélice | 120 mm |
| Espaciamiento axial de los detectores de ultrasonidos | 10 mm |
| Número de puntos de medición por espira | 1100 a 1500 puntos / espira |

25 Finalmente, el puesto de los cinemómetros de láser de salida 1091 y 1092 funciona como el puesto de los cinemómetros de láser de entrada 1011 y 1012. En un modo de realización particular, los cuatro cinemómetros de láser 1011, 1012, 1091 y 1092 están basados en los materiales LSV-300 de la empresa alemana Polytec GmbH.

Al ser el tubo rígido, las medidas de velocidad axial en 1011 y 1091 deben ser las mismas en el mismo instante. Se conoce pues con precisión, en tiempo real, la velocidad de desplazamiento axial del tubo. Una manera de hacerlo consiste en emitir un “top” cada vez que el tubo avanza 20 mm, por ejemplo.

30 Por el contrario, las medidas de velocidad circunferencial en 1012 y 1092 pueden ser ligeramente diferentes, ya que el diámetro del tubo al nivel del puesto 1092 puede ser un poco diferente de su diámetro al nivel del puesto 1012.

Por otra parte, se conoce la posición de estos puestos 1011, 1012, 1091 y 1092 a lo largo del eje de traslación del tubo. Si se han memorizado todas las medidas de velocidad circunferencial de los puestos 1012 y 1092 para un tubo, es posible construir a posteriori los pares de dos valores medidos de velocidad circunferencial que corresponden a la misma sección recta del tubo.

5 Desde otro punto de vista, incluso si el diámetro del tubo al nivel del puesto 1092 puede ser un poco diferente de su diámetro al nivel del puesto 1012, sigue siendo cierto, por el contrario, que la velocidad angular del tubo al nivel del puesto 1092 es la misma que al nivel del puesto 1012, siendo el tubo rígido. Y la tolerancia de diámetro es conocida. En consecuencia, se puede partir de la media de las dos medidas de velocidad diferencial obtenidas en 1012 y 1092. Se deduce de ello la velocidad angular teniendo en cuenta el diámetro y la tolerancia de diámetro. Esto es
10 aceptable habida cuenta del hecho de que la velocidad angular varía poco de una posición angular de medición a la siguiente, a causa de la inercia del tubo, y esto en una vuelta completa. Ello permite emitir, en tiempo real, un top cada vez que el tubo ha realizado una vuelta completa.

Se parte ahora de este caso en el que los puestos 1011, 1012, 1091 y 1092 proporcionan en tiempo real, por una parte, un top « de rotación » cada vez que el tubo ha dado una vuelta completa y, por otra parte, un top « de traslación » cada vez que el tubo ha avanzado 20 mm.
15

La posición de las secciones rectas de mediciones asociadas a los detectores de ultrasonidos 1401 a 1412 es conocida. Se conoce igualmente la distancia entre los puestos 1200 y 1400 (más exactamente la distancia entre dos secciones rectas de referencia respectivas de los puestos 1200 y 1400). Aquella es aquí de 1800 mm. Por razones técnicas, el plano de la sección recta de trabajo del puesto 1200 (para la medición del diámetro) puede ser o bien el
20 plano definido por el trazo de puntos que asciende a la derecha en el puesto 1200, o bien el plano del trazo de puntos que asciende a la izquierda. La elección del plano depende del diámetro nominal del tubo. En los dos casos, la sección recta de medición del diámetro es conocida con precisión.

Se conoce bien, por lo tanto, el desplazamiento axial entre las secciones rectas asociadas a los detectores de ultrasonidos 1401 a 1412, y la sección recta de las mediciones de diámetro.

25 Utilizando también los tops de rotación y de traslación, se pueden por tanto obtener aproximadamente las medidas de diámetro y de espesor con respecto a la superficie del tubo. Dicho de otro modo, se pueden obtener aproximadamente las cuatro “hélices de diámetro” y las 12 “hélices de espesor” con respecto al tubo.

No obstante, para poder obtener exactamente las cuatro “hélices de diámetro” y las 12 “hélices de espesor”, sería necesario disponer de un punto de referencia sobre el tubo, que se pueda referir a estos dos grupos de hélices. Esto
30 no es lo que sucede aquí.

Sería necesario también establecer los tiempos exactos de los disparos ultrasonoros que siguen a los tops de rotación y de traslación. Dicho de otro modo, sería necesario que los relojes que establecen las mediciones de diámetro, y las mediciones de espesor, fueran sincronizados en tiempo real. La Solicitante ha observado que esto no es necesario, ya que, sin esta sincronización, se puede ya trabajar con un error de posicionamiento inferior a 1 mm
35 en las dos direcciones.

Por el contrario, la velocidad axial de desplazamiento del tubo es conocida con precisión en tiempo real. Y su velocidad circunferencial (o angular) es igualmente conocida con precisión, en valor medio en una vuelta.

La distancia que recorre el tubo de un puesto al siguiente es conocida. Su velocidad axial es conocida. Se puede por tanto determinar el tiempo Tx que tarda el tubo para ir de un puesto al otro. Se sabe por tanto en cuánto hay que
40 desfasar en el tiempo las 4 “hélices de diámetro”, para ponerlas en la misma sección recta del tubo que las 12 “hélices de espesor”. Por el contrario, hecho esto, no se está seguro de la colocación angular de todas estas hélices, puesto que la velocidad angular del tubo pudo variar durante el tiempo Tx.

