

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 161**

51 Int. Cl.:

G01B 17/02 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01H 13/00 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2004 E 04719483 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015 EP 1604170**

54 Título: **Procedimiento y sistema para supervisar el comportamiento de una tubería que contiene un fluido a presión**

30 Prioridad:

11.03.2003 FR 0302969

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

17.08.2015

73 Titular/es:

**OXAND (100.0%)
49 avenue Franklin Roosevelt
77210 Avon, FR**

72 Inventor/es:

**BERNARD, OLIVIER y
GERARD, BRUNO**

74 Agente/Representante:

DÍAZ NUÑEZ, Joaquín

ES 2 543 161 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 sistema para supervisar el comportamiento de una tubería que contiene un fluido a presión

- 5 **[0001]** La invención presente se refiere a un procedimiento para supervisar (monitorizar) el comportamiento de una tubería que contiene un fluido a presión. También se refiere a un sistema que aplica este procedimiento.
- 10 **[0002]** Esta invención se está dentro del cuadro general de la gestión del envejecimiento de las tuberías, en particular de hormigón armado o pretensado que contiene un fluido a presión cuya cara externa es accesible (en galería, o por despeje).
- 15 **[0003]** Estas tuberías de hormigón armado o pretensado están provistas de varillas de acero que pueden someterse a un fenómeno de corrosión que se traduce con el tiempo en una disminución de su sección. A continuación, se hará referencia al concepto, que se conoce bien en este campo, de sección residual de acero.
- 20 **[0004]** El documento DE 35 31 975 A1 describe un sistema y un procedimiento de supervisión del espesor de la pared de una tubería.
- [0005]** Una preocupación principal de los operadores de sistemas de transporte de fluido a presión es dominar el riesgo de estallido de las tuberías que contienen estos fluidos a presión.
- 25 **[0006]** Este objetivo se obtiene con un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para supervisar (monitorizar) el comportamiento de una tubería de hormigón armado que contiene un fluido a presión, comprendiendo esta tubería al menos una zona corriente y zonas singulares.
- 30 **[0007]** En una forma particular completa de la invención, el procedimiento de supervisión comprende adicionalmente una supervisión (monitorización) dinámica de la tubería, para proporcionar información de modos y de frecuencias propias de la vibración de dicha tubería. Esta información de modos y de frecuencias propias se explota entonces de este modo, con la información de las dilataciones circunferenciales, para el cálculo de la rigidez eficaz y de la sección residual de acero medida.
- [0008]** El procedimiento de acuerdo con la invención además puede comprender ventajosamente:
- 35 - Un proceso de predicción de la evolución temporal $A's(t > t_i)$ de un estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, realizándose esta predicción en base a un modelo de la corrosión y de la resistencia mecánica de la tubería,
- Una comparación entre la sección residual de acero medida ($As(t_i)$) y el estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, y
- 40 - Una actualización del modelo de corrosión, cuando la diferencia entre dicha sección residual de acero medida $As(t_i)$ y dicho estimador de sección residual de acero $A's(t_i)$ es superior a una precisión predeterminada.
- [0009]** En una versión ventajosa de la invención, el proceso de predicción se dispone para integrar, en la fase de actualización del modelo de corrosión, una información que proviene de una fuente externa.
- 45 **[0010]** El procedimiento de supervisión (monitorización) de acuerdo con la invención puede comprender adicionalmente una comparación del valor medido $As(t_i)$ de la sección residual de acero con un criterio límite de resistencia (CL), estando esta comparación seguida de:
- 50 - una emisión de una información de sustitución inmediata de una parte de dicha tubería correspondiente a las zonas supervisadas, cuando este valor medido $As(t_i)$ es inferior a dicho criterio límite de la resistencia mecánica (CL),
- un cálculo de una vida útil restante $D(t_i)$ de dicha tubería.
- [0011]** El procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender adicionalmente una comparación del valor medido $As(t_i)$ de la sección residual de acero con un criterio de alarma (CA) asociado con la resistencia mecánica de dicha tubería, estando esta comparación seguida de:
- 55 - una emisión de una información de refuerzo y reemplazo posterior de una parte de dicha tubería correspondiente a las zonas supervisadas, cuando este valor medido $As(t_i)$ es inferior a dicho criterio de alarma (CA),
- un cálculo de una duración de explotación antes de la alarma $Da(t_i)$ de dicha tubería.
- 60 **[0012]** De acuerdo con otro aspecto de la invención, se propone un sistema de acuerdo con la reivindicación 7 para supervisar (monitorización) el comportamiento de una tubería que contiene un fluido a presión, conteniendo esta tubería al menos una zona corriente y zonas singulares.
- 65 **[0013]** En una realización particular de la invención, este sistema comprende además un dispositivo de supervisión (monitorización) dinámica de la tubería, para proporcionar información de modos y de frecuencias propias de la

