

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 903 199**

51 Int. Cl.:

G01N 27/82 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

G01N 27/90 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.04.2019 E 19168530 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.10.2021 EP 3722798**

54 Título: **Método para la determinación de la geometría de un punto defectuoso y para la determinación de un límite de la capacidad de carga**

30 Prioridad:

09.04.2019 EP 19168279

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

31.03.2022

73 Titular/es:

ROSEN SWISS AG (100.0%)

Obere Spichermatt 14

6370 Stans, CH

72 Inventor/es:

DANILOV, ANDREY y

PEUSSNER, MATTHIAS

74 Agente/Representante:

COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 2 903 199 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

Método para la determinación de la geometría de un punto defectuoso y para la determinación de un límite de la capacidad de carga

5 (0001) La invención presente hace referencia a un método para la determinación de la geometría de un punto defectuosos, así como un método para la determinación de un límite de la capacidad de carga de un objeto cargado de presión, al menos, durante el funcionamiento.

10 (0002) Uno de los objetivos esenciales de las inspecciones de conductos, especialmente, con los denominados rascatubos inteligentes es la predicción de las condiciones de funcionamiento seguras que resultan del estado del conducto. Especialmente, lo que interesa a los operadores de los conductos es el estado de posibles costuras soldadas y el número y tamaño de los puntos defectuosos. Los puntos defectuosos son, por ejemplo, zonas con pérdidas de metal, a causa de la corrosión, las facturas y otros debilitamientos de una pared de un objeto previsto, especialmente, para el aprovisionamiento o para el transporte de medios líquidos o en forma de gas. Entre estos se encuentran, por ejemplo, los tubos, oleoductos o tanques.

15 (0003) El conocimiento de la presión máxima (en inglés: "burst pressure") que es válida para un conducto, a partir de la cual se destruye el conducto, es relevante para las presiones de funcionamiento ajustables en el conducto. La "burst pressure" se usa para la determinación cuantitativa del límite de la capacidad de carga. Por ello, es importante la predicción exacta de esta presión. Actualmente, para el cálculo de este valor límite se observa un punto defectuoso solamente con respecto a su longitud, anchura y profundidad y se considera como un denominado "cajón" (en inglés: "Box"). Tanto para la pérdida de material a causa de la corrosión, como también para grietas, 20 observación conservativo, habida cuenta que las Figuras geométricas simplificadas necesariamente sobrevaloran la estructura actual del punto defectuoso. Esto conduce a una subestimación de la "burst pressure" del objeto, y con ello, a una subestimación de las presiones de funcionamiento permitidas. Un objeto que se hace funcionar con una presión más alta, como un oleoducto o un tanque de gas puede funcionar, sin embargo, de forma claramente más económica.

30 (0004) Los métodos de medición que tienen en cuenta la densidad del flujo de dispersión magnética (método de medición MFL ó método MFL) se usan, preferiblemente, para encontrar los puntos defectuosos a causa de la corrosión. Otros métodos que se aprovechan, especialmente, el ultrasonido, se emplean para la detección de grietas en el lado interior o exterior de un objeto. A estos métodos de medición libres de destrucción pertenecen los métodos electromagnéticos-acústicos (método EMAT ó método de medición EMAT), en los cuales, a causa de campos magnéticos inducidos por corrientes parásitas, se crean ondas acústicas, especialmente, en forma de ondas guiadas, en la pared del objeto a ser inspeccionado, así como métodos que introducen directamente los ultrasonidos en la pared del objeto, a continuación denominados métodos de ultrasonidos (métodos UT ó métodos de medición UT). Las grietas cercanas a la superficie, especialmente, las pequeñas se buscan en el estado de la técnica, igualmente, con un método de medición de corrientes parásitas, denominadas a continuación métodos EC o métodos de medición EC.

40 (0005) Pertenece al estado de la técnica para la medición de la corrosión de un objeto el hacer que personas especialmente formadas valoren los escaneos de datos de flujos de dispersión magnéticos (datos MFL) en base a mediciones de flujos de dispersión magnéticos (mediciones MFL) para la determinación del tamaño de los puntos defectuosos (de corrosión). Lo mismo es válido para la valoración de datos de medición obtenidos en base a métodos de medición EMAT, UT y EC. Las señales mostradas en los escaneos se parametrizan y se valoran en los cajones. Por un lado, las suposiciones necesarias para la valoración, denominadas también "dimensionado" (en inglés: "Sizing"), de los resultados de la medición, son de propiedad. Por otro lado, la interpretación de los resultados de medición está enormemente influenciada por los valores de experiencia de las personas que los valoran. Finalmente, la calidad de las predicciones puede estar garantizada simplemente en base a investigaciones del conducto in situ. Esto conlleva, especialmente, en excavaciones altos costes para el operador. El estándar de la industria API 1163 más difundido describe los efectos desventajosos de los principios de valoración previamente descritos. Está bien documentado que la calidad de estos principios depende enormemente del conocimiento de las personas que los observan. Los principios llevados a cabo en la práctica son siempre una interpretación influenciada por factores subjetivos de los datos obtenidos a través un desarrollo de medición con un respectivo método de medición libre de destrucción.

50 (0006) Es especialmente problemático, en definitiva, la aparición común, superpuesta de varios tipos de puntos defectuosos o defectos como corrosión y roturas (grietas), especialmente, en geometrías más complejas como, por ejemplo, costuras soldadas. Ante el contexto de requisitos que cada vez van siendo mayores en relación con la seguridad, por ejemplo, de oleoductos, se trabaja en la aparición combinada de defectos con elevadas reducciones de seguridad en relación con las "burst pressures". Un conducto se pone en funcionamiento, normalmente, claramente, por debajo de la presión máxima permitida.

65 (0007) Además, desde el punto de vista científico, es decir, teórico, son conocidos enfoques con los cuales se ha de alcanzar una simulación lo más exacta posible de las señales medidas a través de modelos avanzados, mediante la variación sucesiva y los métodos iterativos de una geometría supuesta de puntos defectuosos. De este modo, se

emplean, por ejemplo, redes neuronales. Teóricamente, estos enfoques pueden dar como resultado soluciones en el sentido de una geometría de puntos defectuosos, pero en efecto, estas soluciones no son necesariamente realistas. Esto es válido, especialmente, para conjuntos de datos complejos que, bajo ciertos problemas inversos, conducen a soluciones inesperadas, exóticas y falsas. Mientras que, en escenarios de pruebas bien definidos y limitados, semejantes modelos científicos dan como resultado una solución del problema descrito en forma de geometrías de puntos defectuosos, para datos de medición reales, que presentan una multitud de influencias perturbadoras, esto no ha sido exitoso hasta ahora. Por ello, es objetivo de la invención presente mostrar un camino robusto para la reconstrucción exacta de un punto defectuoso real y llevar a cabo un cálculo lo más exacto posible del límite de la capacidad de carga de un objeto que contiene un punto defectuoso o varios de ellos.

(0008) El objetivo se cumple mediante un método según la reivindicación 1, así como, en relación con la determinación de un límite de la capacidad de carga, es decir, de la "burst pressure", con un método según la reivindicación 20.

(0009) Las configuraciones ventajosas de la invención se han de extraer de las reivindicaciones dependientes que hacen referencia a estas reivindicaciones, así como de la siguiente descripción.

(0010) Conforme a la invención está previsto llevar a cabo la determinación de la geometría de uno o más puntos defectuosos mediante, al menos, dos conjuntos de datos de referencia creados en base a métodos de medición distintos, libres de destrucción, de manera que de, al menos, una rutina de expertos, preferiblemente, de varias rutinas de expertos, especialmente, que se encuentran en competencia entre sí, con respectivamente, al menos, una estrategia de búsqueda propia o, al menos, un algoritmo propio, recurren a una misma geometría de puntos defectuosos de partida. Las rutinas de expertos se ejecutan, siempre que se usen varias, especialmente, paralelamente en una unidad informática. Si se usa una única rutina de expertos, ésta puede recurrir a distintos algoritmos para la adaptación de la geometría de puntos defectuosos.

(0011) Semejante método conforme a la invención para la determinación de la geometría de uno o varios puntos defectuosos reales, investigados de un objeto metálico, y especialmente, magnetizable, especialmente, un tubo o un tanque, con un conjunto de datos de referencia del objeto creado en base a, al menos, dos métodos de medición distintos, libres de destrucción, comprende una representación o imagen del objeto, al menos parcial, de o a través de una rejilla del objeto, al menos, bidimensional, preferiblemente, tridimensional, en una unidad informática, y comprende además una determinación, especialmente, una creación de una geometría de puntos defectuosos iniciales como geometría de puntos defectuosos de partida. La geometría de puntos defectuosos de partida puede representarse directamente sobre la rejilla del objeto o puede estar representado por el mismo, sin embargo, igualmente, puede estar presente en una representación de parámetro, por ejemplo, en, al menos, una rejilla de defecto bidimensional.

(0012) Mediante el uso de una única geometría de puntos defectuosos como base para el cálculo para todos los conjuntos de datos se lleva a cabo la vinculación de las mediciones distintas entre sí. Preferiblemente, sobre la rejilla del objeto se puede describir un punto defectuoso mediante el hecho de que las celdas de la rejilla del objeto se asocian a la propiedad "material" y "ningún material" o "material con punto defectuoso". Adicionalmente, semejante celda puede asociarse a un clasificador en relación con el tipo de punto defectuoso (corrosión, grieta o defecto de laminación) posiblemente existente.

(0013) Además, se lleva a cabo conforme a la invención una determinación, especialmente, una creación de los respectivos, es decir, de los conjuntos de datos de predicción que se ajustan al método de medición libre de destrucción, como conjuntos de datos de predicción de partida en base a la geometría común de puntos defectuosos de partida. Esto se lleva a cabo mediante simulación o asignación a una medición que se adapta al respectivo conjunto de datos de referencia.

(0014) A continuación, se lleva a cabo una adaptación iterativa de la geometría de puntos defectuosos de partida a la geometría del punto defectuoso real o de los puntos defectuosos reales mediante la unidad informática, y esta adaptación se lleva a cabo, preferiblemente, mediante, al menos, una rutina de expertos, preferiblemente, mediante varias rutinas de expertos que funcionan, especialmente, paralelamente y que se encuentran en competencia entre sí, de manera que en la o las respectiva/s rutina/s de expertos, mediante, al menos, un algoritmo propio o una estrategia de búsqueda propia y en base a la geometría de puntos defectuosos de partida se crea una respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos.

(0015) Un algoritmo propio presenta la rutina de expertos cuando, al menos, uno de los algoritmos que están a disposición de la rutina de expertos, para la adaptación a la geometría de puntos defectuosos, se diferencia, al menos parcialmente, de los algoritmos de otra rutina de expertos. Preferiblemente, se pueden usar los procesos estocásticos para la diferenciación de los algoritmos de distintas rutinas de expertos. Cada rutina de expertos presenta, al menos, un algoritmo para la adaptación de la geometría de puntos defectuosos, preferiblemente, están a disposición varios algoritmos para, al menos, una rutina de expertos. Igualmente, dentro de una rutina de expertos se puede llevar a cabo o puede estar predeterminada la selección de un algoritmo en base a procesos estocásticos.

(0016) Conforme a la invención está previsto también que a base de la respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos se determine un respectivo conjunto de datos de predicción de expertos, especialmente, mediante

simulación o asignación de una medición adaptada al respectivo conjunto de datos de referencia, de manera que la geometría de puntos defectuosos de expertos, que es la base del respectivo conjunto de datos de predicción de expertos, de, al menos, una, preferiblemente, varias, y especialmente, todas las rutinas de expertos se pongan a disposición como nueva geometría de puntos defectuosos de partida para la otra adaptación a la geometría del punto defectuoso real o de los puntos defectuosos reales, cuando el respectivo conjunto de datos de predicción de expertos es más similar al respectivo conjunto de datos de referencia que el correspondiente conjunto de datos de predicción de partida y/o se mejora una función de adecuación que tiene en cuenta, al menos, dos conjuntos de datos de predicción de expertos. A continuación, es decir, para las siguientes comparaciones en la iteración de las respectivas geometrías de puntos defectuosos de expertos con la nueva geometría de puntos defectuosos de partida se usan los conjuntos de datos de predicción de expertos que pertenecen a la nueva geometría de puntos defectuosos de partida como nuevos conjuntos de datos de predicción de partida.

(0017) Una medida para la similitud puede formarse también a través de la función de adecuación, de manera que, por ejemplo, en una variante de ejecución, incluso entonces, se pone a disposición una nueva geometría de puntos defectuosos de partida por una rutina de expertos para los demás pasos de iteración, cuando resulta una aproximación – entonces, en efecto, fundamental – sólo de uno de los conjuntos de datos de predicción de expertos simulados o asignados al respectivo conjunto de datos de referencia.

(0018) Una comparación más sencilla de los conjuntos de datos de predicción de expertos con los conjuntos de datos de referencia sobre la base de la geometría de puntos defectuosos de expertos resulta, por ejemplo, como sigue:

$$E = \sum_i |Y_{cal}^i(x_1 \dots x_n) - Y_m^i|,$$

de manera que Y_m^i – es la señal de datos de medición existente bidimensional (geoméricamente, normalmente) del método de medición i –

y Y_{cal}^i – es la señal simulada del método de medición correspondiente. Además, se designan como $x_1 \dots x_n$, las geometrías de puntos defectuosos variados a través de uno o varias rutinas de expertos. Cuanto menor es E, mejor se corresponden las geometrías de puntos defectuosos calculadas con los realmente existentes.

(0019) La adaptación iterativa mediante las rutinas de expertos se lleva a cabo, en definitiva, hasta que se cumple un criterio de interrupción. Conforme a la invención, en base a la misma geometría de puntos defectuosos de partida se comparan los conjuntos de datos de predicción de expertos (asignados o, especialmente, simulados), de forma específica del método de medición, con los conjuntos de datos de referencia respectivos, y así se evitan las desventajas de la valoración dividida conocida del estado de la técnica. En la comparación específica del método de medición se compara, por ejemplo, un escaneo EMAT simulado con el conjunto de datos de referencia EMAT obtenidos en base a la medición real, se compara un escaneo MFL con el conjunto de datos de referencia MFL obtenido en base a la medición real, etc.

(0020) Mediante el acceso a la misma geometría de puntos defectuosos y el análisis automatizado y combinado de los distintos métodos de medición, el cálculo puede de la “burst pressure” del objeto investigado puede llevarse a cabo con, al menos, un 10% - 20% de más exactitud y, por ejemplo, se puede poner en funcionamiento un conducto con presiones mayores. Además, a causa de la consideración automatizada, combinada, de los conjuntos de datos de referencia de los distintos métodos de medición y de la descripción mejorada que resulta de lo anterior, de las geometrías de los defectos o de los puntos defectuosos, se tiene que llevar a cabo con menos frecuencia una inspección del objeto investigado, por ejemplo, mediante excavación. Además, a través de la valoración combinada en base a los datos obtenidos de distintos métodos de medición, se convierte el problema en más singular, se minimizan las soluciones locales, es decir, la determinación de la geometría de puntos defectuosos se comporta de forma más robusta.

(0021) Los distintos métodos de medición libres de destrucción son los métodos de medición previamente descritos MFL, EMAT, UT y EC. El método conforme a la invención se caracteriza por que, como primer conjunto de datos de referencia se usa un conjunto de datos sobre la base de un método de medición MFL, de corriente parásita, EMAT ó ultrasónico, y como otro conjunto de datos de referencia se usa un conjunto de datos creado sobre la base de otro método de medición que proviene de este grupo de métodos de medición. Siempre que un método de medición como, por ejemplo, un método EMAT crea un conjunto de datos con varios conjuntos de datos subordinados, por ejemplo, a causa de varios sensores que registran varias señales, se usan en el método entonces, preferiblemente, todos los conjuntos de datos subordinados.

(0022) Preferiblemente, se emplean para la consideración común, especialmente, de la corrosión y las grietas, especialmente, conjuntos de datos de referencia del siguiente método de medición:

- a) un primer conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición MFL y como otro conjunto de

datos de referencia sobre la base de una medición EMAT, ó

b) un primer conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición MFL y como otro conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición UT, ó

c) un primer conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición MFL, como otro primer conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición EMAT, y como otro segundo conjunto de datos de referencia sobre la base de una medición EC.