Idealmente, sería necesario que, en la sección recta del tubo, un valor medido del diámetro se situara exactamente según la misma dirección radial que un valor medido del espesor de pared, para poder hacer la diferencia, y obtener
45 así el diámetro interior del tubo. La Solicitante ha observado que es posible calcular el diámetro interior del tubo a partir de valores del diámetro exterior y del espesor que estén ligeramente desplazados entre sí, angular y/o axialmente, utilizando el hecho de que la superficie del tubo es continua. Dicho de otro modo, la Solicitante ha observado que se puede hacer el cálculo del diámetro interior a condición de disponer de puntos de medición del diámetro exterior y de puntos de medición del espesor que estén suficientemente próximos unos a otros, para que
50 las variaciones locales del diámetro exterior del tubo, de su espesor de pared y de su excentricidad, permanezcan suficientemente pequeñas con respecto a la precisión deseada para la medición del diámetro interior. En una instalación particular, la Solicitante ha procedido a una calibración de la instalación a partir de un tubo en el que todas las medidas sean conocidas. Aquella ha buscado a continuación el efecto de la dispersión circunferencial sobre la dispersión en el cálculo del diámetro interior, la cual se considera compatible con la precisión deseada.

55 En un ejemplo, se considera un tubo de 12 m recorrido al paso de 120 mm con 12 espiras por revolución. Se obtiene un total de $12 * 12000 / 120 = 1200$ espiras en medida de espesor.

En medida de diámetro, se dispondrá de una serie ordenada de valores del diámetro interior D_{int} del tubo cubriendo este con una alta resolución. Se tienen, por ejemplo, 360 valores D_{int} por espira, para 400 espiras por tubo.

5 Ahora se describirá una primera manera de evaluar la capacidad de penetración del tubo por un cilindro de diámetro D_{drift} . El proceso se efectúa en principio sobre un tubo que no está todavía provisto de sus conexiones/fileteados de extremo.

En primer lugar, se corta el tubo virtualmente en una sucesión de tramos o trozos. De referencia estos trozos se recubren o solapan, por ejemplo, en al menos el 50%, de preferencia hasta el 90%.

A continuación se pone en práctica un proceso de cálculo y de tratamiento para cada uno de los trozos virtuales del tubo. Este proceso puede hacer intervenir la totalidad o parte de las operaciones siguientes:

10 1. Recuperar el juego ordenado de valores del diámetro interior D_{int} que corresponden a un trozo considerado.
2. Para cada espira, comparar sus diámetros interiores, para determinar el valor más pequeño, o diámetro interior mínimo. (Esta operación, opcional aquí, puede servir más abajo).

15 3. Corregir los valores de diámetro interior en función de un defecto de rectitud del tubo, indicado con σ . Este valor σ puede corresponder a la flecha máxima admisible para trozo de tubo T, habida cuenta de las normas de fabricación aplicables, como se ilustra en la figura 7. Para tubos petroleros, la norma anteriormente citada distingue la flecha σ_{center} para los trozos intermedios y la flecha σ_{ends} para los trozos de extremo.

Como variante, se podría tomar un valor σ medido sobre el trozo en curso, durante los ensayos de la operación 13 de la figura 1.

4. Para cada espira, se toma su diámetro interior mínimo y
20 - si el diámetro interior mínimo D_{min} disminuido en el defecto de rectitud σ (incorporando de preferencia un pequeño margen) es superior (o igual) al diámetro D_{drift} , entonces esta espira es penetrable; si no lo es, esta espira es anotada como una de las posiciones donde el cuerpo de calibración sería acuñado.

25 5. Si todas las espiras son penetrables (con $D_{min} - \sigma \geq D_{drift}$ por todas partes), entonces el cuerpo de calibración pasa; en caso contrario, no pasa, y se conocen (por la operación 4.) las posiciones de las espiras donde el cuerpo de calibración sería acuñado.

6. Como variante, o como complemento, se puede también determinar el cuerpo de calibración más grueso que atraviesa el tubo. A este efecto, se comparan los valores $D_{min} - \sigma$ para todas las espiras del tubo. El valor más pequeño de $D_{min} - \sigma$ representa el diámetro más grande de calibración que puede pasar.

30 Así, $D_{min} - \sigma - D_{drift}$ sirve de magnitud crítica, representativa del margen de paso del cuerpo de calibración en el interior de cada trozo del tubo.

Lo que precede concierne únicamente al paso del cuerpo de calibración en diámetro. Tiene además una cierta longitud, que puede más o menos plantear un problema, en función de los defectos de rectitud del tubo. La longitud y el recubrimiento de los trozos se eligen para tener en cuenta la longitud del cuerpo de calibración.

35 Dicho de otro modo, se conoce la distribución de los diámetros interiores del tubo en el espacio, a lo largo del tubo, pero sin conocer las posiciones exactas de los centros de las espiras que tienen estos diámetros. El ensayo de rectitud API ha verificado que el tubo tiene una curvatura inferior a la curvatura máxima admisible. Se puede por tanto partir de esta curvatura máxima admisible para compensar el hecho de que no se conocen las posiciones exactas de los centros de las espiras. Las líneas « Límite » de la figura 7 indican los límites en diámetro para un paso en línea recta, estando muy exagerada la curvatura del tubo.

40 El tubo es considerado como penetrable en su conjunto si todos los trozos examinados son penetrables por el cuerpo de calibración. El tubo es considerado como no penetrable si un trozo examinado bloquea claramente. Si uno o varios trozos examinados están en el límite del acuñamiento, el tubo está "para verificar".

Se considera ahora un segundo modo de realización.

45 Este puede aplicarse a las instalaciones de producción de tubos en las cuales el tubo T atraviesa un cajón de agua 2000, ilustrado por un marco en trazo discontinuo en la figura 8. En este caso, el tubo está generalmente sometido a un movimiento de traslación pura, tal como se define por la flecha F3, aunque un movimiento helicoidal sea igualmente posible.