vibración de esta tubería, usándose esta información de modos y de frecuencias propias por los medios para calcular la rigidez eficaz y la sección residual de acero de la tubería.

[0014] El sistema de acuerdo la invención puede además comprender ventajosamente:

- 5 - Medios para predecir la evolución temporal $A's(t > t_i)$ de un estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, realizándose esta predicción en base a un modelo de la corrosión y de la resistencia mecánica de la tubería,
 - Medios para comparar la sección residual de acero medida ($As(t_i)$) y el estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, y
 10 - Medios para actualizar el modelo de corrosión, cuando la diferencia entre dicha sección residual de acero medida $As(t_i)$ y dicho estimador de sección residual de acero $A's(t_i)$ es superior a una precisión predeterminada.

[0015] El dispositivo de supervisión (monitorización) estática puede comprender medios para medir deformaciones longitudinales de una parte de la tubería y medios para medir deformaciones circunferenciales de dicha parte.

- 15 **[0016]** El dispositivo de supervisión (monitorización) dinámica comprende medios de sismometría para medir en un número predeterminado de puntos sobre la tubería las velocidades de desplazamiento.

- 20 **[0017]** El sistema de acuerdo con la invención puede además comprender medios para pretratar datos brutos proporcionados por el dispositivo de supervisión (monitorización) estática y por el dispositivo de supervisión (monitorización) dinámica, estando estos medios de pretratamiento dispuestos para calcular una deformación media durante un período dado y frecuencias propias medias en fase de explotación.

- 25 **[0018]** La presente invención combina técnicas de monitorización permanente del comportamiento en servicio de este tipo de tuberías y la modelización predictiva de su envejecimiento con el fin de dominar el riesgo de estallido de estas tuberías y de optimizar sus períodos de reemplazo.

- 30 **[0019]** El comportamiento a largo plazo de las zonas singulares (por ejemplo, el paso sobre bloques de apoyo, codos, conos de reducción) de este tipo de tubería debe diferenciarse del comportamiento a largo plazo de la zona corriente, como se ilustra en la Tabla 1. Por consiguiente, el sistema de supervisión inteligente de acuerdo con la invención debe integrar esta diferencia de comportamiento y de prioridad en la supervisión.

	Zonas singulares	Zonas corrientes
Corrosión interna general	+	+
Corrosión externa	+	
Defectos iniciales	++	+
Prioridad	+++	+
Monitorización "estática"	XX	
Monitorización "dinámica"	x (Otros modos de vibración)	XX (Modo I de vibración)

- 35 **[0020]** Por lo tanto, el procedimiento de acuerdo con la invención, en su versión completa, consiste en:

- instrumentar con la ayuda de una monitorización "estática" un número limitado de zonas singulares (soportes, codos) previamente definidas;
 - y completar este dispositivo instrumentando una parte de tubería que comprende zonas corrientes y zonas
 40 singulares con la ayuda de una monitorización "dinámica".

[0021] Sin embargo, cabe señalar que el procedimiento de acuerdo con la invención únicamente puede funcionar muy bien usando únicamente una monitorización estática.

- 45 **[0022]** Una contribución significativa proporcionada por el procedimiento y el sistema de acuerdo con la invención en su versión completa se refiere a la combinación de dos tipos de monitorización (estática y dinámica), cuya

originalidad la capacidad de supervisar permanentemente la resistencia mecánica de la zona corriente y la de las zonas singulares.