(0023) El conjunto de datos de referencia creado sobre la base de mediciones MFL pueden estar, preferiblemente, diferenciados de forma complementaria, en relación con la dirección de la magnetización, es decir, las variantes a), b) ó c) pueden presentar un conjunto de datos de referencia, o bien, sobre la base de una medición MFL con magnetización en dirección axial (método de medición MFL-A) ó sobre la base de una medición con magnetización en dirección del perímetro (método de medición MFL-C). El conjunto de datos de referencia obtenido "sobre la base de" un determinado método de medición proviene de correspondientes ciclos de medición ("escaneos") y, dado el caso, se prepara para un tratamiento automatizado en el método conforme a la invención, por ejemplo, puede ser normalizado con respecto a sus valores, transformado por Fourier y/o interpolado, con la finalidad de la adaptación a determinadas geometrías de rejilla. Están presentes, especialmente, como conjuntos de datos bidimensionales con respectivas informaciones de longitud o anchura o perimetrales, y con estos valores de medición asociados. En el caso de datos de referencia que se obtuvieron mediante el método EMAT, se trata, en relación con los conjuntos de datos de referencia, preferiblemente, de amplitudes ("cuentas") integradas a lo largo del tiempo en respectivas posiciones de pared o posiciones de medición, los denominados escaneos A.

(0024) La determinación del conjunto de datos de predicción de expertos puede llevarse a cabo dentro de proceso de trabajo de la rutina de expertos y/o a través de un módulo de programa controlado independientemente por una rutina de supervisión.

(0025) Ventajosamente, se llevan a cabo, en las rutinas de expertos que están, especialmente, en competencia entre sí, variaciones distintas y específicas del punto defectuoso para la creación de la respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos, de manera que está previsto una primera rutina de expertos para la variación de grietas, otra para la variación de la corrosión y/u otra para la variación de los defectos de laminación. Los defectos de laminación que tienen un efecto perturbador en forma de capas que no están unidas entre sí de una pared (del objeto), por ejemplo, en mediciones EC y que son encontrados, especialmente, por modos especiales de la medición EMAT, pueden tenerse en cuenta de tal modo separadamente, y especialmente pueden no tenerse en cuenta para la consideración del tiempo de vida útil restante, por ejemplo, de un conducto.

(0026) La determinación del conjunto de datos de predicción del experto sobre la base de la respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos se lleva a cabo, especialmente, entonces, cuando hay disponible ningún banco de datos lo suficientemente grande con datos calculados o medidos de las respectivas geometrías de puntos defectuosos, mediante simulación de una respectiva medición adaptada al método de medición, lo cual se describe a continuación para otras configuraciones de la invención.

(0027) Alternativamente, la geometría de puntos defectuosos de expertos puede asignarse también a un conjunto de datos medidos realmente a partir de un banco de datos lo suficientemente amplio, cuando en este banco de datos existe una respectiva geometría con una medición también adaptada en lo que respecta a las condiciones límites materiales. También es posible un modo de enfoque combinado con el que primero se buscan, en un banco de datos, los datos de medición ya existentes, y entonces, a continuación, se lleva a cabo una simulación, al darse una búsqueda con resultados negativos. Esto puede conllevar, en su totalidad, a una determinación rápida del respectivo conjunto de datos de predicción de expertos.

(0028) El método conforme a la invención se lleva a cabo de forma completamente automatizada, y especialmente, en una unidad informática que, dado el caso, se compone de varios ordenadores. El programa de ordenador correspondiente puede ser un único programa o se puede tratar de un paquete de programas que comprende una multitud de módulos de programas, que funcionan, por ejemplo, según los recursos, distribuidos en distintos sistemas informáticos o subunidades informáticas y allí pueden ser almacenados sobre respectivos medios informáticos. Un ordenador presenta, especialmente, los medios habituales de una unidad de tratamiento de datos, como uno o varios procesadores, a menos, de almacenamientos temporales (RAM), medios de comunicación de datos, unidades de pantalla y/o de teclados. Mientras que la elección del conjunto de datos de referencia puede llevarse a cabo, preferiblemente, de forma que es controlada por el usuario, la determinación de la geometría de puntos defectuosos se lleva a cabo durante las iteraciones automáticamente. Preferiblemente, se pueden fijar, antes de la verdadera iteración, parámetros de programas para la selección de los algoritmos que están disponibles para las rutinas de expertos, la determinación de una geometría de puntos defectuosos iniciales, la determinación del primer conjunto de datos de predicción y/o un conjunto de datos de predicción de expertos, que muestran los respectivos datos de medición simulados. Por ejemplo, se puede fijar si la determinación de los conjuntos de datos de predicción de partida se ha de emitir a través de una simulación de una respectiva medición libre de destrucción sobre la base de una rejilla que representa el objeto con el punto defectuoso ó si se ha de cargar a través de, por

ejemplo, una regresión a partir de un banco de datos. Por ejemplo, en el caso de una simulación de un campo MFL, se pueden fijar los parámetros necesarios para la comparación con el conjunto de datos de referencia, como, por ejemplo, la dirección de la magnetización, la fuerza de la magnetización, la distancia del sensor de la superficie del objeto y/o la velocidad del dispositivo de medición.

5 (0029) A través de las rutinas de expertos que compiten entre sí por los recursos de la unidad informática, según otra configuración conforme a la invención, que con sus propias estrategias de búsqueda buscan respectivamente soluciones propias para la determinación de la geometría del punto defectuoso real, se evita, especialmente, el problema existente en el estado de la técnica, en los enfoques teóricos, de que se han de encontrar soluciones
10 aisladas. Frente a la valoración manual, dividida de los conjuntos de datos, la solución encontrada no sólo mejora claramente, sino que también se puede llevar a cabo y documentar de mejor modo. Se evitan de este modo las soluciones singulares, con las cuales un algoritmo, sea del tipo que sea, se queda estancado, e igualmente, con las cuales no se puede reflejar de forma realista la geometría de puntos defectuosos.

15 (0030) Preferiblemente, el método conforme a la invención se caracteriza también porque para la creación específica del método de medición de los conjuntos de datos de predicción de partida y/o de expertos, se emplean parámetros de simulación obtenidos a partir de un proceso de calibración del aparato de inspección perteneciente al método de medición y/o parámetros específicos del material del objeto. Entre estos se encuentran, por ejemplo, las distancias y la posición del ángulo de un respectivo sensor en relación con una pared del objeto y/o con los procesos del campo
20 magnético.

(0031) Para una simulación de datos del flujo de dispersión, datos EMAT, UT y/o EC será necesario, normalmente, una representación del objeto sobre o a través de una rejilla tridimensional. Sobre la misma se lleva a cabo la representación en el sentido, al menos parcialmente, de que, al menos, la parte del objeto con el punto defectuoso o
25 los puntos defectuosos y, preferiblemente, las zonas contiguas son representadas a través de o sobre la rejilla del objeto, por ejemplo, mediante la asignación de una propiedad "material" o "ningún material" a las celdas de la rejilla. Alternativamente a esto, la simulación de la medición libre de destrucción también puede derivarse de una representación del parámetro de la geometría de puntos defectuosos. Finalmente, la determinación de los datos del flujo de dispersión puede llevarse a cabo también mediante una consulta del banco de datos, por ejemplo, mediante
30 una función de regresión. Esto es válido, igualmente, para la simulación o la asignación de los datos de medición EMAT, EC y UT pertenecientes a una geometría.

(0032) Preferiblemente, en las rutinas de expertos, una representación del parámetro derivada de la geometría de puntos defectuosos de partida o asignada a la misma, de un respectivo punto defectuoso, varía para la creación de
35 la geometría de puntos defectuosos de expertos. La variación de una representación de parámetros de un punto defectuoso, preferiblemente, con una transferencia posterior de la representación paramétrica de la geometría de puntos defectuosos sobre una rejilla, especialmente, tridimensional, que se puede usar para la simulación del conjunto de datos de predicción de expertos, posibilita una variación rápida de la geometría de puntos defectuosos como una modificación directa del punto defectuoso sobre la rejilla, habida cuenta que se tienen que llevar a cabo
40 bastantes menos cálculos.

(0033) Preferiblemente, en una representación de parámetro se describen roturas o grietas internas o externas de una pared de metal a través de una línea de unión de dos puntos nodales de rejilla que se encuentran sobre el lado interior o exterior, de manera que a cada grieta se le asocia una profundidad que, en su totalidad o por secciones
45 puede ser determinada para la línea.

(0034) Además, se describe un defecto de laminación, preferiblemente, mediante una rejilla, especialmente, bidimensional, a lo largo de la superficie interior del objeto investigado. Esta rejilla de defecto de laminación puede disponerse con sus puntos nodales sobre los puntos nodales del lado interior de la rejilla del objeto, en efecto, para
50 una consideración simplificada se puede proveer de una distancia de puntos de rejilla fija. Especialmente, en cada punto nodal de la rejilla del defecto de laminación se toma un valor con la distancia del defecto de laminación con respecto a la superficie interior, de forma que un valor "0" indica la no existencia del defecto de laminación.

(0035) Los puntos defectuosos debidos a la corrosión se parametrizan, preferiblemente, a través de una rejilla bidimensional con una dimensión de rejilla fija, por ejemplo, celdas de 3,5 * 3,5 mm de tamaño. La rejilla puede estar dispuesta, según el lugar de la corrosión, sobre la superficie interior o exterior y la profundidad de la corrosión se toma en sus puntos nodales.

(0036) Aunque el método conforme a la invención se puede ejecutar para la determinación de uno o varios puntos defectuosos dentro de un conjunto de datos de referencia, con la finalidad de simplificar se hace referencia en la mayoría de los casos sólo a un punto defectuoso.
60

(0037) Especialmente, las geometrías de puntos defectuosos, que son la base para la determinación de los correspondientes conjuntos de datos de predicción de expertos, se define sobre los nudos de rejilla una rejilla de defecto bidimensional. A través de la representación bidimensional de los puntos defectuosos, las rutinas de expertos pueden trabajar más rápido que cuando se lleva a cabo la adaptación de la geometría de puntos
65

defectuosos sobre una rejilla tridimensional.

(0038) Para la simulación de la respectiva medición libre de destrucción de una nueva geometría de puntos defectuosos se traslada, por ejemplo, se interpola la rejilla defectuosa, especialmente, bidimensional, o bien, la correspondiente representación del parámetro, preferiblemente, sobre la rejilla del objeto, de manera que la superficie del objeto a ser representado se adapta a las profundidades de los puntos defectuosos de la geometría de puntos defectuosos. La simulación se calcula entonces sobre la rejilla del objeto, especialmente, tridimensional. Alternativamente, la simulación puede llevarse a cabo, igualmente, sobre una rejilla bidimensional o mediante un modelo de regresión, que se construye en un banco de datos con los correspondientes conjuntos de datos de medición reales o ya simulados. Para la simulación (de avance) del respectivo método de medición sobre la geometría de puntos defectuosos de expertos supuesta se usan, especialmente, métodos de elementos finitos, métodos de diferencias finitas y/o métodos de elementos de límites.

(0039) Una geometría de puntos defectuosos de partida que, alternativamente, se obtiene o se predetermina a través de una tabla de consulta, una comparativa del banco de datos o, especialmente, una ejecución de una sola vez, de una rutina de expertos, puede determinarse a través de un algoritmo de aprendizaje mecánico, especialmente, en forma de una red neuronal. Conforme a la invención, se crea, según semejante configuración, una geometría de puntos defectuosos de partida, especialmente, sobre una rejilla del objeto o sobre, al menos, una rejilla de defectos bidimensionales, mediante la inversión de, al menos, partes de los conjuntos de datos de referencia, mediante una red neuronal entrenada para estas funciones. La geometría de puntos defectuosos de partida puede representarse directamente sobre la rejilla del objeto o puede representarse a través de la misma, sin embargo, igualmente, puede estar presente en una representación del parámetro, por ejemplo, sobre una rejilla de defectos, al menos, bidimensional. Igualmente, es posible que la red neuronal emita un vector de resultado, cuyos elementos del vector contienen informaciones sobre la geometría de los puntos defectuosos. A través de una asignación de los elementos de vector a la rejilla del objeto se representan entonces sobre la misma los puntos defectuosos. Estos puntos defectuosos están descritos, por ejemplo, a través del hecho de que a las celdas de la rejilla del objeto se le asigna la propiedad de "ningún material" o "material con punto defectuoso". Allí donde está presente esta propiedad existe un punto defectuoso. La determinación de la geometría de puntos defectuosos de partida se lleva a cabo de tal modo a través de una inversión directa que, mediante la red neuronal sobre la base de los conjuntos de datos de referencia registrados mediante los respectivos distintos métodos de medición libres de destrucción, se confirma una posible geometría, que en los distintos métodos de medición libres de destrucción usados tiene como consecuencia los resultados de medición correspondientes.

(0040) Preferiblemente, una rutina de simulación, usando distintas geometrías de adecuación, generan datos de adecuación con los cuales se entrena una red neuronal para la inversión de los datos de medición. Los datos de adecuación comprenden un número de geometrías de adecuación que presentan el verdadero objeto (por ejemplo, una pared de tubo o conducto), así como, por ejemplo, puntos defectuosos en el objeto, costuras soldadas u otros elementos del objeto relevantes para los métodos de medición libres de destrucción, así como las simulaciones, ejecutadas sobre estas geometrías de adecuación, de los respectivos métodos de medición. Además, la rutina de simulación puede determinarse sobre las geometrías de adecuación de los datos de adecuación con distintas condiciones de funcionamiento de los métodos de medición libres de destrucción. Por ejemplo, para una geometría de adecuación se pueden simular distintos datos de adecuación para los distintos procesos de medición del método de medición libre de destrucción, por ejemplo, con distintas distancias del sensor con respecto al objeto. Los datos de adecuación pueden crearse también sobre distintas geometrías del objeto para una determinada forma de puntos defectuosos, por ejemplo, en una disposición en una costura soldada.

(0041) Preferiblemente, la red neuronal se entrena sobre la base de datos de un banco de datos, que contiene mediciones simuladas. Mediante el uso de mediciones ya simuladas se reduce la complejidad para la adecuación de la red neuronal, habida cuenta que dicha adecuación comprende entonces sólo la verdadera adaptación de la red neuronal y no adicionalmente la simulación de datos de adecuación. Además, semejante banco de datos puede contener una multitud de distintas geometrías de adecuación. Preferiblemente, en un correspondiente banco de datos se contienen de forma acumulada datos sobre geometrías del tubo que se dan con una especial frecuencia y/o modos de puntos defectuosos. Mediante el uso de datos de semejante banco de datos se entrena especialmente bien la red neuronal para reconocer geometrías de puntos defectuosos que ocurren a menudo.

(0042) Preferiblemente, los datos de adecuación obtenidos a partir de la simulación de las distintas geometrías de adecuación se cuidan en semejante banco de datos.

(0043) Preferiblemente, la red neuronal traspasa los datos de entrada con una resolución espacial bidimensional a una geometría de puntos defectuosos de partida con una resolución espacial tridimensional. Para ello, se usa preferiblemente una red neuronal con una capa o varias capas circunvolucionales (en inglés: convolutional layer) y/o una capa o varias capas circunvolucionales transpuestas (en inglés: transposed convolutional layer). Una capa de entrada de la red neuronal presenta de este modo una resolución espacial bidimensional, y a un punto de entrada de la capa de entrada se le puede asociar un vector con varias entradas. La red neuronal crea con estos datos de entrada una geometría de puntos defectuosos de partida tridimensionales. La geometría de puntos defectuosos de partida tridimensionales puede usarse de forma especialmente sencilla para el cálculo de un conjunto de datos de

predicción a través de la rutina de simulación. Una red neuronal puede presentar para cada conjunto de datos de referencia una capa de entrada respectiva.