50 La figura 9 muestra el principio de la medición en el cajón 2000. Se considera una sonda de ultrasonidos, indicada por conveniencia como S_US_0. El tubo T pasa al interior del cajón de agua 2000. La sonda envía un haz impulsor de ultrasonidos, sensiblemente en dirección radial hacia el tubo (Flecha 11 ir). Sigue una primera reflexión de los ultrasonidos por la pared exterior del tubo (flecha 11 volver). De donde un primer haz es reflejado en retorno hacia la

sonda (eco de la pared exterior). Una parte del haz incidente de ultrasonidos penetra en el tubo (flecha 12 ir). Le sigue una segunda reflexión de los ultrasonidos por la pared interior del tubo (flecha 12 volver). Y una parte de este segundo haz reflejado vuelve a atravesar la pared exterior para volver hacia la sonda S_US_0. Esto es un primer eco desde la pared interior.

- 5 En la práctica, se procede a este tipo de medición en toda la periferia del tubo. Esto puede hacerse con cabezas de ultrasonidos giratorias, por ejemplo en número de cuatro, como se ilustra en la figura 10. Esta es un cajón de agua del tipo llamado "ROT180VIS" de GEIT. En este caso, por el hecho de que el tubo avanza, se obtienen todavía medidas a lo largo de hélices, como se indica esquemáticamente en la figura 11.

- 10 El eje de simetría principal del haz de ultrasonidos emitidos es conocido, y en principio perpendicular a la corona de sondas ultrasonoras, tales como S_US_0. A partir del tiempo de propagación de ir-volver para el primer eco de la pared interior, recorrida por la sonda ultrasonora S_US_0, se puede determinar la posición del punto de reflexión sobre la pared interior del tubo, con respecto a un punto de referencia de la sonda S_US_0. Esta es una posición en tres dimensiones, teniendo en cuenta el movimiento del tubo. A continuación, la posición del punto de reflexión sobre la pared interior del tubo es comunicada a un punto de origen en el espacio, por ejemplo el centro de la corona de sondas ultrasonoras.

Se prefiere actualmente utilizar redes en fase ("phased arrays") de sondas de ultrasonidos que rodeen el tubo. El principio se ilustra en la figura 12. Esta es, por ejemplo, un cajón de agua del tipo llamado "ROWA 240 SK 12957" de GEIT. Efectuando un barrido de la excitación de las sondas de ultrasonidos, se obtienen medidas técnicamente semejantes a las de las cabezas de ultrasonidos giratorias.

- 20 En la práctica, las sondas ultrasonoras pueden ser repartidas según arcos de círculos, en desplazamiento alternado a lo largo del eje del tubo, y que se solapan parcialmente (figura 13). Y, principalmente para evitar interferencias entre haces de ultrasonidos, se les excita igualmente de manera alternada. Sigue una distribución en dientes de sierra de los puntos de medición sobre la periferia del tubo, como se ilustra en la figura 14.

Es este modo de realización el que se describirá ahora con más detalle.

- 25 La figura 15 ilustra las posiciones de seis arcos de detectores AS1 a AS6, distribuidos alrededor de la circunferencia del tubo, con solapamiento. Ahí también, los arcos AS2, AS4 y AS6 están representados en el interior, radialmente, de los arcos AS1, AS3 y AS5. Esto es una convención de diseño para mostrar su solapamiento. De hecho, los arcos AS2, AS4 y AS6 están situados sobre el mismo radio que los arcos AS1, AS3 y AS5, pero desplazados axialmente de aquellos.

- 30 Cada arco de detectores, como AS4, comprende 2 semi-arcos de detectores AS41 y AS42 que comprenden 64 elementos detectores cada uno. Los detectores virtuales son definidos combinando las señales de varios detectores físicos. Se trabajará, por ejemplo, según varios modos que utilizan de 14 a 28 detectores virtuales por semi-arco, es decir de 28 a 56 detectores virtuales por arco completo. Se indica con N el número de detectores virtuales por arco completo.

- 35 De ese modo, alrededor de la circunferencia del tubo se podrán poner en práctica hasta seis veces N transductores virtuales, lo que corresponde a 336 valores medidos, para N = 56. De hecho, los arcos se solapan un poco a lo largo de la circunferencia del tubo. El número de valores medidos diferentes es por tanto un poco inferior.

- 40 Se hace referencia ahora a la figura 15A. Esta detalla el arco de sondas ultrasonoras AS4, que está descompuesto en dos partes AS41 y AS42. Los datos de estas dos partes son recogidos por uno solo y el mismo canal de medición. Estas dos partes AS41 y AS42 forman las dos veces 64 elementos ya citados para N transductores virtuales.

- 45 Frente a esta figura 15A, la figura 16 indica la distribución de disparos impulsivos de energía ultrasonora, en función del tiempo y, en consecuencia, del desplazamiento longitudinal del tubo. La velocidad longitudinal es normalmente de un metro/segundo. Esto hace comprender mejor la estructura en dientes de sierra de las medidas ya citadas. Se observa que la punta del diente de sierra corresponde al transductor ultrasonoro de rango medio, entre los N transductores virtuales.

- 50 En el segundo modo de realización, las mediciones de diámetro exterior y de espesor del tubo son por construcción hechas sensiblemente en el mismo punto, o en puntos muy próximos. En todos los casos, la posición de cada punto de reflexión de ultrasonidos en la pared interior del tubo puede ser referida a un punto de origen en el espacio, por ejemplo el centro de la corona de sondas ultrasonoras, o el centro de rotación de las cabezas de ultrasonidos giratorias, o el centro de los arcos de detectores.

En este caso, se puede utilizar naturalmente el proceso de cálculo de tratamiento descrito más arriba, en referencia a la figura 7. Pero resulta posible proceder de otro modo, como se verá ahora.