5 **[0023]** La segunda contribución proporcionada por el procedimiento y el sistema de acuerdo con la invención consiste en elaborar una solución que combina los métodos de control (seguido de las deformaciones circunferenciales y longitudinales, seguido de los modos y las frecuencias propias) de una parte de una tubería y un pretratamiento de los datos medidos. Esta solución permite determinar de manera indirecta la sección residual de acero de la parte instrumentada.

10 **[0024]** La tercera contribución consiste en la valorización de los datos resultantes del control en un modelo de predicción de la cinética de corrosión de las partes metálicas de las tuberías. Este enriquecimiento de la modelización permite una predicción de la vida útil que minimiza toda incertidumbre y que permite la actuación de las operaciones de mantenimiento apropiadas en el momento necesario.

15 **[0025]** En conclusión, estas tres contribuciones permiten optimizar los períodos de sustitución de las tuberías instrumentadas controlando el riesgo de estallido de estas estructuras.

[0026] El procedimiento de vigilancia (monitorización) de acuerdo con la invención permite:

- 20 - Determinar sin interrupción y de manera indirecta la sección de acero residual presente en una tubería de hormigón armado;
 - Comparar los valores medidos con estimadores producidos a partir de modelos físicos validados;
 - Valorar los datos resultantes del control en un instrumento de predicción para predecir la evolución a largo plazo de la sección residual de acero minimizando las fuentes de incertidumbres;
- 25 - Comparar los valores medidos con criterios de resistencia mecánica;
 - Definir una estrategia global de gestión de una red de tuberías instrumentando un número limitado de partes singulares;
 - Emprender las acciones de mantenimiento adaptadas al estado de deterioro de las tuberías en cuanto a coste y plazo;
- 30 - Minimizar los costes asociados con el mantenimiento de las tuberías;
 - Dominar los riesgos de estallido de las tuberías;
 - Asegurar a las autoridades de vigilancia y el público anteponiendo un control permanente y activo con la ayuda del dispositivo de monitorización inteligente.

35 **[0027]** Otras ventajas y características de la invención se harán evidentes al examinar la descripción detallada de una realización que no es de ninguna manera limitativa y los dibujos adjuntos, el los que:

- La figura 1 ilustra el principio operativo del procedimiento de acuerdo con la invención;
 - La figura 2 es una descripción esquemática de un dispositivo de monitorización estático;
- 40 - La figura 3 ilustra el comportamiento a presión de una tubería para la cual puede implementarse la solución (el caso de un tubo de hormigón armado);
 - La figura 4 ilustra las diferentes etapas del pretratamiento de los datos básicos permiten llegar al valor de la sección residual de acero (ilustrada para el caso de la monitorización estática); y
 - La figura 5 ilustra un procedimiento de actualización aplicado en el procedimiento de acuerdo con la invención.

45 **[0028]** La combinación entre las técnicas de control permanente y el instrumento de predicción constituye el dispositivo de monitorización inteligente (DMI) que constituye el sistema de acuerdo con la invención.

50 **[0029]** Es necesario un pretratamiento de los datos resultantes de la monitorización permanente para retener sólo un número limitado de datos (rigidez de la tubería $K(t_i)$ y su sección residual de acero $A_s(t_i)$) sintetizando las medidas tomadas en un período definido.

55 **[0030]** El instrumento de predicción está construido basado en leyes físicas (modelización de la corrosión y de la resistencia mecánica de la tubería) permitiendo determinar por cálculo un estimador de la sección residual de acero $A's(t_i)$ y su evolución en el curso del tiempo $A's(t > t_i)$.

60 **[0031]** La sección residual de acero obtenida por el sistema de supervisión $A_s(t_i)$ se compara después, a intervalos regulares, con su estimador $A's(t_i)$. Si la diferencia entre estos dos valores es superior a una precisión E fijada previamente, el valor de la sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ se utiliza para actualizar el modelo de corrosión. Este procedimiento de actualización permite volver a calcular al estimador de la sección residual de acero $A's(t_i)$ y su evolución en el tiempo $A's(t > t_i)$. El instrumento de predicción está concebido para poder integrar en la fase de actualización del modelo de corrosión una información que proviene de una fuente distinta de la monitorización estática o dinámica (ensayos en laboratorio, inspecciones visuales, número de fallos).