(0044) Preferiblemente, se lleva a cabo una clasificación de puntos defectuosos. De este modo, a los puntos defectuosos reconocidos se asignan informaciones específicas de los puntos defectuosos. Los puntos defectuosos ser diferenciados, por ejemplo, en defectos de superficie como, por ejemplo, corrosión y defectos en el volumen como, por ejemplo, grietas, impurezas o defectos de desprendimientos/ laminaciones. Gracias a esto es posible describir los distintos tipos de puntos defectuosos, siempre que sea posible, en una adaptación posterior iterativa de la geometría de puntos defectuosos de partida a través de distintos modelos de puntos defectuosos. Mediante las informaciones adicionales puede ser más robusta, simplificarse y/o acelerarse la adaptación de la geometría de puntos defectuosos de partida en el método iterativo posterior.

(0045) Según una configuración del método conforme a la invención, se crea adicionalmente la rejilla del objeto de forma automatizada a partir de los conjuntos de datos de referencia. Para la determinación de la rejilla del objeto se lleva a cabo, primeramente, sobre la base de, al menos, partes de los conjuntos de datos de referencia, una clasificación de zonas libres de anomalías y zonas con anomalías del objeto, de manera que, especialmente, sobre la base de las informaciones previamente conocidas sobre el objeto se crea una rejilla del objeto de partida, usando la rejilla del objeto de partida, se calculan conjuntos de datos de predicción para los respectivos métodos de medición libres de destrucción, se lleva a cabo una comparación de, al menos, partes de los conjuntos de datos de predicción con respectivas partes de los conjuntos de datos de referencia, excluyendo las zonas con anomalías y, dependiendo de, al menos, una medida de exactitud, se emplea la rejilla del objeto de partida como la rejilla del objeto que describe la geometría del objeto o mediante la unidad informática, se lleva a cabo una adaptación iterativa de la rejilla del objeto de partida a la geometría del objeto en las zonas libres de anomalías.

(0046) Las zonas con anomalías de los conjuntos de datos de referencia son aquí zonas espaciales, a las que se les asignan por las zonas contiguas datos de medición que varían significativamente. Se parte del hecho de que estas anomalías proceden de los puntos defectuosos. Las zonas sin anomalías son, preferiblemente, zonas contiguas entre sí, en las cuales los valores de medición, medidos mediante el método de medición libre de destrucción, no varían o sólo lo hacen dentro de un cierto ámbito de tolerancia, en los cuales el gradiente de la variación se mantiene por debajo de determinados valores límites, la variación de los valores de medición individuales de un valor intermedio es menor que un valor de umbral determinado y/o la variación de un valor intermedio en una zona local de los valores intermedios de las zonas locales contigua está por debajo de un valor de umbral.

(0047) Para la determinación de la rejilla del objeto se puede crear, según la configuración conforme a la invención, una rejilla del objeto de partida, de manera que se usan las informaciones previamente conocidas sobre el objeto, en conductos, por ejemplo, el diámetro del conducto, así como el espesor de la pared. A partir de la rejilla del objeto de partida se simulan las mediciones adecuadas correspondientes al respectivo conjunto de datos de referencia. A continuación, se lleva a cabo una comparación de, al menos, partes de los conjuntos de datos de predicción con, al menos, las respectivas partes de los conjuntos de datos de referencia, de manera que las zonas con anomalías de los conjuntos de datos de referencia o del objeto se excluyen de la comparativa. Cuando los datos comparados coinciden con la suficiente exactitud, la rejilla del objeto de partida se considera como una representación lo suficientemente exacta de la forma real del objeto libre de defectos y puede usarse como base para la determinación de los puntos defectuosos. En otro caso, tiene lugar en la unidad informática una adaptación iterativa de la rejilla del objeto de partida a la geometría del objeto en las zonas libres de anomalías.

(0048) Para esta iteración, se crea, preferiblemente, una nueva rejilla del objeto de partida y se calculan para la misma nuevos conjuntos de datos de predicción. Una nueva comparación se lleva a cabo de, al menos, partes de los nuevos conjuntos de datos de predicción con, al menos, las respectivas partes de los conjuntos de datos de referencia excluyendo las zonas con anomalías, hasta que se alcanza o se cumple un criterio de interrupción del objeto para la adaptación iterativa, por ejemplo, en forma de una medida de exactitud. La rejilla del objeto de partida existente entonces se usa entonces como la rejilla del objeto que describe la geometría del objeto.

(0049) Para obtener una rejilla del objeto de partida que represente al objeto sin puntos defectuosos, investigado, en la sección evaluada o en su totalidad, se lleva a cabo, preferiblemente, una interpolación o extrapolación de informaciones de los conjuntos de datos de referencia y/o de la rejilla del objeto de las zonas sin anomalías en las zonas con anomalías. Por ejemplo, después de la clasificación de los conjuntos de datos de referencia en las zonas con anomalías y en las zonas sin anomalías, se pueden interpolar y/o extrapolar las informaciones de las zonas sin anomalías a las zonas con anomalías, y se puede usar un conjunto de datos de referencia de ayuda, que se obtiene de ese modo, en la determinación de la rejilla del objeto. También es posible, primeramente, crear una rejilla del objeto sólo para las zonas sin anomalías clasificadas. Esta rejilla del objeto presenta huecos en la zona de las zonas con anomalías, que a continuación se pueden cerrar mediante la interpolación o extrapolación fuera de las zonas sin anomalías. De este modo, se obtiene una rejilla del objeto que representa la geometría del objeto, que entonces puede ser usada para otros análisis de puntos defectuosos o geometrías de puntos defectuosos o en las zonas con anomalías.

(0050) Preferiblemente, en la clasificación de zonas sin anomalías de los conjuntos de datos de referencia se lleva a

cabo una asignación de una zona sin anomalías a, al menos, un elemento del objeto local previamente definido. Éste se usa durante la creación de la rejilla del objeto de partida, o bien, se incluye en la rejilla del objeto de partida. Este paso simplifica la creación de una rejilla del objeto de partida. Como se explica arriba, el objeto investigado mediante el método de medición libre de destrucción puede contener costuras soldadas, piezas montadas o adosadas o puede presentar otra geometría modificada localmente de cualquier otro modo previamente conocido. La creación de la rejilla del objeto puede facilitarse cuando se usan estas informaciones previamente conocidas. Para ello, se definen previamente los elementos correspondientes, como, por ejemplo, costuras soldadas, piezas adosadas, como elementos de apoyo, abrazaderas, elementos de refuerzo o, por ejemplo, ánodos protectores de una protección antioxidante catódica, así como manguitos incorporados con la finalidad de reparaciones, en su forma y/o extensión. Los resultados de medición de los métodos de medición libres de destrucción tienen en estas zonas un aspecto distinto por su naturaleza, al que tiene en zonas de una pared no modificada del objeto, por ejemplo, la pared del conducto en los conductos. Estas variaciones tienen, sin embargo, la misma forma y, en comparación con la mayoría de los puntos defectuosos, tiene una gran superficie. Además, son predecibles debido a que los elementos que causan las modificaciones son conocidos en su posición.

(0051) Mediante la especificación de los elementos locales, durante la clasificación se puede llevar a cabo un reconocimiento de si se trata, en este caso, por ejemplo, de una costura soldada o de una estructura de apoyo. El elemento así reconocido puede entonces usarse con su forma generalmente conocida o con su dimensión general durante la creación de la rejilla del objeto de partida o, posteriormente, puede ser añadido en los lugares correspondientes en la rejilla del objeto de partida, para adaptarlo a la forma real del objeto investigado.

(0052) De forma especialmente preferible, el respectivo elemento local, especialmente, en forma de una costura soldada, se describe mediante un modelo de geometría paramétrica. Mediante esto, la complejidad durante la creación de la rejilla del objeto se reduce claramente. Para ello, se usan las informaciones previamente conocidas sobre el elemento local. Sobre una costura soldada puede ser conocido, por ejemplo, que la misma se extiende en dirección del perímetro alrededor del objeto y se puede describir con suficiente exactitud mediante una anchura de la costura soldada, así como mediante un aumento de la altura. De este modo, se puede llevar a cabo una adaptación de un modelo de geometría paramétrica previamente definida de un elemento local a la forma local real del objeto mediante una variación de sólo pocos parámetros. El método para la creación de una rejilla del objeto se acelera mediante esto fundamentalmente. Especialmente, durante una adaptación iterativa de la rejilla del objeto de partida se puede producir una variación de únicamente un parámetro o de varios parámetros del modelo de geometría paramétrica. La variación de los parámetros individuales puede ser limitada, además, por determinados valores límites, dentro de los cuales se pueden modificar dichos parámetros. A través de semejante limitación se puede limitar el riesgo de obtener resultados físicos que no tengan sentido. La fiabilidad del método aumenta.

(0053) En la geometría de puntos defectuosos de partida supuestos, en la ejecución del método conforme a la invención, se determinan los conjuntos de datos de predicción de datos de medición correspondientes a los conjuntos de datos de referencia como conjuntos de datos de predicción de partida, especialmente, mediante simulación de una respectiva medición. La simulación de las mediciones individuales, libres de destrucción se ejecutan, por ejemplo, mediante un modelo de elementos finitos como cálculo de avance. En la simulación, por ejemplo, de una medición de flujo de dispersión se fijan los parámetros necesarios para ello según la medición real. Esto hace referencia, especialmente, a la dirección de magnetización, la fuerza del campo magnético y/o la distancia de los sensores sobre la superficie del objeto. Para una simulación de una medición EMAT se predeterminan, entre otros, igualmente, las fuerzas del campo magnético, las direcciones de magnetización y las posiciones del sensor. Sobre la base de la geometría de puntos defectuosos iniciales resulta entonces un correspondiente conjunto de datos de predicción de partida como medición de flujo de dispersión simulada. Este conjunto de datos podría compararse ya con el conjunto de datos de referencia del objeto, lo cual, en efecto, al principio o antes de la iteración, a menudo, no conduce a soluciones concluyentes, habida cuenta que la geometría de puntos defectuosos supuesta no es aún lo suficientemente exacta.

(0054) La geometría de puntos defectuosos iniciales se toma como geometría de puntos defectuosos de partida en el proceso de aproximación iterativo de las rutinas de expertos que están en competencia unas con otras. Las propias rutinas de expertos, por ejemplo, como módulos de programa propios sin interacción directa entre sí independientes entre sí y pueden equiparse, independientemente de una rutina de supervisión o un módulo principal, con recursos, especialmente, con tiempo de cálculo.

(0055) Partiendo de la geometría de puntos defectuosos desarrollados en un respectivo módulo de expertos se determina, especialmente, para cada una de estas geometrías, a su vez, conjuntos de datos de predicción de expertos. De este modo, para cada geometría de puntos de defectuosos de expertos que existe, especialmente, como conjunto de datos en 2D de valores de profundidad del punto defectuoso y/o como representación del parámetro, se crea o se asigna el respectivo conjunto de datos de predicción de expertos como mediciones simuladas. La simulación de las respectivas mediciones sobre la base de las respectivas geometrías de puntos defectuosos de expertos se lleva a cabo según el cálculo previamente descrito de los conjuntos de datos de predicción de partida. Especialmente, se llevan a cabo los cálculos sobre la base de las respectivas geometrías de puntos defectuosos de expertos, de forma paralela. Esto puede conllevar la construcción de un banco de datos en el cual se almacenan los datos de simulación que pertenecen a los respectivos puntos defectuosos, con la finalidad de

poder ahorrar tiempo de cálculo, más tarde y para otros datos similares.

(0056) Antes de la creación de los conjuntos de datos de predicción de expertos puede ser ventajoso, para el cálculo de la geometría de puntos defectuosos de expertos, el hecho de adaptar la rejilla que está en la base, especialmente, la rejilla de puntos defectuosos, dado el caso, también la rejilla del objeto, especialmente, afinarla parcialmente. Para ello, se pueden usar, especialmente, técnicas de transformación de rejilla (en inglés: "Mesh-morphing"), con las cuales la rejilla del objeto o del defecto se afina mediante el desplazamiento y/o la división del punto de la rejilla, especialmente, en las zonas de gradientes fuertes, para posibilitar una determinación más exacta de la geometría o, posteriormente, una simulación más exacta. En otras zonas con gradientes más débiles, la rejilla puede ser más gruesa, para ahorrar tiempo de cálculo. De este modo, la rejilla usada se adapta automáticamente para una evaluación óptima de la geometría de puntos defectuosos. Al mismo tiempo, gracia a esto se logra una reducción significativa del número de desconocidos, de manera que, a su vez, se ahorra tiempo de cálculo.

(0057) Además, según otra configuración según la invención, previamente, se puede transferir la representación del parámetro de una o varias geometrías de puntos defectuosos sobre la rejilla del objeto, de manera que, por un lado, se puede realizar en las rutinas de expertos una adaptación numérica menos complicada comparativamente de la geometría de puntos defectuosos, mientras que en la simulación de avance para el método de medición respectivo se puede contar con la mayor exactitud posible con la geometría del objeto.

(0058) Cuando la comparación entre los conjuntos de datos de referencia y los respectivos conjuntos de datos de predicción de expertos da como resultado una rutina de expertos, de manera que ésta, dado el caso, como se describió previamente, dependiendo de una función de adecuación, se encuentra más cercana a los conjuntos de datos de referencia que los conjuntos de datos de predicción de partida anteriores, de modo que la geometría de puntos defectuosos de expertos correspondiente se pone a disposición como geometría de puntos defectuosos de partida para las restantes y correspondientes rutinas de expertos. Partiendo de esta solución se empieza en un paso de iteración siguiente por esta geometría, a no ser que otra rutina de expertos haya encontrado una mejor solución, por ejemplo, durante la determinación de la propia geometría de puntos defectuosos que aún está funcionando; dicha solución se pone a disposición entonces para las demás o todas las rutinas de expertos.

(0059) En las rutinas de expertos que están, especialmente, en competencia entre sí son preferibles aquéllas en relación con los recursos de la unidad informática que está a disposición, que como se describe a continuación, son más exitosas en la aproximación a los datos de medición reales que otras rutinas de expertos que están en competencia. Los recursos de la unidad informática son, especialmente, el tiempo CPU o el tiempo GPU y/o una priorización en la ocupación del almacenamiento.

(0060) Ventajosamente, las rutinas de expertos funcionan de tal modo (sobre la unidad informática), en forma de competencia entre sí, que la distribución de los recursos de la unidad informática, especialmente, en forma del tiempo de cálculo, se lleva a cabo en una respectiva rutina de expertos, dependiendo de una cuota de éxito, con la cual se tiene en cuenta, especialmente, el número de las geometrías de puntos defectuosos de partida calculado por la rutina de expertos y puesta a disposición para una o varias otras rutinas de expertos, y/o dependiendo de una reducción de una función de adecuación, con la cual se tiene en cuenta, especialmente, el número de los conjuntos de datos de predicción de expertos creada para la reducción. La competencia de las rutinas de expertos resulta, especialmente, a través del hecho de que, por la parte del programa conformado como rutina de supervisión, se asignan a las respectivas rutinas de expertos, entonces, cada vez más rutinas, especialmente, en forma de tiempo de cálculo, preferiblemente, tiempo CPU o tiempo GPU, cuando éstas son más exitosas que otras rutinas de expertos. Una rutina de expertos es exitosa cuando ésta ha encontrado una geometría de puntos defectuosos provista de una medición que se adapta mejor al conjunto de datos de referencia, por ejemplo, una medición EMAT, que se pone a disposición de las otras rutinas de expertos.

(0061) De esto puede resultar, por ejemplo, que rutinas de expertos individuales, especialmente, exitosas obtengan más del 50% del tiempo de cálculo que está a disposición, lo cual reduce notablemente la duración total del método conforme a la invención. Al mismo tiempo, se puede predeterminar, por parte del programa, que ninguna rutina de expertos o individuales rutinas de expertos no lleguen por debajo de un determinado porcentaje del tiempo de cálculo, para evitar el problema de singulares o exóticas geometrías o resultados de puntos defectuosos de las rutinas individuales. De este modo, para el caso de que una rutina de expertos que haya sido exitosa hasta entonces encuentre sólo una solución local y no global, se puede encontrar una salida de la situación de bloqueo que surge del estado de la técnica.

(0062) La adaptación mediante las rutinas de expertos se lleva a cabo hasta que se cumple un criterio de interrupción. De este modo, se trata, por ejemplo, de una diferencia residual en relación con los datos de medición medidos y simulados. También se puede tratar de un criterio de interrupción externo, por ejemplo, sobre la base del tiempo de cálculo disponible o de un número de iteraciones, especialmente, prefijable o de un tiempo de cálculo, especialmente, prefijable o predeterminado, o determinado por el tiempo de cálculo disponible. El criterio de interrupción puede ser también una combinación de estos criterios.