- 55 En los diferentes casos descritos anteriormente para el segundo modo de realización, se puede reducir la medición a un conjunto de M espiras, para un trozo de tubo. Se considera un índice i (de 0 a M-1) que es un número de espira,

el cual corresponde a un tiempo, y en consecuencia a un desplazamiento axial del tubo (acompañado eventualmente de un desplazamiento angular del tubo).

5 A partir de mediciones brutas por ultrasonidos en el cajón de agua (o equivalente), se dispone de N medidas por espira. Se considera un índice j (de 0 a N-1) que es un número del punto de medición en la espira. En todo rigor, en un caso como este del cajón de agua con las cabezas de ultrasonidos giratorias de la figura 10, o bien de las redes en fase, las diferentes medidas de una espira son obtenidas secuencialmente en el tiempo (al menos en parte). Se puede pues asociarlas también al tiempo y, en consecuencia, a un desplazamiento axial del tubo (acompañado eventualmente de un desplazamiento angular del tubo). Cualquiera que sea el tipo de mediciones por ultrasonidos, se conoce la correspondencia entre el índice j y este tiempo, así como el ángulo de la medición en la sección recta del tubo.

10 Se dispone pues al principio de medidas de posición M_{ij} de la pared interior del tubo, que pueden ser expresadas en la referencia de la corona de detectores de ultrasonidos, por ejemplo en una referencia orto-normalizada cuyo origen es el centro de la corona de detectores de ultrasonidos. Estas son mediciones 3D, pero que pueden ser reducidas a mediciones 2D para una misma espira, ya que las mediciones de una misma espira están en una misma sección recta del tubo, aproximadamente.

15 Se comprende que la espira se enrolla a lo largo del tubo, como una hélice. Se prescinde de la pequeña dimensión de la espira a lo largo del eje del tubo, proyectándola ortogonalmente sobre un plano perpendicular al eje del tubo. Ello consiste en omitir, para los puntos de la espira, la coordenada según el eje longitudinal del tubo. El número de la espira basta para definir la posición de sus puntos según el eje longitudinal del tubo, a la precisión deseada.

20 Se va a determinar en primer lugar, para cada espira i del tubo, la posición de un punto central C_i , por ejemplo en la referencia de la corona de detectores de ultrasonidos. A este fin, se busca el centro del círculo que mejor se ajusta sobre los puntos de la espira considerada. Dicho de otro modo, siendo i fijo, se busca el punto C_i para el cual se tiene un mínimo de

$$j \sum (M_{ij} - C_i)^2$$

25 donde M_{ij} y C_i son vectores de posición en el plano de proyección.

A continuación, se convierten los vectores de medición M_{ij} para que sean referidos a este centro C_i . Se obtiene así una tabla de vectores de medición indicada como R_{ij} (i = número de la espira, j = número del punto), para los cuales, en cada espira, la posición relativa de cada punto de la superficie interior del tubo está referida al centro C_i .

30 Si hay N puntos de registro de la superficie interior del tubo en cada espira (siendo N par), la superficie interior del tubo puede estar representada por N/2 segmentos que atraviesan, a los que se llamará también « casi-diámetros ». En el espacio, un segmento que atraviesa está definido por la posición de sus extremos. El segmento de rango k posee un extremo indicado por R_{ik} , y otro extremo, sensiblemente en la oposición, indicado por $R_{i(N/2+k-1)}$. Este pasa por el centro C_i . De ese modo, el segmento que atraviesa está definido por el semi-segmento que va desde R_{ik} a C_i , seguido del semi-segmento que va desde C_i a $R_{i(N/2+k-1)}$. Los dos semi-segmentos no están exactamente alineados uno con otro, excepto cuando los dos extremos están exactamente opuestos entre sí.

35 En notación simplificada, el segmento que atraviesa de rango k está indicado como D_{ik} (siendo i = número de la espira, k = rango del segmento, que va de 0 a N/2 - 1). Así, cada casi-diámetro D_{ik} une dos puntos de la superficie interior del tubo situados sensiblemente a 180° uno de otro, pasando por el centro de la espira C_i

40 Se considera a continuación una sucesión de casi-diámetros que son sensiblemente paralelos unos a otros, en todas las espiras, por ejemplo a partir de un primer casi-diámetro en la primera espira. Y se repite esto con todas las direcciones diametrales existentes en la primera espira. (Incluso si un casi-diámetro es una línea ligeramente quebrada, se puede asociarle una dirección, llamada dirección diametral).

45 Dicho de otro modo, se procede a una descomposición de los trozos de tubo en varios sub-conjuntos de casi-diámetros, en los que cada uno está asociado a una dirección diametral respectiva. Cada sub-conjunto contiene los casi-diámetros paralelos entre sí, sobre el conjunto de espiras, y a razón de uno por espira, de tal manera que se puede asociar cada casi-diámetro con su número de espira. Lo más sencillo es utilizar una tabla en la que los casi-diámetros aparezcan en el orden de las espiras. Esto es lo que se llama aquí un « plano 2D ». Un casi-diámetro está definido por las posiciones de sus extremos [R_{ik} , $R_{i(N/2+k-1)}$] en el plano sobre el cual se proyecta la espira a la cual pertenece, y por su número i (u otro identificador) de espira.

50 Si el trozo de tubo estudiado tiene una longitud de M espiras, se tendrá un chorro (indicado con P_n , n = número del plano, de 0 a N/2) de N/2 planos 2D, en los que cada uno comprende M casi-diámetros sensiblemente paralelos entre sí.

55 Por ejemplo, el plano P_0 estará compuesto por el casi-diámetro D_{00} en la espira 0 (i=0), de D_j que es el casi-diámetro sensiblemente paralelo a D_{00} en la espira 1,..., de D_{ij} que es el casi diámetro sensiblemente paralelo a D_{00} en la espira i,...de D_{Mj} que es el casi-diámetro sensiblemente paralelo a D_{00} en la espira M. Los casi-diámetros son así

apilados en superposición, en el orden de las espiras (a lo largo del eje longitudinal del tubo), respetando la posición de sus extremos en cada uno de los planos de proyección de las espiras.