- [0032] En cuanto se obtiene la precisión buscada, el valor de la sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ se compara con un criterio límite de resistencia mecánica CL. Si el valor medido es inferior al criterio, puede decidirse, por ejemplo, una sustitución inmediata de la parte instrumentada de la tubería.
- 5 [0033] Si el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ es superior al criterio límite, la vida útil residual de la tubería $D(t_i)$ se determina con ayuda de la evolución de la sección residual de acero calculada por el instrumento de predicción.
- 10 [0034] La etapa siguiente consiste en comparar el valor de la sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ con un criterio de alarma CA asociado a la resistencia mecánica. Esta vez, si el valor medido es inferior al criterio de alarma, puede decidirse, por ejemplo, colocar un refuerzo de la parte instrumentada de tubería para diferir la sustitución.
- 15 [0035] Si el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ es superior al criterio de alarma, el tiempo operativo antes de la alarma $D_a(t_i)$ se determina con ayuda de la evolución de la sección residual de acero calculada por el instrumento de predicción. En estas condiciones, la acción de mantenimiento consistirá, por ejemplo, en no hacer nada y la tubería se dará en ese estado.
- 20 [0036] A continuación se proporcionará una descripción, con referencia a las figuras que se han mencionado anteriormente. Ahora, se dará una descripción detallada de una realización del sistema de acuerdo con la invención.
- [0037] El dispositivo de monitorización estática se usa en un número limitado de zonas singulares definidas de antemano. El objetivo de este dispositivo es controlar, en zonas singulares, la evolución a largo plazo de las deformaciones longitudinales y circunferenciales de las tuberías.
- 25 [0038] Con el fin de fiabilizar esta monitorización estática, han de proporcionarse dos tipos de detectores. Por ejemplo, puede ser una posibilidad una combinación de detectores de extensometría estándar (detectores de inducción) y detectores de fibra óptica que miden sobre bases de longitudes diferentes.
- 30 [0039] Las deformaciones longitudinales principalmente sirven para verificar la resistencia mecánica de las tuberías (riesgo de estallido) en caso de esfuerzos accidentales (sísmos, presiones excesivas). Las deformaciones circunferenciales se usan en condiciones operativas normales en el contexto de la solución que permite seguir la evolución a largo plazo de la sección residual de acero, en referencia a la figura 3.
- 35 [0040] El dispositivo de monitorización dinámico explota la vibración natural de las tuberías a presión. Está concebido para medir en un número definido de puntos las velocidades de desplazamientos con ayuda de sismómetros. El objetivo del dispositivo de monitorización dinámica es determinar los modos propios de la vibración de la tubería (deformada modal) y las frecuencias asociadas.
- 40 [0041] Según la frecuencia de medida, el volumen de los datos brutos recogidos por el dispositivo de monitorización aumenta. A intervalos regulares, es necesario proceder a un pretratamiento de estos datos con el fin de extraer un número limitado de valores que permitan medir la cantidad la sección residual de acero.
- 45 [0042] Este pretratamiento consiste en calcular, usando los datos brutos (deformaciones, presión, frecuencias propias y deformaciones modales):
- Una deformación media en un período determinado (por ejemplo: antes de, durante y después de un ciclo de presurización);
 - Las frecuencias propias medias en la fase operativa;
 - La rigidez K de la parte de tubería en un período dado, en referencia a las figuras 3 y 4;
 - La sección residual de acero A_s correspondiente.
- 50
- [0043] El diagrama de la figura 4 permite ilustrar las diferentes etapas del pretratamiento en el caso de la monitorización estática. Las leyes que definen las relaciones entre las deformaciones y la rigidez y entre la rigidez y la sección residual de acero son características intrínsecas de la tubería instrumentada.
- 55 [0044] Un diagrama similar al de la figura 4 se desarrolla para la monitorización dinámica. En este caso, las leyes utilizadas permiten definir la relación entre una frecuencia propia, una pérdida de rigidez de la zona respectiva (esto depende del modo asociado de vibración) y la sección residual de acero. Estas leyes también son características intrínsecas de la tubería instrumentada y dependen en gran medida de las condiciones del borde de la tubería.
- 60 [0045] Las diferentes etapas del pretratamiento de los datos básicos permiten alcanzar el valor de la sección residual de acero, como se ilustra en la figura 4 para el caso de la monitorización estática.
- 65 [0046] La siguiente etapa consiste en comparar, a intervalos regulares, la sección residual de acero obtenida por el sistema de supervisión $A_s(t_i)$ con su estimador $A'_s(t_i)$. Si la diferencia entre estos dos valores es superior a una