(0063) Se ha descubierto que la exactitud de la determinación de los puntos defectuosos mejora cualitativamente

por el método conforme a la invención. Un cálculo, resultando del mismo, de la capacidad de carga máxima muestra que, por ejemplo, se pueden poner en funcionamiento conductos de un modo notablemente más económico, es decir, con presiones más elevadas. La exactitud de la determinación de puntos defectuosos aumenta notablemente. Las presiones de funcionamiento máximas que resultan de la geometría de puntos defectuosos simulados, según el método descrito previamente y a continuación pueden situarse a, al menos, un 10% - 20%, y especialmente, hasta un 50% más altas, lo cual reduce significativamente los costes de reparaciones y mantenimiento para el funcionamiento del conducto y sus operadores. Por primera vez, se puede realizar, ahora también para los conjuntos de datos MFL, una determinación adecuada del principio de nivel 2 ASME B31G-2012 (en inglés: "river bottom profile") para el algoritmo de fuerza restante (en inglés: "remaining strength algorithm").

(0064) Además, mediante el método conforme a la invención, es posible de forma mejorada, la estimación de la modificación, es decir, el desarrollo del punto defectuoso. La descripción espacial precisa de la geometría de defectos en una rejilla del objeto tridimensional permite, especialmente, con una simulación de avance basada en FEM, otra mejora de la exactitud del 10%-20%. Además, a través de la mejor diferenciación de grietas y puntos defectuosos debidos a la corrosión, se evita que un punto defectuoso debido a la corrosión identificado como grieta erróneamente se tenga que valorar in situ, por ejemplo, mediante una excavación.

(0065) Preferiblemente, se lleva a cabo una distribución de los recursos de la unidad informática, especialmente, en forma de tiempo CPU en una respectiva rutina de expertos, dependiendo del número de las geometrías de puntos defectuosos de partida puestos a disposición por esta rutina de expertos ara todas las rutinas de expertos. En este caso, se puede tratar, por ejemplo, de un número ranuras (en inglés: "slots") para el cálculo de los conjuntos de datos de predicción de expertos en forma de conjuntos de datos de medición simulados, del número de núcleos de procesadores o similares paralelos que procesan la función de cálculo. Además, puede estar previsto, en el contexto del producto de programa de ordenador que realiza el método conforme a la invención, que éste se adapte a los recursos existentes en las unidades informáticas, en forma de núcleos de procesador, espacio de almacenamiento, arquitectura de almacenamiento, tarjetas gráficas, etc. Mediante la priorización de rutinas de expertos especialmente preferibles y sus algoritmos, el reconocimiento de la geometría de puntos defectuosos reales es notablemente más rápido.

(0066) Para minimizar aún más el problema de las soluciones singulares, locales especialmente, para la determinación de la geometría del punto defectuoso o los puntos defectuosos, adicionalmente a un primer conjunto de datos de referencia sobre la base de un método de medición MFL, y a otro conjunto de datos de referencia sobre la base de otro método de medición, está previsto usar otro conjunto de datos de referencia sobre la base MFL, que es independiente del primer conjunto de datos de referencia MFL. Los conjuntos de datos MFL son entonces linealmente independientes, cuando se han creado mediante mediciones MFL con una magnetización del objeto acodada entre sí. Las magnetizaciones están acodadas entre sí, cuando las respectivas fuerzas de campo magnéticas inducidas intermedias en la zona investigada no se extienden paralelamente o de forma coincidente. Especialmente, el ángulo está entre 40° y 140°, preferiblemente, entre 80° y 100°, así como, de forma especialmente preferible, en 90°. Sobre la base de la geometría de puntos defectuosos de partida se determinan, de este modo, tres conjuntos de datos de predicción de partida, especialmente, mediante otra simulación MFL que tiene en cuenta la independencia lineal, es decir, especialmente, las distintas magnetizaciones, y asimismo, se usa una geometría de puntos defectuosos de expertos como geometría de puntos defectuosos de partida primeramente, cuando los determinados conjuntos de datos de predicción de expertos correspondientes para ambas magnetizaciones independientes, así como el conjunto de datos de predicción de expertos para el otro método de medición son más similares a los respectivos conjuntos de datos de referencia que los determinados conjuntos de datos de predicción de partida para ambas magnetizaciones y/o cuando una función de adecuación que tiene en cuenta los conjuntos de datos de predicción de expertos es mejorada. Mediante el procesamiento paralelo o consiguiente entre sí de ambos conjuntos de datos MFL independientes linealmente y del conjunto de datos de referencia de otro método de medición conformado, preferiblemente, como método EMAT y mediante la utilización de una geometría de puntos defectuosos de partida idéntica, cuyos datos de medición simulados, en relación con una similitud o una función de adecuación, tienen que ser mejores, en conjunto, el peligro de singularidades queda reducido aún más. Al mismo tiempo, mejora la calidad de los conjuntos de datos de predicción de partida que están disponibles para todas las rutinas de expertos. El número de las iteraciones puede reducirse, de este modo, aún más.

(0067) Especialmente, el primer conjunto de datos de referencia MFL se crea a través de una medición MFL con magnetización axial y el segundo conjunto de datos de referencia MFL se crea a través de una medición MFL con magnetizaciones en dirección del perímetro del tubo. En este caso, las magnetizaciones del tubo o también de un objeto son en ángulo recto entre sí, de manera que a partir de las mediciones de flujo de dispersión magnéticas se puede obtener un contenido de información máximo que, mediante la observación simultánea de los respectivos conjuntos de datos de referencia y mediante los conjuntos de datos de predicción de expertos simulados, durante el cálculo está a disposición en el perímetro completo. Los pasos del método descritos a continuación se producen teniendo en cuenta lo anterior, análogamente que con el uso de conjuntos de datos de referencia que surgen a causa de varias magnetizaciones independientes linealmente y otros métodos de medición.

(0068) Mediante el uso de conjuntos de datos de predicción de partida y/o de expertos sobre la base de un modelo de avance para la simulación del respectivo método de medición, especialmente, mediante un modelo de elementos

finitos se llevan a cabo rápidamente las simulaciones de medición. La simulación, por ejemplo, de las mediciones de flujo de dispersión sobre la base de las geometrías de puntos defectuosos de expertos puede ser realizada mediante un módulo de programa propio que, especialmente, es controlado y/o supervisado por una rutina de supervisión, y por el cual se solicitan separadamente las rutinas de expertos individuales. Se puede tratar también de varios
 5 módulos que se ponen a disposición repartidos por unidades informáticas individuales de una respectiva rutina de expertos.

(0069) Ventajosamente, después de una adaptación de la geometría de puntos defectuosos, se puede llevar a cabo un afinamiento de la rejilla del objeto y/o del defecto en las zonas en las cuales la profundidad del punto defectuoso
 10 o los puntos defectuosos supuestos sobrepasa un valor de umbral, pudiendo ser prefijable este valor de umbral, de manera que sólo los gradientes por encima de una determinada dimensión conducen a una modificación de la rejilla. En semejante afinamiento puede tenerse en cuenta, especialmente, el número total de los gradientes de una nueva geometría de puntos defectuosos de expertos, para alcanzar un equilibrio entre la adaptación de la respectiva rejilla, especialmente, de la rejilla del objeto y las operaciones de cálculo siguientes.

(0070) El afinamiento de la rejilla con la finalidad de una reducción de tiempo de cálculo puede llevarse a cabo, tanto ya sobre la base de un conjunto de datos de referencia inicial, como también antes del cálculo del conjunto de datos de predicción de expertos. También es posible para esto prever un módulo de programa individual o sub-módulos
 15 individuales de las respectivas rutinas de expertos.

(0071) Especialmente, el afinamiento de la rejilla del objeto y/o del defecto reduce, de forma especialmente preferible, mediante el desplazamiento del punto de la rejilla y/o de la división del punto de la rejilla, el tiempo CPU necesario, mediante una significativa reducción del número de las variables independientes, que se tienen que usar
 20 en el algoritmo de avance para la simulación de la medición libre de destrucción. Un desplazamiento del punto de la rejilla puede usarse, además, para una adaptación de la rejilla del objeto o del defecto.

(0072) Preferiblemente, como medida para la similitud de los conjuntos de datos de predicción de expertos y de referencia se usa una función de adecuación para causar, sobre la base de rutinas estándar y correspondientemente rápidamente, es decir ahorrando tiempo de cálculo, una comparación de los conjuntos de datos simulados y
 25 medidos.

(0073) Especialmente, la geometría de puntos defectuosos de partida o un indicador que la muestra se guarda en una zona de almacenamiento de la unidad informática accesible a todas las rutinas de expertos. Esta zona de almacenamiento, especialmente, a su vez, está bajo control de una rutina de supervisión, de manera que también a
 30 este respecto se puede llevar a cabo una priorización de las rutinas de expertos individuales.

(0074) En lugar de usar, cada vez al inicio, una nueva iteración sobre la geometría de puntos defectuosos de partida que, por ejemplo, están en una zona de almacenamiento central y accesible para todas las rutinas de expertos, en otra configuración del método conforme a la invención, se puede adaptar, al menos, una rutina de expertos al inicio
 35 de una nueva iteración, prescindiendo de adoptar la geometría de puntos defectuosos de partida, a su propia geometría de puntos defectuosos de expertos. Para ello, una rutina de expertos puede poseer una norma de la función, en la cual, por ejemplo, dependiendo de estrategias de búsqueda usadas en otras rutinas de expertos, se elija de forma adecuada una estrategia contraria. En semejante caso, se pueden influenciar indirectamente las rutinas de expertos. Semejante modo de proceder puede ser especialmente ventajoso cuando se comprueba que una rutina exitosa hasta ahora prefiere una solución irrealista. Ésta puede ser reconocida, por ejemplo, en base a valores no permitidos en relación con la profundidad de un punto defectuoso. Siempre que una rutina de expertos, que no lleve a cabo la adopción de la geometría de puntos defectuosos de partida, no ofrezca soluciones mejoradas, ésta se sitúa en una priorización inferior automáticamente, de manera que se le pone a disposición cada vez menos tiempo de cálculo.

(0075) Como criterio de interrupción o también como criterio de convergencia se puede considerados, preferiblemente, una modificación de la geometría de puntos defectuosos de partida que permanezca después de una multitud de iteraciones y que se describa como sustancial o, en general, la geometría de la rejilla del defecto y/o del objeto. La solución que se ha encontrado hasta entonces, por lo tanto, la mejor. Preferiblemente, el criterio de interrupción se elige de tal modo que las variaciones observadas en la simulación de los resultados de medición, que conllevan el afinamiento de la rejilla del objeto o del defecto, sustancialmente, por ejemplo, con un factor 2, están por debajo de las variaciones que resultan de la dispersión de medición individual y que, por ejemplo, están especificadas sobre la base de las denominadas "variables esenciales" del Estándar API 1163. Gracias a esto se consigue que la exactitud del modelo final se encuentre en la zona de la exactitud predeterminada por la propia medición. Correspondientemente, se usa, preferiblemente, como criterio de interrupción, una comparativa de la variación del conjunto de datos de predicción de expertos con la dispersión de medición del conjunto de datos real. El criterio de interrupción que actúa sobre una interrupción del programa y, especialmente, sobre una emisión o un almacenamiento de la geometría de puntos defectuosos de partida calculados hasta entonces puede especificarse, preferiblemente, mediante parámetros del programa ajustables previamente.

(0076) Especialmente, están a disposición de una rutina de expertos varios algoritmos para la adaptación de la

geometría de puntos defectuosos de expertos. De este modo, se puede tratar de supuestos del ámbito del aprendizaje mecánico, de la optimización estocástica, funciones del modelo empíricas y/o numéricas. Especialmente, se pueden emplear en las rutinas de expertos también valores de experiencias de las personas que evalúan. Preferiblemente, se llevan a cabo, en una o varias rutinas de expertos, como se describió anteriormente, variaciones específicas de los puntos defectuosos, es decir, se interpretan algoritmos individuales sobre la variación de la corrosión, las grietas y los defectos de laminación. De este modo, se crea un principio lo suficientemente diverso, con el cual se pueden tener en cuenta todas las soluciones orientadas al objetivo y bajo las condiciones de competencia.

(0077) El objetivo indicado al inicio se cumple mediante un método para la determinación de un límite de capacidad de carga de un objeto, al menos, en funcionamiento cargado de presión y, especialmente, conformado como oleoducto, gasoducto o conducto para agua, de manera que con el método se emplea un conjunto de datos que describen un punto o varios puntos defectuosos/s como conjunto de datos de entrada en un cálculo del límite de capacidad de carga conformado, especialmente, como modelado de avance, y el conjunto de datos de entrada, primeramente, según el método previamente o posteriormente descrito, se crea para la determinación de la geometría de un punto defectuoso. La representación ventajosa de la geometría de puntos defectuosos, especialmente, como geometría no parametrizada verdadera tridimensional, o bien, como superficie bidimensional con los respectivos valores de profundidad, convierte en irrelevantes las simplificaciones supuestas hasta ahora en la industria como necesarias, de manera que, también por esta razón, se garantiza un aumento de la exactitud de la determinación de puntos defectuosos en su conjunto, de un modo que no se había alcanzado hasta ahora.

(0078) Si hasta ahora la exactitud estaba limitada a la indicación del punto de la profundidad máxima del punto defectuoso, ahora el perfil en su totalidad se determina con una mayor exactitud. Normalmente, la exactitud de la profundidad máxima se reduce a la medida alcanzable dependiendo de la exactitud de medición, es decir, aprox. $\pm 5\%$ del espesor de la pared, en comparación con el hasta ahora aprox. $\pm 10\%$ del espesor de la pared en el "dimensionado" (en inglés: "Sizing"), según el estado de la técnica descrito al inicio. En efecto, la predicción del límite de la capacidad de carga, dependiendo de la geometría del punto defectuoso, precisamente en casos críticos, alcanza en la exactitud aumentos desde, por ejemplo, los hasta ahora $\pm 50\%$ ahora hasta el $\pm 5\%$. La ventaja conforme a la invención está así, especialmente, en la representación de la geometría de puntos defectuosos adecuada alcanzada por primera vez, que hace posible precisamente este aumento.

(0079) Otras ventajas y detalles de la invención pueden extraerse de la siguiente descripción de las Figuras. Esquemáticamente se muestran representadas:

- Fig. 1 una determinación de los puntos defectuosos según el estado de la técnica,
- Fig. 2 una representación esquemática de un método conforme a la invención,
- Fig. 3 una explicación en detalle de una parte de la Fig. 2,
- Fig. 4A-4F conjunto de datos de referencia y resultado de un método conforme a la invención en comparación con un escaneo de geometría correspondiente,
- Fig. 5 representación esquemática de un afinamiento de la rejilla como parte de un método conforme a la invención,
- Fig. 6 resultado de un método conforme a la invención,
- Fig. 7A-7E conjunto de datos usado y resultado de un método conforme a la invención,
- Fig. 8 un diagrama de flujo de un ejemplo de ejecución de un método conforme a la invención,
- Fig. 9 una muestra de una representación del parámetro de una costura soldada.

(0080) Las características individuales de los ejemplos de ejecución descritos a continuación pueden conducir, en combinación con las características de las reivindicaciones independientes, también a otras configuraciones conforme a la invención.

(0081) En el estado de la técnica se lleva a cabo la evaluación, por ejemplo, de datos MFL de un tubo según la Fig. 1 mediante la definición, especialmente, también basada en la experiencia, de "cajones" (en inglés: "Boxen"). Los "Boxen" representados en la representación poseen respectivas dimensiones en longitud, anchura y profundidad. Los ejes "x" e "y" están representados en unidades de metros ([m]). Una comprobación de esta geometría de puntos defectuosos real que está en la base de esta evaluación, mediante escaneo de láser, es decir, mediante una medición directa, ha dado como resultado que la "burst pressure" determinable a causa de la geometría de puntos defectuosos supuesta por la evaluación de datos MFL, con 4744,69 kPa, asciende sólo al 55.2% de la "burst pressure" calculada a causa de la geometría real. En el estado de la técnica, la presión de funcionamiento para un

funcionamiento seguro del conducto, que resulta a causa de la evaluación basada en la experiencia en 3621,29 kPa, está claramente por debajo de una posible presión de funcionamiento segura.