5 Dicho de otro modo, se volverá a elegir la tabla de datos R_{ij} para poner ahí en correspondencia los casi-diámetros que son sensiblemente paralelos entre sí, de una espira a la siguiente, para todas las espiras. Se recuerda que se conoce la correspondencia entre el índice j y la dirección radial según la cual se hace la medición, en la sección recta del tubo.

En cada uno de los planos 2D se busca el trapecio que se inscribe tangencialmente en los casi-diámetros, lado interior. Una manera sencilla de hacerlo es la siguiente:

- Primer lado lateral del trapecio
- 10 - Determinar una primera línea recta que una un primer extremo del casi-diámetro de la primera espira al extremo situado del mismo lado en la última espira;
- Si esta primera línea recta pasa al interior de todos los otros casi-diámetros, entre la primera espira y la última, aquella es retenida;
 - En caso contrario, se desplaza hacia el interior, de manera que pase al interior de todos los casi-diámetros.
- 15 • Segundo lado lateral del trapecio
- Determinar una segunda línea recta que una el segundo extremo (opuesto al primero) del casi-diámetro de la primera espira, al extremo situado del mismo lado de la última espira;
 - Si esta segunda línea recta pasa al interior de todos los otros casi-diámetros, entre la primera espira y la última, aquella es retenida;
- 20 - En caso contrario, se desplaza hacia el interior, de manera que pase al interior de todos los casi-diámetros.

La primera y la segunda líneas rectas forman pues los dos lados laterales del trapecio, que se puede cerrar a los extremos por dos lados paralelos (virtualmente).

Se obtiene entonces un haz o carrusel de trapecios que cubren progresivamente las diferentes orientaciones alrededor del eje longitudinal del trozo de tubo.

25 A continuación, a partir de estos diferentes trapecios, se aprovecha una forma de generatrices rectas (los lados laterales de los trapecios) que se inscribe en el interior de la superficie interior del trozo de tubo. Y se determina si el cuerpo de calibración pasa a esta forma de generatrices rectas. A este fin basta con examinar si y cómo la sección recta del cuerpo de calibración cilíndrico pasa por cada uno de los dos extremos de la forma de generatrices rectas. En efecto, por cada trapecio, el mínimo de paso está en uno de los extremos.

30 Puede ser que la sección recta del cuerpo de calibración pase a los dos extremos, pero que la posición de su centro cuando pasa a un extremo esté desplazada con respecto a la posición de su centro cuando pasa al otro extremo. Se indica con α el ángulo de la línea que une estos dos centros, con respecto al eje del tubo. Se toma entonces una sección oblicua del cuerpo de calibración que esté inclinada según el ángulo α con respecto a la sección recta. La misma es por tanto elíptica. Y se vuelve a hacer, con esta sección oblicua elíptica, la prueba de paso a los dos extremos de la forma de generatrices rectas. Se puede tener que reiterar esto varias veces, por ejemplo hasta que el desplazamiento de los centros ya no varíe.

40 La prueba de paso a los extremos se hace con un margen de seguridad, que se puede determinar experimentalmente. El mismo es, a priori, netamente más pequeño que el margen σ antes citado. La magnitud crítica de la prueba comprende aquí las distancias entre la forma de generatrices rectas y la sección recta (u oblicua) del cuerpo de calibración, con el margen de seguridad.

A partir de ahí, se puede establecer el diagnóstico del ensayo de capacidad de penetración del tubo por parte del cuerpo de calibración, trozo a trozo. Cada trozo puede tener la longitud del cuerpo de calibración, y los trozos se recubren o solapan en al menos la mitad de su longitud. La longitud de los trozos y el grado de su recubrimiento se pueden establecer.

45 Como anteriormente:

- El solape de los trozos permite tener en cuenta la ligera curvatura eventual del tubo. Aquel se realiza al menos en 50%, de preferencia hasta 90%.
 - El tubo se considera como penetrable en su conjunto si todos los trozos examinados son penetrables por el cuerpo de calibración. El tubo se considera como no penetrable si un trozo examinado bloquea el paso. Si uno o varios trozos examinados (o las transiciones entre ellos) están en el límite de acuífamiento, el tubo esta "para
- 50

verificar”.

El proceso anterior determina en la salida:

1/ si el cuerpo de calibración pasa o no por el tubo (sanción « pasa » o « no pasa »);

2/ en el caso de un bloqueo, las posiciones de bloqueo (número de espira e identificador de trozo, dado el caso);

5 3/ y en todos los casos, el diámetro más grande del cuerpo de calibración que puede pasar por el tubo ensayado.

Este proceso permite disminuir significativamente los cálculos de análisis en el espacio 3D, al tiempo que se asegura tener en cuenta cada detalle de información de la forma interior del tubo. El mismo necesita muy poco tiempo de cálculo. Esto es primordial, porque el tratamiento de vocación ha sido aplicado en fábrica en tiempo real, a la cadencia de producción.

10 En una visión genérica, el proceso anterior parte de coordenadas de puntos de la superficie interior del tubo, tal como son medidos, por ejemplo, por ultrasonidos. El mismo busca una forma de generatrices rectas que se inscriba en el interior de la superficie interior del tubo. Y determina si el cuerpo de calibración pasa por esta forma de generatrices rectas.