precisión fijada previamente, el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ se utiliza para actualizar el modelo de corrosión.

5 **[0047]** Esta actualización se basa, entre otras cosas, en una lógica Bayesiana que permite mejorar la precisión del modelo predictivo cuando están disponibles datos del terreno.

[0048] El procedimiento de actualización permite volver a calcular el estimador de la sección residual de acero $A'_s(t_i)$ y su evolución en el tiempo $A'_s(t > t_i)$.

10 **[0049]** El instrumento de predicción está diseñado para poder integrar en la fase de actualización el modelo de corrosión, una información que proviene de una fuente distinta de la supervisión estática o dinámica (ensayos en laboratorio, inspecciones visuales, número de fallos).

15 **[0050]** En cuanto se obtiene la precisión buscada, el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ se compara con un criterio límite de resistencia mecánica CL. Si el valor medido es inferior al criterio, puede decidirse, por ejemplo, una sustitución inmediata de la parte instrumentada de la tubería.

20 **[0051]** La etapa siguiente consiste en comparar el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ con un criterio de alarma CA asociado a la resistencia mecánica. Esta vez, si el valor medido es inferior al criterio de alarma, puede colocarse, por ejemplo, un refuerzo de la parte instrumentada de la tubería para diferir la sustitución.

[0052] Si el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ es superior al criterio límite, la vida útil residual de la tubería se determina con ayuda de la evolución de la sección residual de acero calculada por el instrumento de predicción de la manera siguiente, en referencia a la figura 5:

25
$$D(t_i) = t(A_s = CL) - t_i$$

[0053] Si el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ es superior al criterio de alarma, la duración de explotación antes de la alarma $D_a(t_i)$ se determina con ayuda de la evolución de la sección residual de acero calculada por el instrumento de predicción de la siguiente manera:

$$D_a(t_i) = t(A_s = CA) - t_i$$

30 **[0054]** Cuando el valor medido de la sección residual de acero $A_s(t_i)$ es superior al criterio de alarma, la acción de mantenimiento consistiría, por ejemplo, en no hacer nada y la tubería se dejaría en ese estado.

35 **[0055]** Por supuesto, la invención no se limita a los ejemplos que se acaban de describir y pueden aplicarse numerosas disposiciones a estos ejemplos sin apartarse del alcance de la invención.