(0082) En un método conforme a la invención se representa, según un ejemplo de ejecución, la superficie de un tubo a través de una superficie de transformación (en inglés: "Mesh") en 2D. La geometría de puntos defectuosos puede ser descrita parametrizada como vector de valores profundos (D), que están sobre una rejilla del defecto (5) (Fig. 5). Esta geometría de puntos defectuosos, sobre la base de un resultado para una función de adecuación ($F(X_1...X_n)$) que tiene en cuenta los datos de medición y simulación que pertenecen a la respectiva geometría, se compara con la geometría de puntos defectuosos de partida. De este modo, se supone que cuanto menor es el valor de una función de adecuación, más cercana está la geometría de puntos defectuosos de expertos supuesta a la geometría real:

$$F(x_1 \dots x_n) = \sum_i \|Y_{cat}^i(x_1 \dots x_n) - Y_m^i\| + R(x_1 \dots x_n)$$

(0083) De este modo, i es el número de los conjuntos de datos a ser tratados simultáneamente (conjuntos de datos reales o simulados), Y_{cat}^i es el resultado de una simulación de la correspondiente medición i , Y_m^i son los datos medidos de los respectivos conjuntos de datos de referencia, y $R(x_1...x_n)$ es un término de regularización, con el cual se emplean ambivalencias, por ejemplo, a causa de varios mínimos, y se aplica como sigue:

$$R(x_1 \dots x_n) = \alpha \|(x_1 \dots x_n)\|,$$

siendo α un término de escalada.

(0084) El proceso del método conforme a la invención está descrito, al menos, por secciones, a continuación, según la Fig. 2, y una mayoría de las rutinas de expertos (11) que son paralelas y están en competencia, se describen solamente con un bloque (14).

(0085) Como conjuntos de datos de entrada pueden unirse, por ejemplo, varios procesos del mismo rascatubos de conductos MLF según el "Box" (2). Ambos conjuntos de datos (1) pueden ser filtrados previamente con la finalidad de una mejor unión y pueden ser adaptados el uno al otro (paso del método 3), por ejemplo, para reducir posibles artefactos o ruidos de fondo. Además, se prepara otro conjunto de datos (4) sobre la base de otro método de medición como adicional conjunto de datos de referencia en el correspondiente "Box" (3), y se usan filtrados con la finalidad de la adaptación a estructuras de rejillas idénticas, de manera que, según el paso del método 6, están disponibles dos conjuntos de datos de referencia adaptados, que se crearon sobre la base de distintos métodos de medición libres de destrucción.

(0086) Conjuntos de datos adaptados los unos a los otros pueden ser tratados en común, y el método conforme a la invención realiza el tratamiento simultaneo de los conjuntos de datos mediante el uso de una función de adecuación, que tiene en cuenta los conjuntos de datos a ser considerados.

(0087) En el paso 7 se accede a los conjuntos de datos de referencia existentes en el paso 6, para lo cual en el paso 8 se determina, primeramente, una geometría de puntos defectuosos iniciales como geometría de puntos defectuosos de partida. Esto se lleva a cabo, como se describió previamente, sobre la base de una red neuronal, en la cual se almacenan los conjuntos de datos de referencia como conjunto de datos de entrada.

(0088) La solución de la red neuronal se pone a disposición entonces como una o varias geometrías de puntos defectuosos de partida ($x_1...x_n$) para los módulos de expertos individuales. Previamente, con la finalidad de una reducción del tiempo de cálculo, se puede mantener el número de los valores del parámetro que describen las geometrías de puntos defectuosos de manera que sea lo menor posible. Esto se alcanza, por ejemplo, mediante una adaptación a la rejilla dinámica. Habida cuenta que el número de los valores de profundidad se corresponde con el número de puntos de nudos en la rejilla del defecto (5), el número de nudos puede ser al mismo tiempo también el número de los parámetros de puntos defectuosos. Comenzando por una rejilla comparativamente gruesa, la misma se afina sucesivamente en zonas relevantes.

(0089) Por ejemplo, para una distancia de punto nodal predeterminado de, por ejemplo 14 mm, de una dimensión de celda de la rejilla que conlleva lo anterior de 14 mm x 14 mm y valores de límite de puntos defectuosos del 30%, 50% y 80% del espesor de la pared, se puede lograr el afinamiento representado en la Fig. 5 en la zona de la rejilla relevante, y se dividen sucesivamente aquellas celdas que sobrepasan los valores de profundidad existentes. La deformación de la rejilla se correlaciona entonces con la geometría de puntos defectuosos supuesta, es decir, en las zonas de gradientes grandes se encuentra un número mayor de puntos de rejilla.

(0090) Después de que se selecciona ahora una rejilla de puntos defectuosos que se pone a disposición para todas las rutinas de expertos, se calcula a continuación en el paso 14, de forma específica del punto defectuoso en las

respectivas rutinas de expertos, una nueva geometría de puntos defectuosos de expertos y se comprueba bajo 14.1, si ésta se tenga que poner a disposición de las otras rutinas de expertos. Este es el caso, cuando, como se describió previamente, por ejemplo, una función de adecuación se ha mejorado y aún ningún criterio de interrupción finaliza la búsqueda de los puntos defectuosos. En este caso, se continua con la o con las geometría/s de puntos defectuosos
 5 en la iteración, que se ponen a disposición, entonces, especialmente, de todas las rutinas de expertos. En otro caso, se finaliza en 14.2 el método con la determinación de las geometrías de puntos defectuosos, y especialmente, con la indicación de la exactitud de la solución. Complementariamente, se puede calcular sobre la base de las geometrías de puntos defectuosos de la "burst pressure" encontradas.

10 (0091) En la unidad informática se simula, según el método conforme a la invención, el proceso del flujo de trabajo de un grupo de rutinas de expertos (11), que están en competencia entre sí. Para ello, el programa puede presentar distintos módulos que pueden ajustar datos que son independientes entre sí, y especialmente, datos no sincronizados entre sí, en determinadas zonas de la unidad informática, para que éstos sean continúen siendo tratados allí. Esto se lleva a cabo, especialmente, bajo la vigilancia de una rutina de supervisión (9) (Fig. 3). Una multitud de rutinas de expertos (11) mantiene así un número de ranuras (en inglés: "slots") de cálculo (13),
 15 dependiendo del éxito definido previamente, es decir, por ejemplo, el número de geometrías de puntos defectuosos de partida registradas en una zona de almacenamiento común (12), para crear las respectivas geometrías de puntos defectuosos de expertos y/o para poder llevar a cabo las correspondientes simulaciones MFL, o en el caso de un módulo de simulación MFL independiente, permitir que se lleven a cabo. Esto se corresponde con el bloque (14) según la Fig. 2, de manera que el mismo es un ejemplo de varias rutinas de expertos (11) (Fig. 3). Partiendo de las ranuras de cálculo (13) individuales, según el ejemplo de ejecución presente, se llevan a cabo las simulaciones de los datos de medición que se adaptan a las geometrías de puntos defectuosos de expertos individuales, con la finalidad de crear los conjuntos de datos de predicción de expertos, igualmente, bajo la vigilancia de la rutina de supervisión (9) en los módulos de simulación (16). Cuantas más ranuras (13) estén disponibles para una rutina de expertos,
 20 expertos, mayor es la parte de recursos informáticos para esta rutina de expertos. Preferiblemente, el número de los módulos de programa previstos para ejecutar las simulaciones es igual al número de ranuras. La rutina de supervisión (9) vigila el número de las iteraciones y las modificaciones, resultantes de las anteriores, de la geometría de puntos defectuosos de partida y vigila además si se alcanza un correspondiente criterio de interrupción. A continuación, se emite el resultado según el bloque 17, que se corresponde con el bloque 14.2 de la Fig. 2.

30 (0092) El número de ranuras de cálculo (13) que están a disposición para una rutina de expertos (11) y las rutinas de simulación puesta a disposición a continuación pueden variar de tal modo que una primera rutina de expertos pueda aprovechar, por ejemplo, hasta un 50% del tiempo de cálculo total disponible para las ranuras de cálculo y las rutinas de simulación.

35 (0093) En la zona de almacenamiento (12) se almacenan, como se representa, las geometrías de puntos defectuosos de partida. De este modo, se puede tratar de una zona de almacenamiento accesible a las rutinas de expertos (11). Allí se pueden guardar tanto los archivos de registro de las rutinas de expertos (11) y la rutina de supervisión (9), como las indicaciones a las rutinas de expertos (11), que se emplean entonces por las rutinas de expertos de forma autónoma. Por ejemplo, se puede tratar en este caso de una orden de interrupción, que se sitúa al alcanzarse el criterio de interrupción.

45 (0094) Preferiblemente, las rutinas de expertos (11) son módulos de programas independientes, que crean nuevas geometrías de puntos defectuosos de expertos y que las ajustan en las rutinas de simulación (16). Además, en las rutinas de expertos (11) se puede crear la función de adecuación representada al inicio sobre la base de los conjuntos de datos de predicción de expertos, y se pueden comparar con los conjuntos de datos de predicción de partida almacenados en la zona (12). Siempre que los conjuntos de datos de predicción de expertos sean más similares, en su conjunto, a los conjuntos de datos de referencia que los conjuntos de datos almacenados en la zona (12), estos conjuntos de datos de predicción de expertos se usan entonces como nuevo conjunto de datos de predicción de partida.
 50

(0095) Por ejemplo, se crea en las rutinas de expertos (11) una nueva geometría de puntos defectuosos. Para ello, se pueden usar algoritmos de aprendizaje mecánicos o reglas empíricas. Ventajosamente, sin embargo, para una convergencia mejorada de las soluciones está prevista la realización de, al menos, dos rutinas de expertos de base
 55 que trabajan específicamente según el punto defectuoso, según el tipo del punto defectuoso, como se describe a continuación.

(0096) Estas estrategias de búsqueda realizadas, preferiblemente, siempre en un método conforme a la invención, se basan, para la determinación de una geometría de puntos defectuosos basada en la corrosión, en una distribución de probabilidad supuesta $p(x,y)$ de puntos de rejilla, cuyo valor profundo dan como resultado una reducción máxima de una función de adecuación.

(0097) La función de probabilidad se usa para identificar puntos de rejilla $N(x_n, y_n)$. En lugar de puntos de rejilla (x_n, y_n) también se puede considerar la representación del parámetro, ya usada previamente, del grupo de puntos defectuosos $(X_1...X_n)$ como objeto de la distribución de probabilidad y , con la finalidad de una explicación más sencilla en la distribución de probabilidad se hace referencia a continuación a los puntos de rejilla $N(x,y)$ o bien
 65

(x_n, y_n).

(0098) En cada uno de los puntos observados, la función de profundidad, que aquí describe la profundidad (D) de la corrosión en el punto de la rejilla, varía en ΔD , de forma que la primera cifra de la modificación se distribuye de forma generada aleatoriamente. También el número de los puntos (N) elegidos puede elegirse de forma basada aleatoriamente:

$$D_{\text{nuevo}}(x, y) = \begin{cases} D(x_n, y_n) \mp \Delta D, & \text{para puntos seleccionados} \\ D(x, y), & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

(0099) Con una selección de la función de probabilidad $p(x, y)$ se pueden realizar las distintas estrategias de expertos, por ejemplo:

$$p(x, y) = \frac{D(x, y)}{\|D(x, y)\|}$$

(0100) Este algoritmo realiza una variación de la profundidad de puntos defectuosos, con el cual los puntos de rejilla son preferibles con la mayor profundidad. Otra estrategia para un desarrollo de la geometría de puntos defectuosos de expertos basado en la corrosión puede ser como sigue:

$$p(x, y) = \frac{H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)}{\|H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)\|}$$

(0101) Semejante algoritmo varía la geometría de puntos defectuosos en posiciones, en las cuales la señal de medición MFL simulada $H_{\text{el mejor}}$, para la mejor solución conocida posee la mayor diferencia con respecto a la señal H_m medida.

(0102) Basándose en esto, se pueden construir mediante variaciones del número de los puntos de rejilla a ser considerados y de las distintas rutinas de expertos ΔD ó de sus algoritmos. Por ejemplo, se pueden usar las siguientes seis rutinas de expertos para el desarrollo de los puntos defectuosos basados en la corrosión:

1. $p(x, y) = \frac{D(x, y)}{\|D(x, y)\|}$, N = 1 y $\Delta D = 1\%$ espesor de pared
2. $p(x, y) = \frac{D(x, y)}{\|D(x, y)\|}$, N = 2 y $\Delta D = 5\%$ espesor de pared
3. $p(x, y) = \frac{D(x, y)}{\|D(x, y)\|}$, N = 3 y $\Delta D = 5\%$ espesor de pared
4. $p(x, y) = \frac{H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)}{\|H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)\|}$, N = 1 y $\Delta D = 1\%$ espesor de pared
5. $p(x, y) = \frac{H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)}{\|H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)\|}$, N = 2 y $\Delta D = 5\%$ espesor de pared
6. $p(x, y) = \frac{H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)}{\|H_{\text{el mejor}}(x, y) - H_m(x, y)\|}$, N = 3 y $\Delta D = 5\%$ espesor de pared

(0103) Para una rutina de expertos que es adecuada para la variación de un punto defectuoso basado en las grietas, se pueden usar las siguientes normas de función:

- La profundidad del punto defectuoso se reduce o aumenta, sobre una base aleatoria, en una cantidad determinada, preferiblemente, por ejemplo, en un 1 ó 2% del espesor de la pared del objeto,
- La posición de todos los puntos de la grieta varía en una dirección elegida al azar, y/o
- Una línea que describe una grieta se prolonga o se acorta por la posición de los nudos de la rejilla sobre la rejilla del objeto o del defecto.

(0104) Una rutina de expertos que describe un defecto de laminación puede trabajar según las siguientes normas funcionales:

- Sobre la base de la descripción del parámetro en 2D de un defecto de laminación se varían los valores pertenecientes a los nudos de la rejilla por pasos en un 5% en una u otra dirección, con la finalidad de variar la posición de la laminación; esto puede suceder sólo para una cantidad parcial de lo conocido de la descripción en 2D de la laminación o del defecto de laminación,
- Los puntos elegidos aleatoriamente (puntos de la rejilla) con valores distintos a cero, que en la cercanía de los puntos tienen valores de cero, pueden ponerse a cero (reducción de la expansión de la laminación),

- Los puntos de rejilla elegidos aleatoriamente con valores de cero, que se pueden encontrar en la cercanía de los puntos de rejilla con valores diferentes a cero, pueden ponerse con el valor de cercanía correspondiente, mediante lo cual la laminación aumenta, y/o
- Todos los valores en la rejilla pueden moverse en una dirección elegida al azar, mediante lo cual se produce una modificación de la posición de la laminación a lo largo de la superficie del conducto.

(0105) La rutina (9) de supervisión representada en la Fig. 3 tiene, como se describió, especialmente, dos funciones: por un lado, se comprueba que se alcance el criterio de interrupción y, por otro lado, se lleva a cabo la asignación de los recursos de la unidad informática entre los expertos individuales, basándose en sus éxitos. Una medición para el éxito es

$$P = \frac{\Delta F}{N},$$

de manera que ΔF es la reducción de la función de adecuación (F) a través del resultado de la respectiva rutina de expertos, y en este caso, ahora N es el número de las simulaciones necesarias para ello. Una valoración de las rutinas de expertos n puede considerarse como

$$R_n = \frac{P_n}{\sum P_i}.$$

El número de las ranuras de cálculo (Ns) para una rutina de expertos en una iteración es entonces

$$N_s = \text{int}(R_n N_{\text{todos}}),$$

de manera que N_{todos} es el número de todas las ranuras disponibles.

(0106) En las rutinas de simulación (16) se simulan las respectivas mediciones libres de destrucción para las geometrías de puntos defectuosos de expertos. Una rutina de expertos puede iterarse hasta que encuentra una solución, cuyos conjuntos de datos de predicción de expertos son mejores que los conjuntos de datos de predicción de partida almacenados en la zona (12). Cuando éste es el caso, la rutina de expertos (11), partiendo de la solución ya mejorada, puede intentar alcanzar mejores soluciones.