15 En el modo de realización descrito, esto se efectúa ventajosamente condensando los datos 3D de medición bajo la forma de datos 2D definidos por espiras y referidos a un punto central de cada espira, después volviendo a establecer estos datos 2D en sub-conjuntos correspondientes cada uno a casi-diámetros sensiblemente paralelos unos a otros. A continuación, en cada sub-conjunto, se buscan dos rectas que lleguen interiormente a los extremos de los casi-diámetros, a una y otra parte. En todos los sub-conjuntos, ello proporciona una forma de generatrices rectas, a partir de la cual se puede determinar si el cuerpo de calibración pasa, no pasa, o bien está al « límite ».

20 Según la técnica anterior, se trabaja generalmente sobre un tubo provisto de sus conexiones/fileteados de extremo. Por el contrario, los modos de realización de la invención descritos más arriba operan en principio sobre un tubo que no ha sido provisto todavía de sus conexiones/fileteados de extremo. Sin embargo, sería contemplable utilizarlos sobre un tubo provisto de sus conexiones/fileteados de extremo. En este caso, podría ser suficiente examinar trozos en los dos extremos del tubo.

25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de ayuda al control de tubos de acero en producción, que comprende las etapas siguientes:
 - a. adquirir datos de medición, representativos de medidas físicas hechas desde el exterior sobre la generatriz de un tubo de acero,
 - 5 b. a partir de estos datos de medición, generar datos de medición convertidos, formando una representación tridimensional por pixeles de la pared interna del citado tubo, sobre una zona longitudinal del tubo, estando dicha representación tridimensional referida a un sistema de coordenadas elegido, que tiene un punto de origen y un eje marcados con respecto al tubo,
 - 10 c. preparar datos de plantilla, representativos de la geometría totalmente fuera de un cuerpo de calibración, siendo estos datos de plantilla aplicables en el citado sistema de coordenadas elegido,
 - d. considerar un primer trozo de tubo, para el cual se dispone de datos de medición convertidos, y determinar, a partir de estos datos de medición convertidos y de los datos de plantilla, una magnitud crítica, representativa del margen de paso del cuerpo de calibración al interior de este trozo de tubo,
 - 15 e. repetir selectivamente la operación d/ para otros trozos de tubo, desplazados unos con respecto a otros con recubrimiento o solape, y
 - f. establecer un diagnóstico de la capacidad de penetración de la citada zona longitudinal del tubo por el cuerpo de calibración, a partir de las magnitudes críticas obtenidas en las etapas d/ y e/, y de las posiciones relativas de los trozos de tubos sucesivos,

caracterizado por que:

 - 20 - en la etapa c/, los datos de plantilla comprenden un diámetro exterior totalmente fuera del cuerpo de calibración,
 - la etapa d/ comprende las sub-etapas siguientes:
 - d1. determinar un cilindro inscrito en el interior del trozo de tubo, y
 - d2. determinar la variación entre el diámetro del cilindro inscrito y el diámetro totalmente fuera del cuerpo de calibración, como magnitud crítica,
 - 25 y
 - la etapa e/ comprende, para cada par de trozos de tubos adyacentes, el establecimiento de la posibilidad de paso de un trozo al siguiente a partir de la citada magnitud crítica, de la variación angular entre los ejes de los dos trozos de tubo, y de al menos una dimensión longitudinal del cuerpo de calibración.
- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que los datos de medición comprenden mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo y mediciones relativas a su espesor de pared, hechas sobre un tubo cuyo movimiento consiste en una traslación longitudinal.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que las mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo son hechas por detectores láser, mientras que las mediciones relativas a su espesor de pared son hechas por detectores de ultrasonidos, acoplados al tubo por un medio de transmisión líquido.
- 35 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el cual los detectores de ultrasonidos se montan flotantes para que permanezcan en cooperación con el tubo, caracterizado por que se provee de un sistema de medición de la posición relativa de los detectores láser con respecto a los detectores de ultrasonidos.
5. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que las mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo y las mediciones relativas a su espesor de pared se hacen a la vez por detectores de ultrasonidos que cooperan con un cajón de agua atravesado por el tubo.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que:
 - la etapa d/ comprende la determinación de una forma de generatrices rectas que se inscribe en el interior de la superficie interior del tubo, trozo por trozo, y
 - la etapa e/ comprende la prueba de que el cuerpo de calibración pasa por la forma de generatrices rectas de cada trozo considerado.
 - 45
7. Dispositivo de ayuda al control dimensional de tubos de acero en producción, que comprende:
 - al menos un puesto o estación de medición dispuesto para obtener datos de medición representativos de

medidas físicas hechas del exterior sobre la geometría de un tubo de acero, y

- un sistema informático capaz:

* de almacenar datos de plantilla representativos de la geometría totalmente fuera del cuerpo de calibración, siendo estos datos de plantilla aplicables en dicho sistema de coordenadas elegido,

5 * de generar, a partir de datos de medición, datos de medición convertidos, formando una representación tridimensional por píxeles de al menos dos trozos de tubo, desplazados uno con respecto a otro con solape, estando esta representación tridimensional referida a un sistema de coordenadas elegido, que tiene un punto de origen y un eje marcados con respecto al tubo,

10 * para cada trozo de tubo, de determinar, a partir de sus datos de medición convertidos y de los datos de plantilla, una magnitud crítica, representativa del margen de paso del cuerpo de calibración al interior de este trozo de tubo, y

* de establecer un diagnóstico de la capacidad de penetración de los trozos de tubo por el cuerpo de calibración, a partir de las citadas magnitudes críticas, y de las posiciones relativas de los trozos de tubos,

caracterizado por que:

15 - los datos de plantilla comprenden un diámetro exterior totalmente fuera del cuerpo de calibración,

- la determinación de la magnitud crítica comprende la búsqueda de un cilindro inscrito en el interior del trozo de tubo, y la determinación de la variación entre el diámetro del cilindro inscrito y el diámetro totalmente fuera del cuerpo de calibración, como magnitud crítica,

y

20 el establecimiento del diagnóstico comprende, para un par de trozos de tubos adyacentes, el establecimiento de la posibilidad del paso de un trozo al siguiente a partir de la citada magnitud crítica, de la variación angular entre los ejes de los dos trozos de tubo, y de al menos una dimensión longitudinal del cuerpo de calibración.