40

45

50

55

60

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para supervisar el comportamiento de una tubería de hormigón armado que contiene un fluido a presión, comprendiendo esta tubería al menos una zona corriente y zonas singulares, comprendiendo dicho procedimiento:
- 10 - una supervisión, denominada estática, de un número predeterminado de zonas singulares y/o de zonas corrientes, para proporcionar información de las dilataciones circunferenciales, y
 - un cálculo, a partir de dicha información de las dilataciones circunferenciales, de la rigidez eficaz $K(t_i)$ de la tubería y de su sección residual de acero $A_s(t_i)$, a partir de leyes predeterminadas que definen la relación entre dichas dilataciones circunferenciales y la rigidez y entre la rigidez y la sección residual de acero, siendo dichas leyes características intrínsecas de dicha tubería.
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende además de una supervisión, denominada dinámica, de la tubería, para proporcionar información de modos y de frecuencias propias de vibración de dicha tubería, y **por que** esta información de modos y de frecuencias propias son así explotadas para calcular la rigidez $K(t_i)$ y la sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ de la tubería.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** comprende además:
- 25 - Un proceso de predicción de la evolución temporal $A's(t > t_i)$ de un estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, realizándose esta predicción teniendo como base un modelo de la corrosión y de la resistencia mecánica de la tubería,
 - Una comparación entre la sección residual de acero medida ($A_s(t_i)$) y el estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, y
 - Una actualización del modelo de corrosión, cuando la diferencia entre dicha sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ y dicho estimador de sección residual de acero $A's(t_i)$ es superior a una precisión predeterminada.
- 30 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** el proceso de predicción se dispone para integrar, en la fase de actualización del modelo de corrosión, una información que proviene de una fuente externa.
- 35 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado por que** comprende adicionalmente una comparación del valor medido $A_s(t_i)$ de la sección residual de acero con un criterio límite de resistencia mecánica (CL), estando seguida esta comparación de:
- 40 - O de una emisión de una información de sustitución inmediata de una parte de dicha tubería correspondiente a las zonas supervisadas, cuando este valor medido $A_s(t_i)$ es inferior a dicho criterio límite de resistencia mecánica (CL),
 - O de un cálculo de una vida útil residual $D(t_i)$ de dicha tubería.
- 45 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** comprende adicionalmente una comparación del valor medido $A_s(t_i)$ de la sección residual de acero con un criterio de alarma (CA) asociada a la resistencia mecánica de dicha tubería, estando esta comparación seguida de:
- 50 - O de una emisión de una información de refuerzo y de reemplazo posterior de una parte de dicha tubería correspondiente a las zonas supervisadas, cuando este valor medido $A_s(t_i)$ es inferior a dicho criterio de alarma (CA),
 - O de un cálculo de una duración de explotación antes de la alarma $D_a(t_i)$ de dicha tubería.
- 55 7. Sistema para supervisar el comportamiento de una tubería de hormigón armado que contiene un fluido a presión, conteniendo esta tubería al menos una zona corriente y zonas singulares, comprendiendo el sistema:
- 60 - Un dispositivo de supervisión, llamado estático, de un número predeterminado de zonas singulares y/o zonas corrientes, configurado para proporcionar información de las dilataciones circunferenciales, y
 - Medios configurados para calcular, a partir de dicha información de las dilataciones circunferenciales, la rigidez eficaz $K(t_i)$ de la tubería y su sección residual de acero $A_s(t_i)$, a partir de leyes predeterminadas que definen las relaciones entre dichas dilataciones circunferenciales y la rigidez y entre la rigidez y la sección residual de acero, siendo dichas leyes características intrínsecas de dicha tubería.
- 65 8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** comprende adicionalmente un dispositivo de supervisión, llamada dinámica, de la tubería, para proporcionar información de modos y de frecuencias propias de vibración de dicha tubería, explotándose esta información de modos y de frecuencias propias por los medios de cálculo de la rigidez eficaz $K(t_i)$ y de la sección residual de acero medida $A_s(t_i)$.

9. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado por que** comprende adicionalmente:

- Medios para predecir la evolución temporal $A's(t > t_i)$ de un estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, realizándose esta predicción en base a un modelo de la corrosión y de la resistencia mecánica de la tubería,
- Medios para comparar la sección residual de acero medida ($A_s(t_i)$) y el estimador $A's(t_i)$ de la sección residual de acero, y
- Medios para actualizar el modelo de corrosión, cuando la diferencia entre dicha sección residual de acero medida $A_s(t_i)$ y dicho estimador de sección residual de acero $A's(t_i)$ es superior a una precisión predeterminada.

10. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado por que** el dispositivo de supervisión estática comprende medios para medir deformaciones longitudinales de una parte de la tubería y medios para medir deformaciones circunferenciales de dicha parte.

11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8 y una de las reivindicaciones 9 o 10, **caracterizado por que** el dispositivo de supervisión dinámica comprende medios de sismometría para medir en un número predeterminado de puntos sobre la tubería la velocidad de desplazamiento.

12. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado por que** comprende adicionalmente medios para pretratar datos brutos proporcionados por el dispositivo de supervisión estática y/o dinámica, estando diseñados estos medios de pretratamiento para calcular una deformación media en un período dado y frecuencias propias medias en la fase de explotación.