(0107) Un error (E) resultante para las observaciones individuales de los conjuntos de datos simulados y medidos puede resultar de los errores de los respectivos conjuntos de datos en las calculaciones individuales:

$$E = \sum_i \|Y_{cal}^i(D) - Y_m^i\|,$$

de manera que Y_m^i y Y_{cal}^i representan los campos de medición previamente descritos, respectivamente medidos y simulados en las geometrías de puntos defectuosos ($x_1 \dots x_n$).

(0108) Para demostrar la eficiencia del método propuesto, se llevó a cabo una multitud de escenarios de tests, de manera que a continuación, según las Fig. 4A y 4B, se usaron los datos de dos series de inspección MFL, que se llevaron a cabo con magnetizaciones independientes linealmente entre sí. La Fig. 4A muestra, con una fuerza de señal entre 22,2 y 60,6 kA/m datos de una medición MFL real con magnetización que se extiende en dirección axial, mientras que dichos datos resultan de una medición que se lleva a cabo en dirección del perímetro, según la Fig. 4B (fuerza de la señal 22,2 hasta 91,1 kA/m). Las líneas del contorno están distribuidas en ambas representaciones homogéneamente por la zona indicada. Adicionalmente se toman como referencia dos conjuntos de datos obtenidos mediante un método EMAT, como conjunto de datos de referencia, de manera que el conjunto de datos representado en la Fig. 4C muestra la señal de recepción de un transformador de recepción que detecta reflexiones a causa de puntos defectuosos y el conjunto de datos de referencia representado en la Fig. 4D muestra la correspondiente señal de transmisión de un transformador de referencia. Están representadas las respectivas señales normalizadas en forma de cuentas (en inglés: "Counts"). Ambos conjuntos de datos EMAT se ponen a disposición, después de su tratamiento que comprende, en el caso presente, una serie de transformaciones de Fourier, mediante una respectiva capa de entrada como datos de entrada para una red neuronal. Igualmente, se ponen a disposición de la red neuronal ambos conjuntos de datos MFL, a través de las respectivas capas de entrada.

(0109) A través de la red neuronal se determinó sobre la unidad informática una geometría de puntos defectuosos inicial, que se mejoró a continuación iterativamente hasta alcanzar un criterio de interrupción. El resultado del método conforme a la invención está representado en la Fig. 4E, que muestra la profundidad de posibles puntos defectuosos en el lado interior de la sección del conducto observada. Gracias al método conforme a la invención resulta una coincidencia grande con la geometría (Fig. 4F) real registrada por un escaneo de láser. Tanto en la Fig. 4E, así como también en la Fig. 4 F se caracteriza mediante las líneas de contorno una zona de 0 hasta 60% de pérdida de metal de la pared del tubo. La combinación de los datos de medición MFL y EMAT, en el método

conforme a la invención, conduce, en el caso presente, más rápidamente a un resultado que si, por ejemplo, sólo se hubieran usado datos MFL. El ahorro de tiempo está en aprox. un 20%. Al mismo tiempo, la observación combinada de ambos métodos de medición distintos muestra que los puntos defectuosos detectados en el caso presente están basados solamente en la corrosión.

5 (0110) Sobre la base de la observación convencional con el registro de la geometría de puntos defectuosos, representada en un resultado en la Fig. 1 y establecida en el estado de la técnica, resulta la mencionada “burst pressure” de 4744,69 kPa. Sobre la base del método conforme a la invención, para el conjunto de datos MFL y EMAT que son la base de la Fig. 1, resulta la geometría de puntos defectuosos mostrada en la Fig. 6 (líneas de
10 contorno a 2 mm de profundidad), y basándose en esto, se obtiene una “burst pressure” de 8543,46 kPa. Ésta supone, en el caso presente, hasta un 99,4% de la “burst pressure” que se determinó a causa de la geometría de puntos defectuosos reales registrados por el escaneo de láser. Según esto, se puede poner en funcionamiento un conducto supervisado por el método conforme a la invención con una presión de funcionamiento segura de 6520,53 kPa. De este modo, en comparación con la presión de funcionamiento segura de 3621,29 kPa, resultan ventajas
15 notables para el explotador del conducto, a causa del aprovechamiento conforme al estado de la técnica (Fig. 1). Mediante el uso adicional del conjunto de datos de referencia EMAT, en el caso presente, no se ha empeorado, ni mejorado el resultado, en comparación con la observación sólo de los conjuntos de datos MFL, habida cuenta que, según el método conforme a la invención, en la sección del tubo observado no existe ninguna grieta, ni ninguna laminación o ningún defecto de laminación, que hubieran influido negativamente en la observación de la “burst pressure”.

(0111) Las Figuras 7A hasta 7E muestran, a modo de ejemplo, los conjuntos de datos usados en otro ejemplo de ejecución de un método conforme a la invención, y se trata, en este caso, de un punto defectuosos creado artificialmente de un tubo de prueba. La Fig. 7A muestra una señal MFL (señal MFL-C) que ha surgido con una magnetización que se prolonga en dirección del perímetro de la sección del conducto investigado. A partir de otra
25 medición MFL con una magnetización, independiente de la anterior linealmente, en dirección axial surge el conjunto de datos representado en la Fig. 7B. Estos dos conjuntos de datos de referencia se tienen en cuenta, junto con un conjunto de datos de un método EMAT, en la valoración. Al método EMAT pertenecen los datos de transmisión representados en la Fig. 7C, así como los datos de eco representados en la Figura 7D, para un transformador de referencia o un transformador de recepción. Partiendo de éstos dos distintos métodos de medición libres de destrucción, se encontró el perfil de corrosión sencillo, representado según la Fig. 7E. Éste describe, en el caso
30 presente, un punto defectuoso sencillo, solamente basado en la corrosión.

(0112) La Fig. 8 muestra el transcurso de una posible implementación del método conforme a la invención. Sobre la base de los datos de medición de una o varias mediciones de calibración con un método de medición libre de destrucción en un objeto de calibración de geometría conocida, especialmente, con puntos defectuosos de geometrías conocidas, se crea un modelo para el sensor que trabaja libre de destrucción. Con una estimación de las propiedades de material relevantes del objeto investigado se crea una rutina de simulación. Esto puede suceder mediante la predeterminación de parámetros conocidos que representan las propiedades de material, así como las
40 propiedades del sensor usado. Alternativamente o adicionalmente puede llevarse a cabo una adaptación iterativa de los parámetros, hasta que los resultados de la rutina de simulación para el método de medición libre de destrucción empleado, sobre la base de la geometría conocida del objeto de calibración, coinciden con la suficiente exactitud con los datos de medición de la medición de calibración. La rutina de simulación puede ser preparada también y reutilizarse para varias mediciones mediante el método de medición libre de destrucción.

(0113) Sobre la base de una o varias mediciones con uno o varios métodos de medición libres de destrucción se crea/n uno o varios conjunto/s de datos de referencia. La Fig. 8 muestra la creación de un conjunto de datos de referencia sobre la base de varios procesos de medición. Sobre la base del conjunto de datos de referencia se lleva a cabo una clasificación en zonas libres de anomalías y en zonas con anomalías. Mediante los usos de dos o varios
50 conjuntos de datos de referencia, que se obtuvieron sobre la base de distintos métodos de medición libres de destrucción, se puede mejorar la clasificación de nuevo, de tal modo que los métodos de medición individuales para determinados puntos defectuosos son más sensibles que para otros.

(0114) Sobre el fundamento de las zonas libres de anomalías y usando las rutinas de simulación se crea una rejilla del objeto que representa la geometría intacta del objeto. Para ello, se pueden usar también informaciones de procesos de medición anteriores en el objeto entonces aún sin puntos defectuosos o con pocos puntos defectuosos. Para esto, la rejilla del objeto puede crearse en las zonas sin anomalías y, a continuación, puede ser completada mediante extrapolación y/o interpolación en las zonas con anomalías. También es posible llevar a cabo una interpolación y/o extrapolación sobre la base de los conjuntos de datos de referencia desde las zonas libres de anomalías a las zonas con anomalías.
60

(0115) La creación de la rejilla del objeto se lleva a cabo mediante un proceso iterativo. Una primera rejilla del objeto de partida se recomienda, se evalúa o, por ejemplo, se predetermina sobre la base de una geometría del objeto evalúa. Ésta se adapta en un método iterativo. Una rejilla del objeto de partida puede presentar, por ejemplo, una costura soldada según aquella representada en la Fig. 9 en una sección transversal. La rejilla de partida puede ser adaptada iterativamente hasta que presente una forma que represente la costura soldada.
65

(0116) Para acelerar el método se puede usar, especialmente, también, una descripción paramétrica de la costura soldada mediante un modelo de geometría paramétrico. La Fig. 9 muestra semejante modelo de geometría paramétrico. En este modelo se describe la forma de la costura soldada mediante un número pequeño de parámetros, en el caso presente, siete. Los parámetros describen el espesor de pared del objeto (z_5), la expansión respectiva de la costura soldada sobre ambos lados (z_3, z_6), la elevación de la costura soldada (z_1, z_7), así como la anchura y profundidad de las muescas en la costura soldada (z_2, z_4). La rejilla del objeto puede variarse así en la zona de la costura soldada mediante la adaptación de un número pequeño de parámetros. De este modo, se aprovechan informaciones previamente conocidas sobre una forma general de una zona del objeto, en este caso, una costura soldada. Adicionalmente, se pueden predeterminar para los parámetros individuales condiciones límites. Mediante ello, se excluyen resultados físicamente no razonables o imposibles. En la Fig. 9, los parámetros (z_2, z_3, z_5 y z_6), por ejemplo, no razonables pueden ser negativos, z_4 puede ser razonable no siendo mayor que z_5 , etc. Los valores del parámetro pueden determinarse mediante el siguiente problema de optimización:

$$\{z_1 \dots z_n\} = \arg \min \sum_i |Y_{cal}^i(z_1 \dots z_n) - Y_m^i|$$

bajo condiciones límites para $\{z_1 \dots z_n\}$ con señal medida con Y_m^i de la respectiva medición, señal calculada con Y_{cal}^i para la respectiva medición. Los valores para los parámetros pueden determinarse a través de algoritmos de optimización sin derivación, por ejemplo, mediante una búsqueda aleatoria. Para acelerar el método se puede fijar una variabilidad de los parámetros por pasos fijos, preferiblemente, definida como función del espesor de pared. Por ejemplo, se puede llevar a cabo una variabilidad en por pasos, que comprenden el 1% del espesor de pared.

(0117) A causa del método conforme a la invención se pueden indicar de forma claramente más realista el estado de un tubo, y con ello, la presión que se puede ejercer para un funcionamiento seguro del conducto, mientras que la seguridad del funcionamiento queda garantizada, igualmente. Mediante el método conforme a la invención con las rutinas de expertos que compiten por los recursos de la unidad informática se puede poner a disposición de los operadores de los conductos semejante resultado con más rapidez que en el estado de la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación de la geometría de uno o varios puntos defectuosos reales, investigados de un objeto metálico y, especialmente magnetizable, especialmente, un tubo o un tanque, mediante, al menos, dos conjuntos de datos de referencia del objeto creados sobre la base de distintos métodos de medición libres de destrucción,
- de manera que el objeto, al menos, parcialmente, se representa sobre una rejilla del objeto o, al menos, en una rejilla del objeto bidimensional, preferiblemente, tridimensional, en una unidad informática,
 - comprendiendo una determinación de, al menos, una geometría de puntos defectuosos iniciales como geometría de puntos defectuosos de partida,
 - determinación de los respectivos conjuntos de datos de predicción como conjuntos de datos de predicción de partida sobre la base de la geometría de puntos defectuosos de partida, mediante la simulación o asignación de una medición que se adapta al respectivo conjunto de datos de referencia,
 - adaptación iterativa de la geometría de puntos defectuosos de partida a la geometría del/ de los punto/s defectuoso/s real/es, a través de la unidad informática y mediante, al menos, una, preferiblemente, varias rutinas de expertos (11) que están, especialmente, en competencia y que funcionan, especialmente paralelamente unas respecto a otras,
 - y en la o las respectiva/s rutina/s de expertos (11) se crea una respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos, a través de, al menos, un algoritmo propio y sobre la base de la geometría de puntos defectuosos de partida,
 - sobre la base de la respectiva geometría de puntos defectuosos de expertos se determinan los respectivos conjuntos de datos de predicción de expertos mediante simulación o asignación de una medición adaptada al respectivo conjunto de datos de referencia,
 - y la geometría de puntos defectuosos de expertos que están en la base de los respectivos conjuntos de datos de predicción de expertos se ponen a disposición entonces de, al menos, una, especialmente, todas las rutinas de expertos (11), como nueva geometría de puntos defectuosos de partida, para la posterior adaptación a la geometría del o de los punto/s defectuoso/s real/es, cuando los conjuntos de datos de predicción de expertos de una rutina de expertos respectiva son más similares a los respectivos conjuntos de datos de referencia que los conjuntos de datos de predicción de partida y/o cuando una función de adecuación que tiene en cuenta, al menos, dos conjuntos de datos de predicción de expertos,
 - y a continuación se usan los conjuntos de datos de predicción de expertos que pertenecen a la nueva geometría de puntos defectuosos de partida como nuevos conjuntos de datos de predicción de partida,
 - y la adaptación iterativa se lleva a cabo mediante las rutinas de expertos hasta que se cumple un criterio de interrupción,
 - y como primer conjunto de datos de referencia se usa un conjunto de datos sobre la base de un método de medición MFL, de corriente parásita, EMAT ó ultrasónico, y como otro conjunto de datos de referencia adicional se usa un conjunto de datos creado sobre la base de otro método de medición que proviene de este grupo de métodos de medición.
2. Método según la reivindicación 1, que se caracteriza por que la determinación de la geometría de puntos defectuosos iniciales se lleva a cabo sobre la rejilla del objeto, una rejilla de defectos (5), al menos, bidimensional y/o a través de una representación del parámetro.
3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que para la creación específica del método de medición de los conjuntos de datos de partida y/o de predicción de expertos se usa, al menos, un parámetro de simulación obtenido de un proceso de calibración del aparato de inspección perteneciente al método de medición y/o, al menos, un parámetro del objeto específico del material.
4. Método según una de las anteriores reivindicaciones, que se caracteriza por que las rutinas de expertos (11) funcionan de tal modo en competencia entre sí, que se lleva a cabo una distribución de los recursos de la unidad informática en una respectiva rutina de expertos, especialmente, en forma de tiempo de cálculo, preferiblemente, tiempo CPU y/o tiempo GPU, dependiendo de una cuota de éxito, con la cual se tienen en cuenta, especialmente, el número de las geometrías de puntos defectuosos de partida calculadas por esta rutina de expertos y puestas a disposición para una o varias otras rutinas de expertos (11), y/o dependiendo de una reducción de la función de adecuación, con la cual se tienen en cuenta, especialmente, el número de los conjuntos de datos de predicción de expertos creados por la reducción.
5. Método según una de las anteriores reivindicaciones, que se caracteriza por que los conjuntos de datos de predicción de partida y/o de expertos se crean sobre la base de un modelo de avance para la simulación del respectivo método de medición libre de destrucción.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que la geometría de puntos defectuosos inicial se crea mediante una tabla de consulta, mediante una de las rutinas de expertos (11) y/o mediante un algoritmo de aprendizaje mecánico.

7. Método según la reivindicación 6, que se caracteriza por que la geometría de puntos defectuosos inicial se crea mediante la inversión de, al menos, partes de los conjuntos de datos de referencia, a través de, al menos, una red neuronal entrenada para esta función.

5 8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que, para la determinación de la rejilla del objeto, primeramente, sobre la base de, al menos, parte de los conjuntos de datos de referencia, se lleva a cabo una clasificación de zonas sin anomalías y zonas con anomalías del objeto y, especialmente, sobre la base de informaciones previamente conocidas sobre el objeto, se crea una rejilla del objeto de partida, por que, usando la rejilla del objeto de partida, se calculan conjuntos de datos de predicción para el respectivo método de medición sin destrucción, por que se lleva a cabo una comparación de, al menos, partes de los conjuntos de datos de predicción con las respectivas partes de los conjuntos de datos de referencia, excluyendo las zonas con anomalías, y por que, dependiendo de, al menos, una medida de exactitud, se usa o bien la rejilla del objeto de partida directamente como la geometría del objeto que describe la rejilla del objeto, o primeramente, mediante la unidad informática, se lleva a cabo una adaptación iterativa de la rejilla del objeto de partida a la geometría del objeto en las zonas sin anomalías.