25 8. Dispositivo según la reivindicación 7, caracterizado por que los datos de medición comprenden mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo y mediciones relativas a su espesor de pared, hechas sobre un tubo cuyo movimiento consiste en una traslación longitudinal.

9. Dispositivo según la reivindicación 8, caracterizado por que comprende un puesto de medición láser para las mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo, y un puesto de detectores de ultrasonidos, acoplados al tubo por un medio de transmisión líquido, para las mediciones relativa al espesor de pared del tubo.

30 10. Dispositivo según la reivindicación 9, en el cual los detectores de ultrasonidos están montados flotantes para permanecer en cooperación con el tubo, caracterizado por que está previsto además un sistema de medición de la posición relativa de los detectores láser y de los detectores de ultrasonidos.

11. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado por que las mediciones relativas a la circunferencia exterior del tubo y las mediciones relativas a su espesor de pared se hacen a la vez por un puesto de medición que comprende detectores de ultrasonidos que cooperan con un cajón de agua atravesado por el tubo.

35 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que el sistema informático está dispuesto para determinar una forma de generatrices rectas que se inscribe en el interior de la superficie interior del tubo, trozo a trozo, y probar si el cuerpo de calibración pasa por la forma de generatrices rectas de cada trozo considerado.

40 13. Dispositivo según la reivindicación 12, caracterizado por que el sistema informático está dispuesto para condensar los datos 3D de medición en la forma de datos 2D definidos por espiras y referidos a un punto central de cada espira, después para restablecer estos datos 2D en sub-conjuntos, cada uno de los cuales corresponde a casi-diámetros sensiblemente paralelos entre sí.

Fig.1

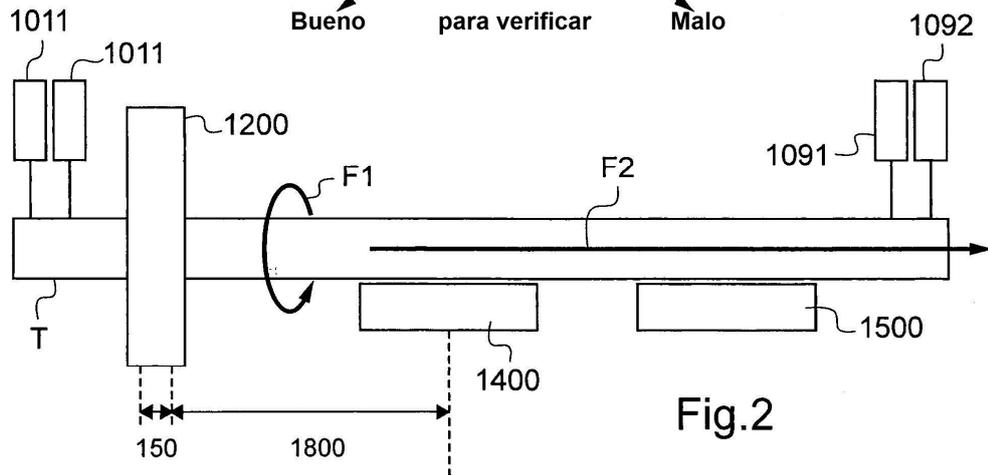
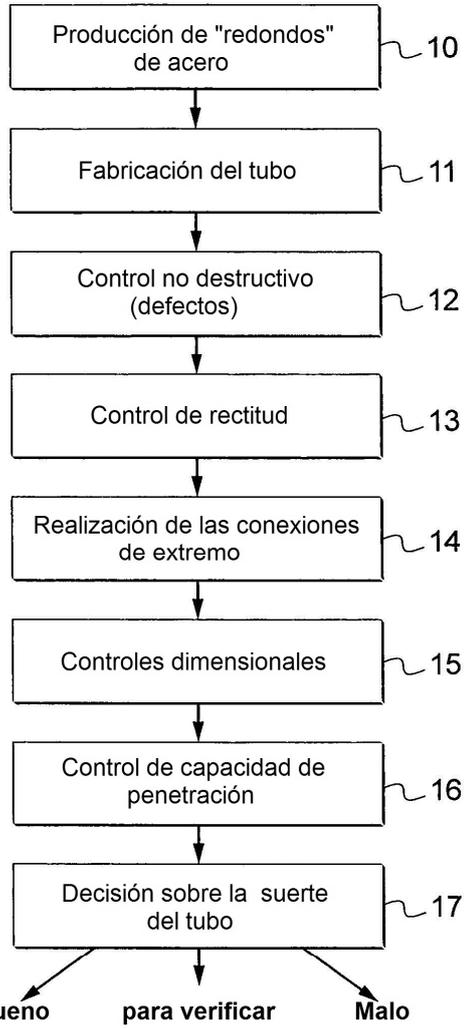