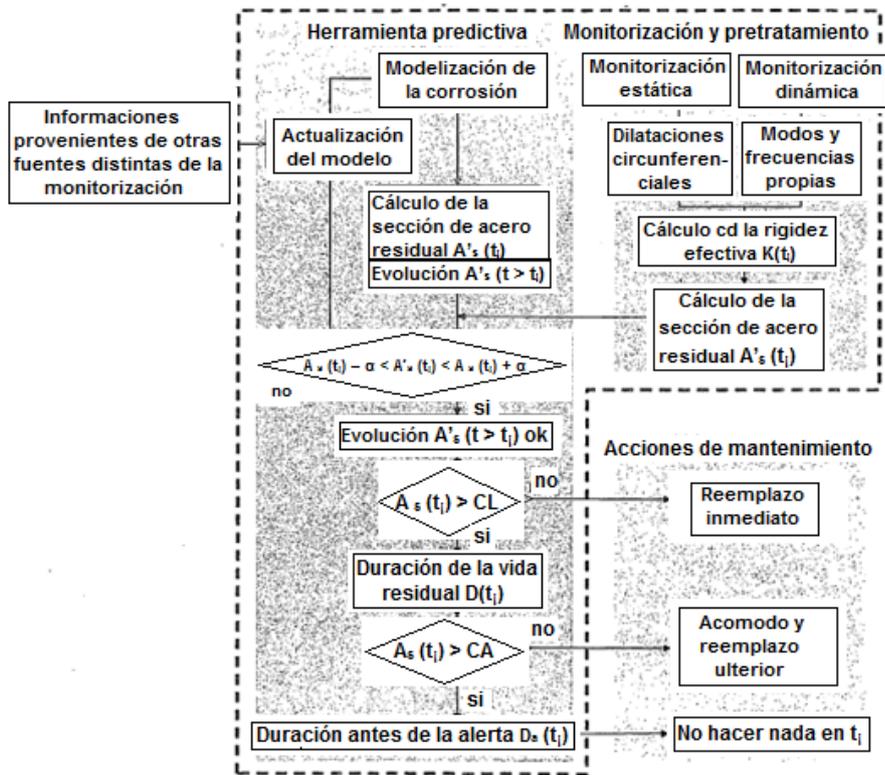


FIG. 1

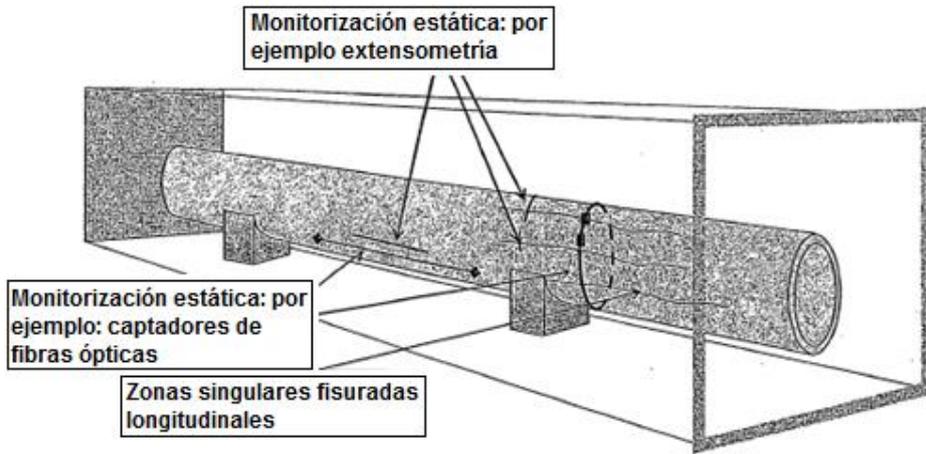


FIG. 2

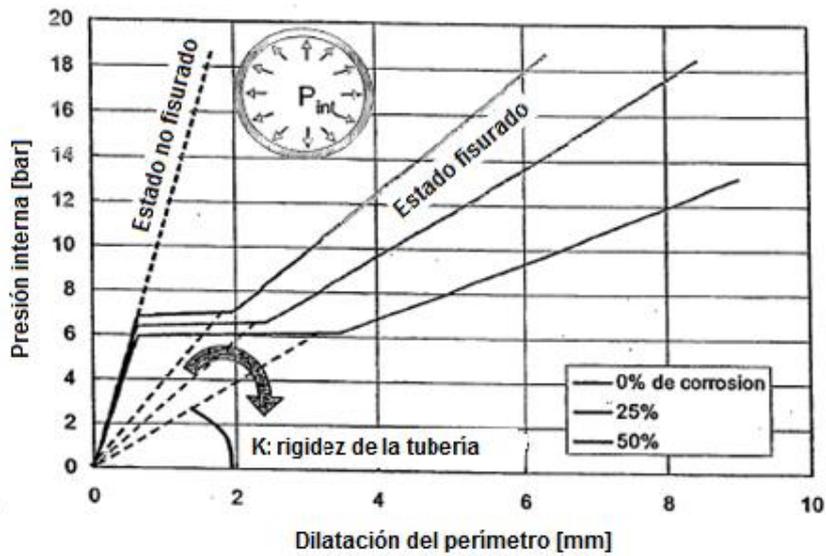