15 9. Método según la reivindicación 8, que se caracteriza por que en la adaptación iterativa de la rejilla del objeto de partida se crea una nueva rejilla del objeto de partida y para ésta se calculan nuevos conjuntos de datos de predicción, así como se lleva a cabo una comparación de, al menos, partes de los nuevos conjuntos de datos de predicción con las correspondientes partes de los conjuntos de datos de referencia, excluyendo las zonas con anomalías, hasta que se cumple un criterio de interrupción del objeto, y la rejilla del objeto de partida que existe entonces se usa como la geometría del objeto que describe la rejilla del objeto.

20 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores 8 ó 9, que se caracteriza por que durante la clasificación se lleva a cabo una asignación de una zona sin anomalías a, al menos, un elemento local previamente definido del objeto y éste se unas en la creación de la rejilla del objeto de partida o se incorpora en la rejilla del objeto de partida.

25 11. Método según la reivindicación 10, que se caracteriza por que el elemento local que, especialmente, está conformado en forma de una costura soldada, se describe mediante un modelo de geometría paramétrico.

30 12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que la geometría de puntos defectuosos de partida o un indicador que hace referencia a la misma se guarda en una zona de almacenamiento (12) de la unidad informática accesible a todas las rutinas de expertos (11).

35 13. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que como criterio de interrupción se considera una modificación sustancial, que queda después de una multitud de iteraciones, de la geometría de puntos defectuosos de partida, de la geometría de la rejilla del objeto y/o del defecto (5), del conjunto de datos de predicción de partida y/o, al menos, de un conjunto de datos de predicción de expertos.

40 14. Método según una de las reivindicaciones anteriores 1-12, que se caracteriza por que como criterio de interrupción se usa una comparación de la variación del conjunto de datos de predicción de expertos con la dispersión de medición del conjunto de datos real.

45 15. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que a una rutina de expertos (11) se le asigna/n uno o varios algoritmos para la creación y/o adaptación de la geometría de puntos defectuosos de expertos, comprendiendo aprendizaje mecánico, optimización estocástica, funciones del modelo empíricas y/o numéricas.

50 16. Método según la reivindicación 15, que se caracteriza por que en una rutina de expertos (11) se genera aleatoriamente un algoritmo o mediante una función de selección se selecciona y/o se modifica.

55 17. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que en la o las rutina/s de expertos para la creación de la geometría de puntos defectuosos de expertos se llevan a cabo variaciones distintas y específicas de los puntos defectuosos, de manera que están previstas, especialmente, una primera rutina de expertos para la variación de grietas, otra para la variación de la corrosión y/u otra para la variación de los defectos de laminación.

60 18. Método según la reivindicación 17, que se caracteriza por que en las rutinas de expertos se varía una representación de parámetros, derivada de la geometría de puntos defectuosos de partida o asignada a ésta, de un punto defectuoso respectivo para la creación de la geometría de puntos defectuosos de expertos.

65 19. Método según la reivindicación 18, que se caracteriza por que un algoritmo de clasificación de puntos defectuosos representado, preferiblemente, mediante una red neuronal clasifica los puntos defectuosos de la geometría de puntos defectuosos de partida.

20. Método para la determinación de un límite de capacidad de carga de un objeto, al menos, durante el funcionamiento cargado de presión, conformado, especialmente, como oleoducto, gasoducto o conducto de agua,

con el cual un conjunto de datos que describe uno o varios punto/s defectuosos se usa como conjunto de datos de entrada en un cálculo del límite de capacidad de carga, que se caracteriza por que el conjunto de datos de entrada se determina, primeramente, según un método según una de las reivindicaciones anteriores.