Fig.2

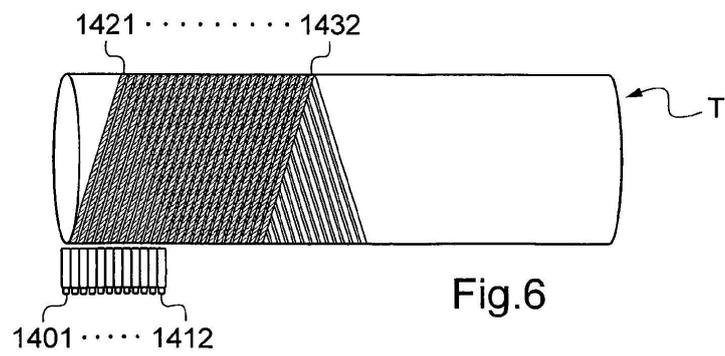
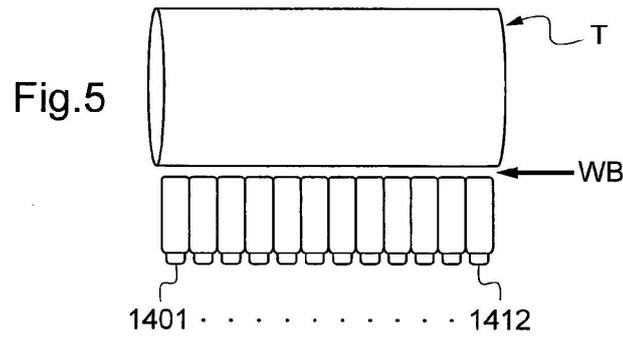
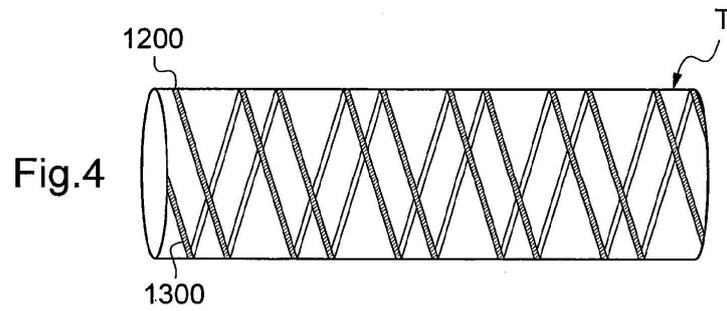
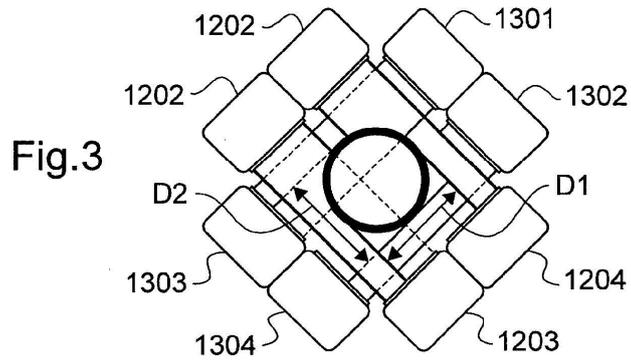


Fig.7

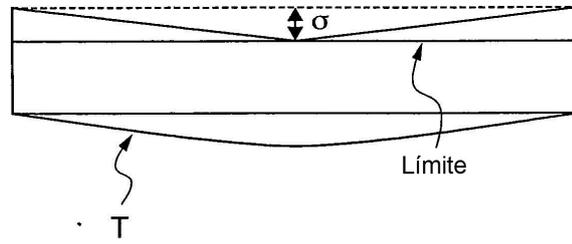


Fig.8

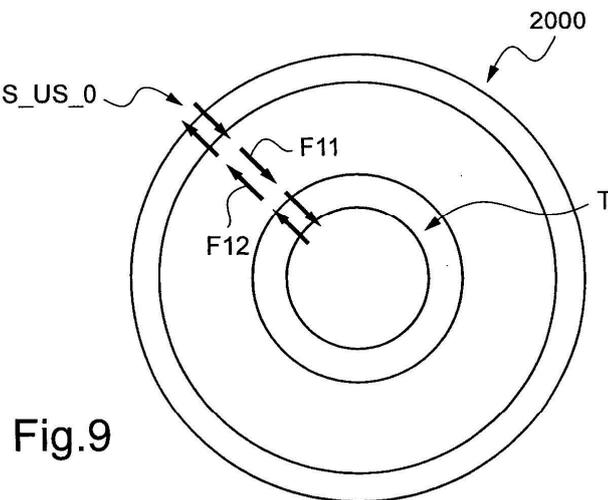
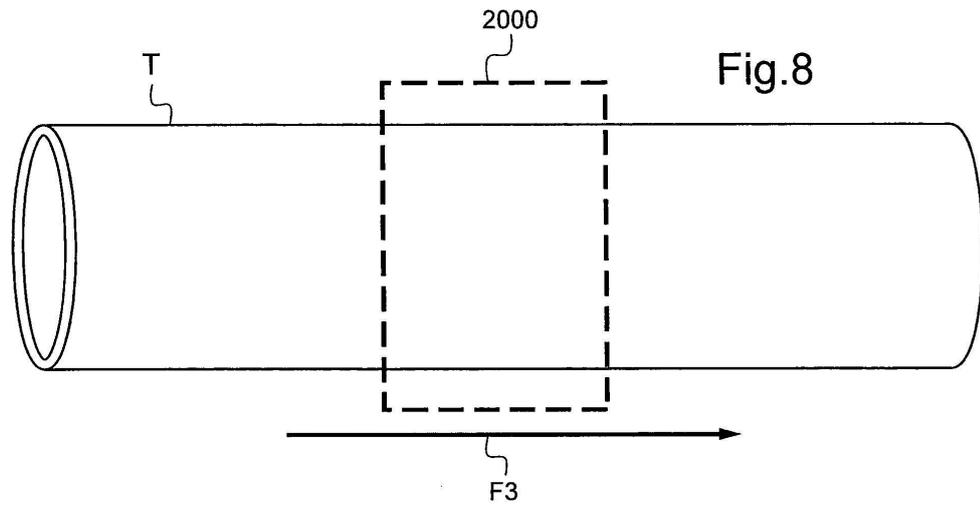


Fig.9