FIG. 3

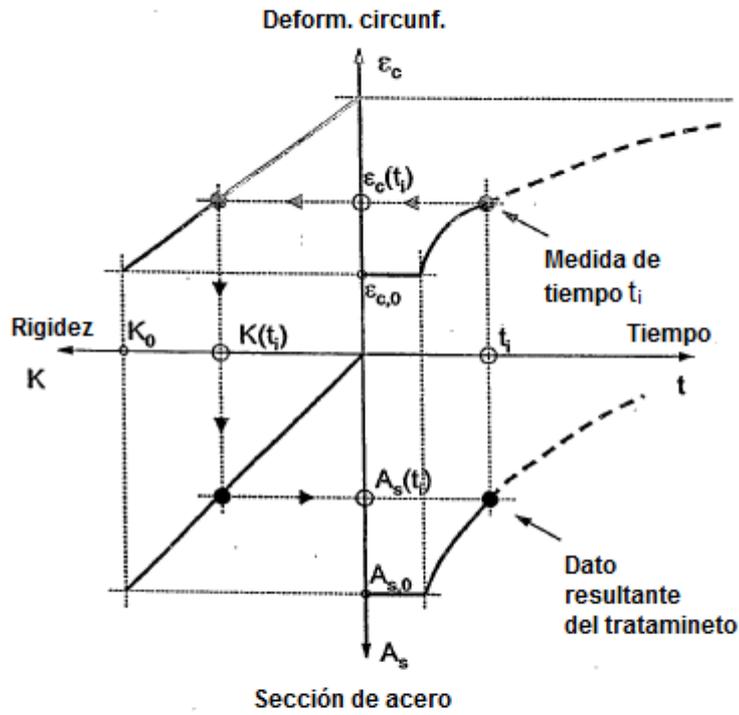


FIG. 4

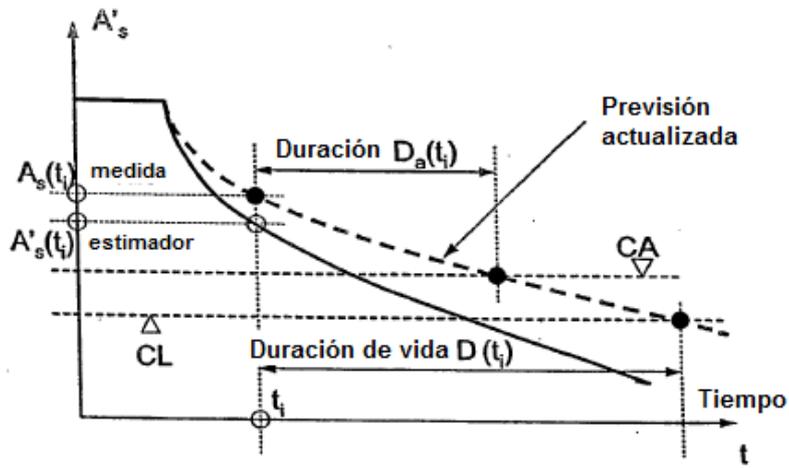


FIG. 5