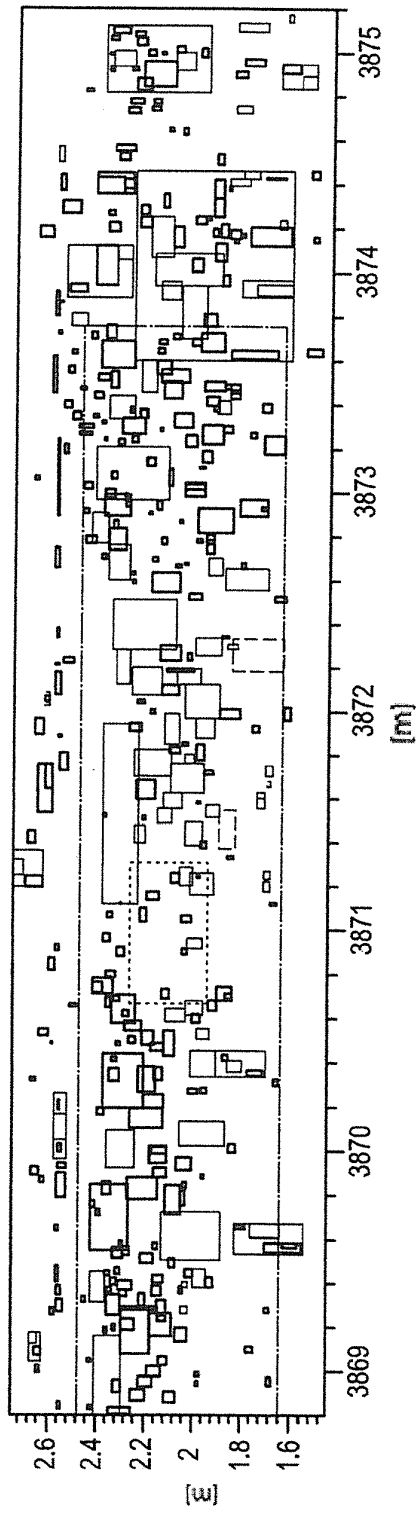


Fig. 1

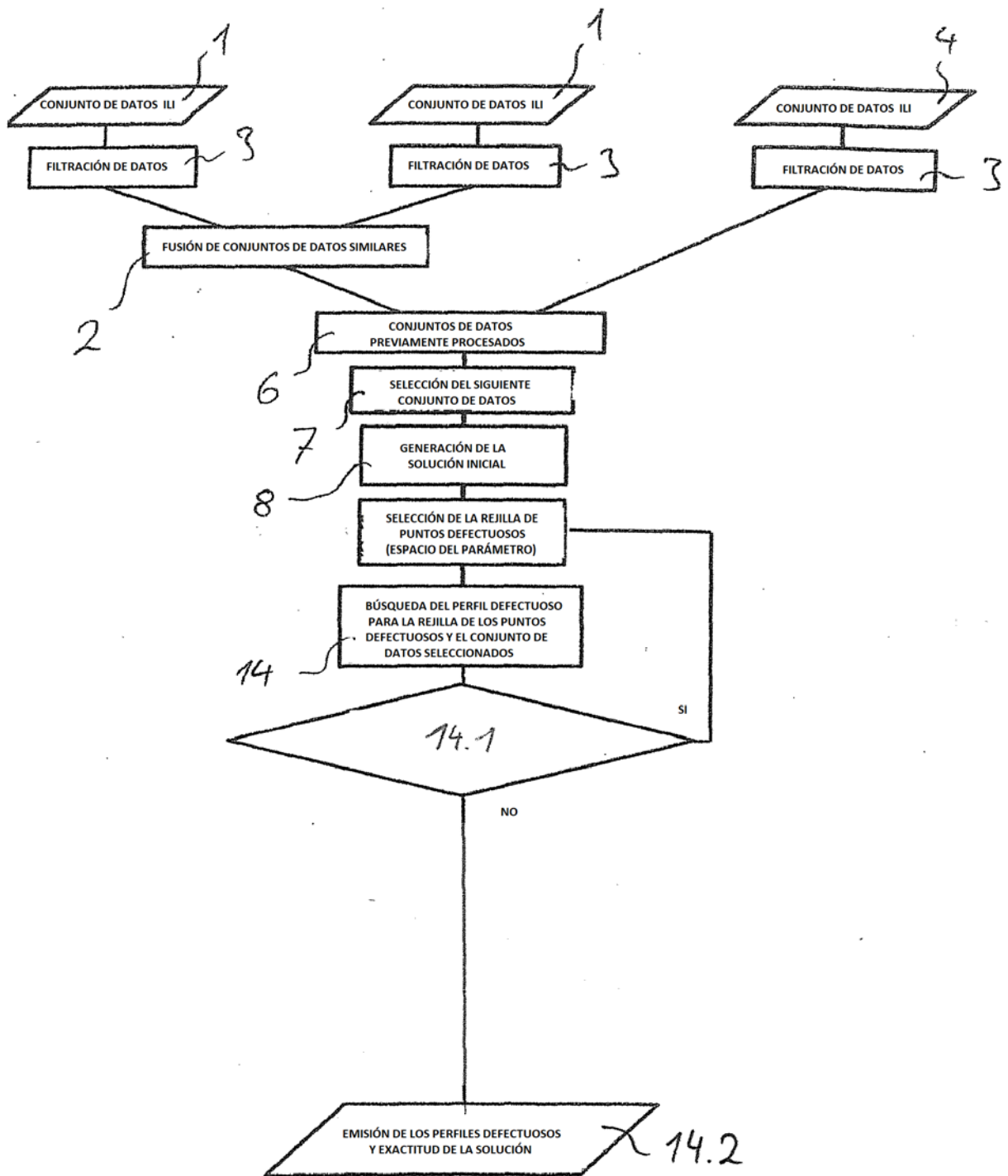


Fig. 2

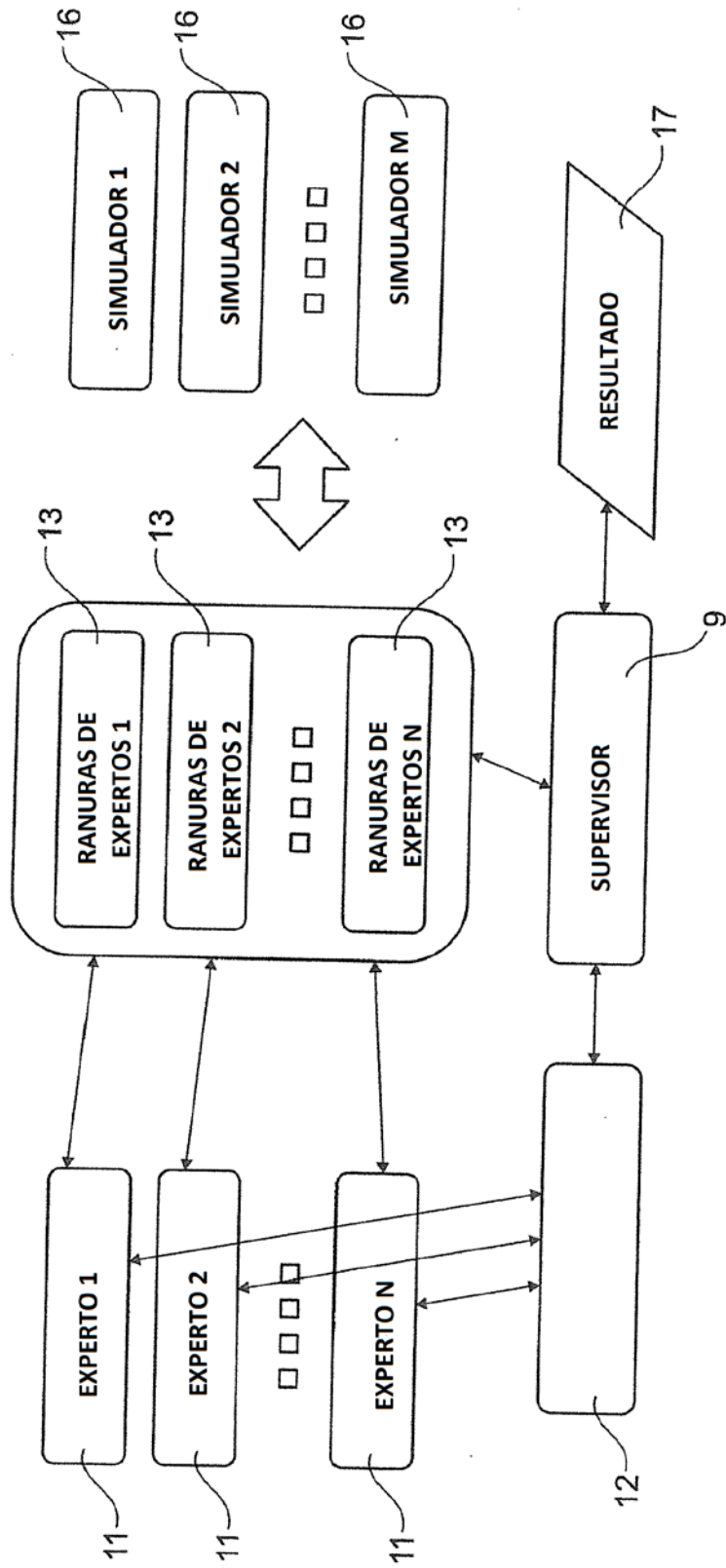


Fig. 3

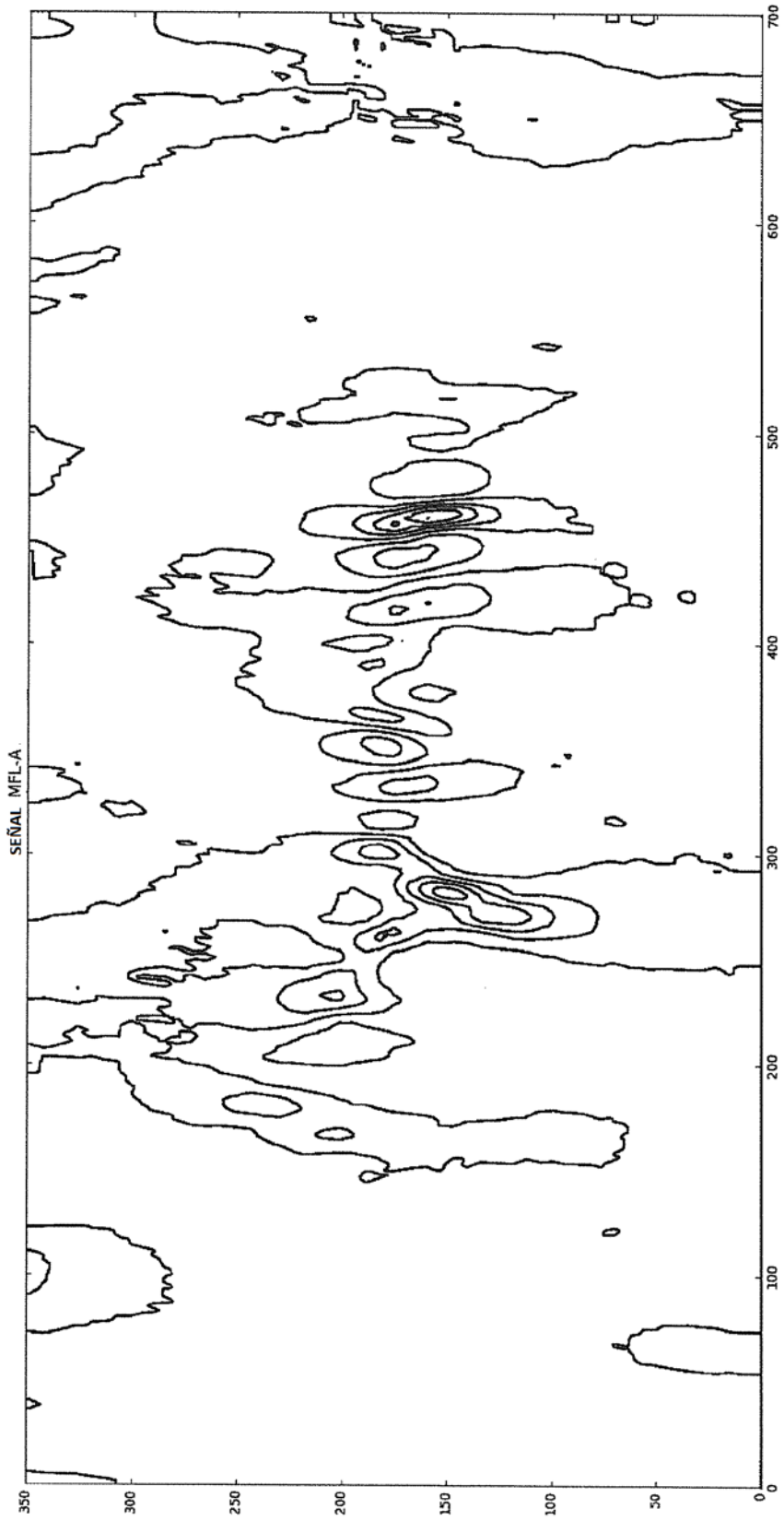


Fig. 4A

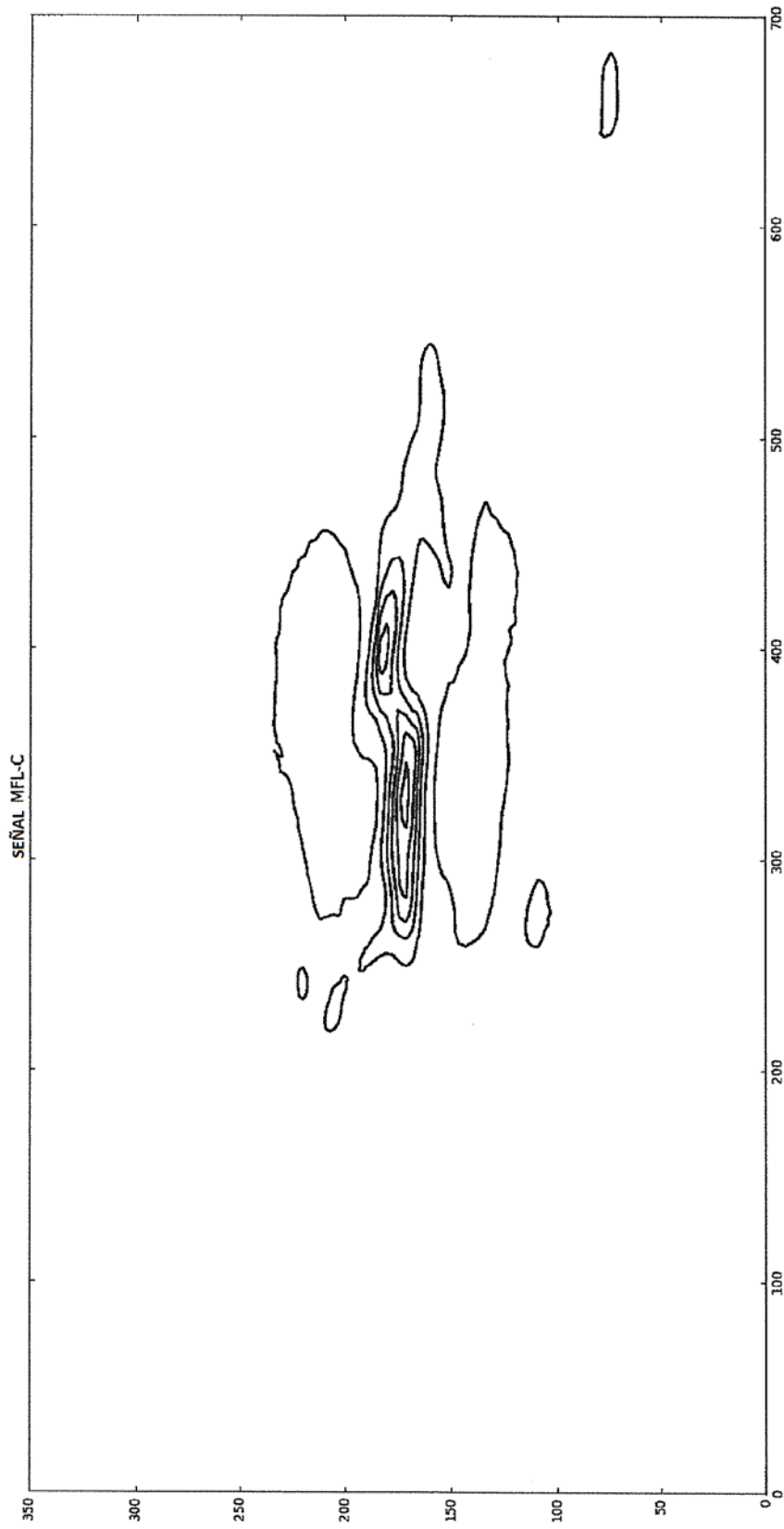


Fig. 4B

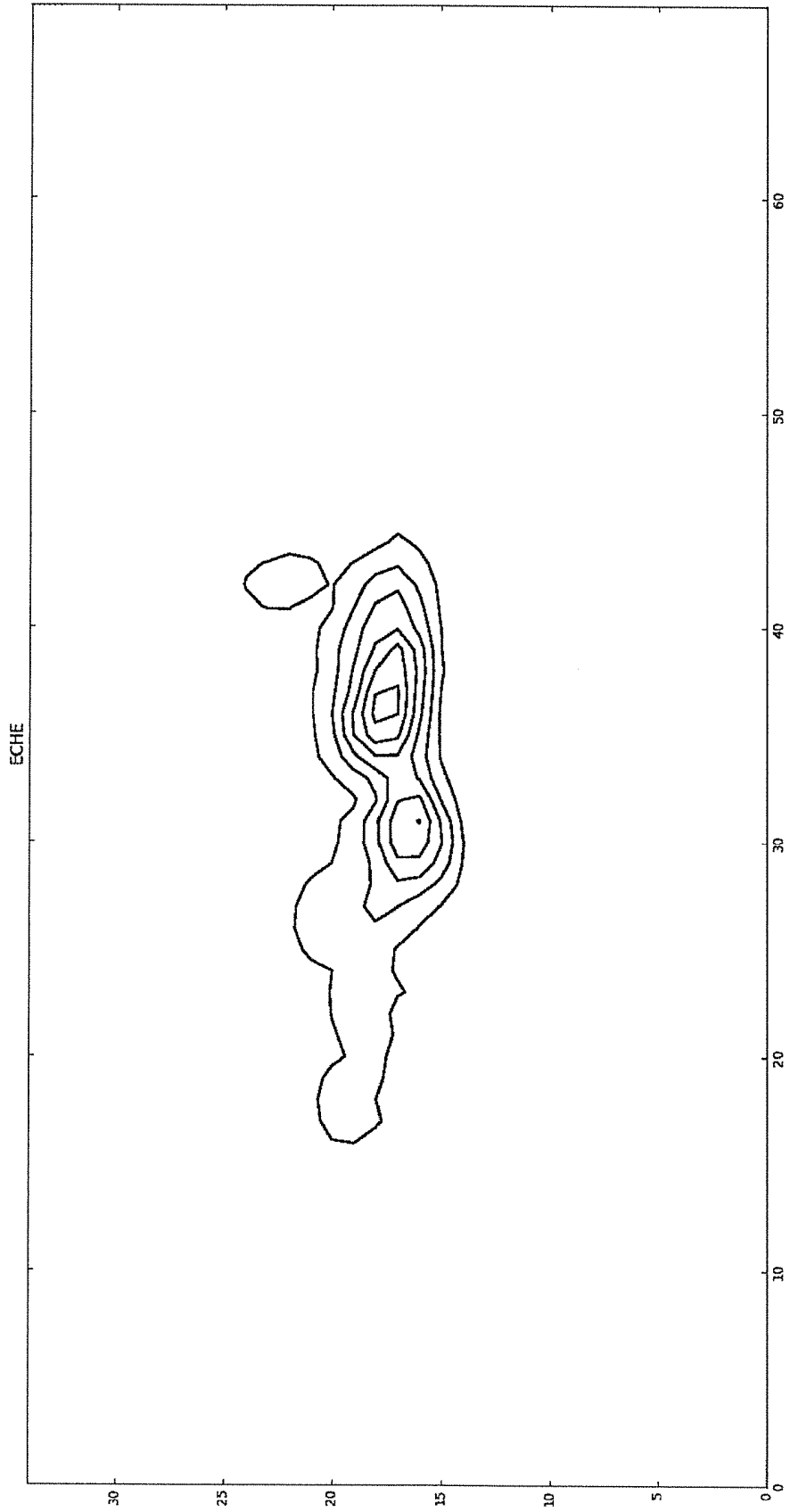


Fig. 4C

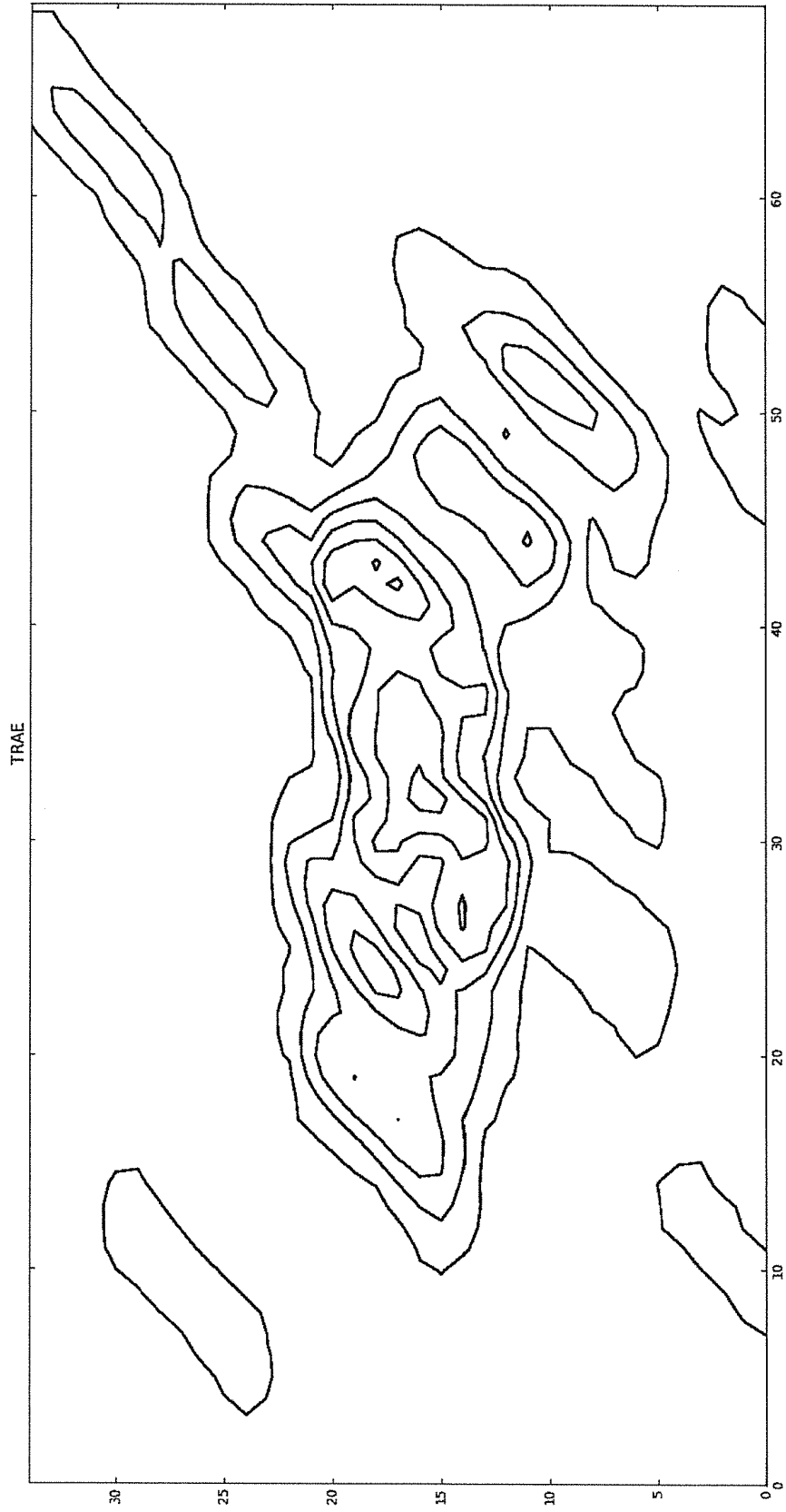


Fig. 4D

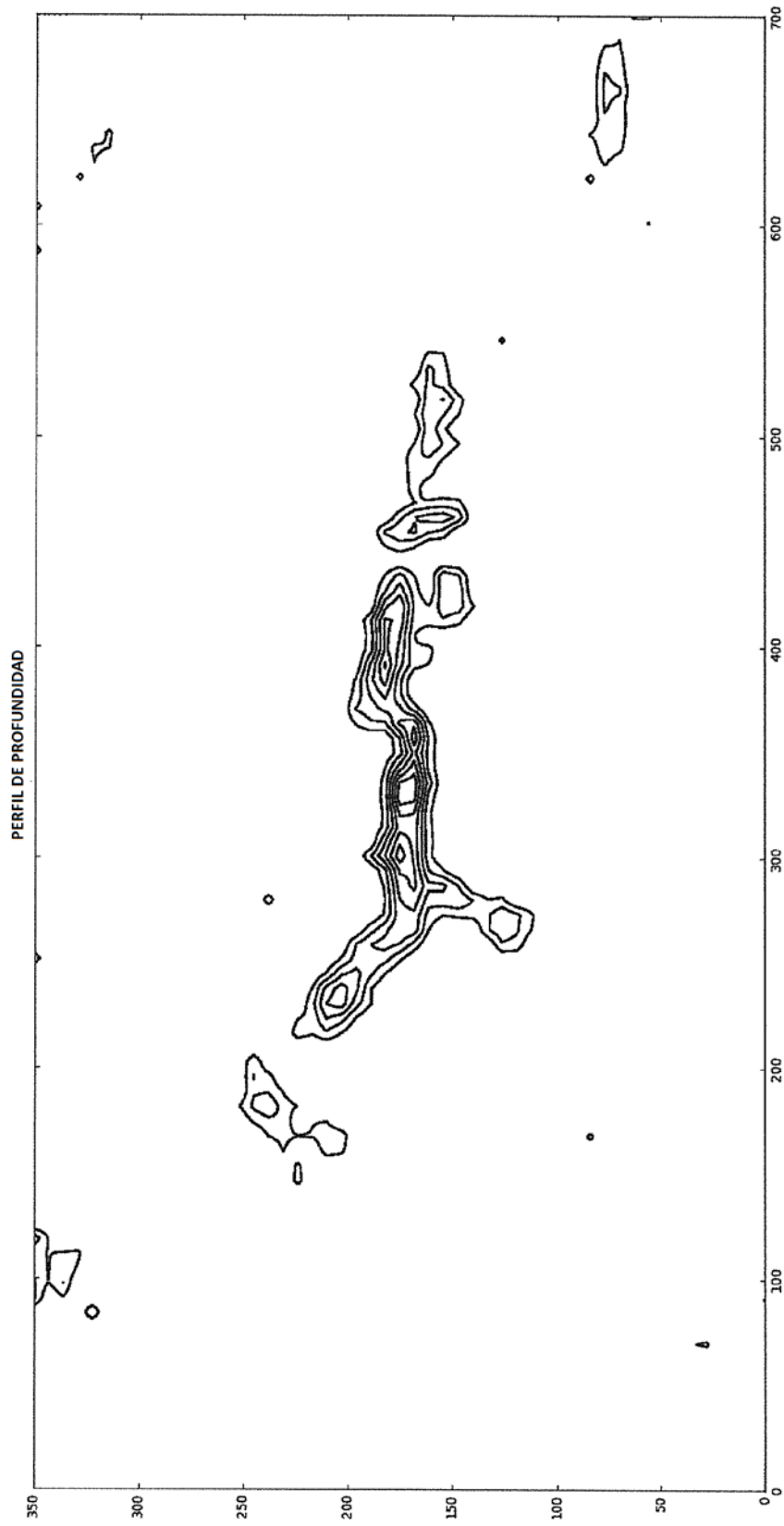


Fig. 4E

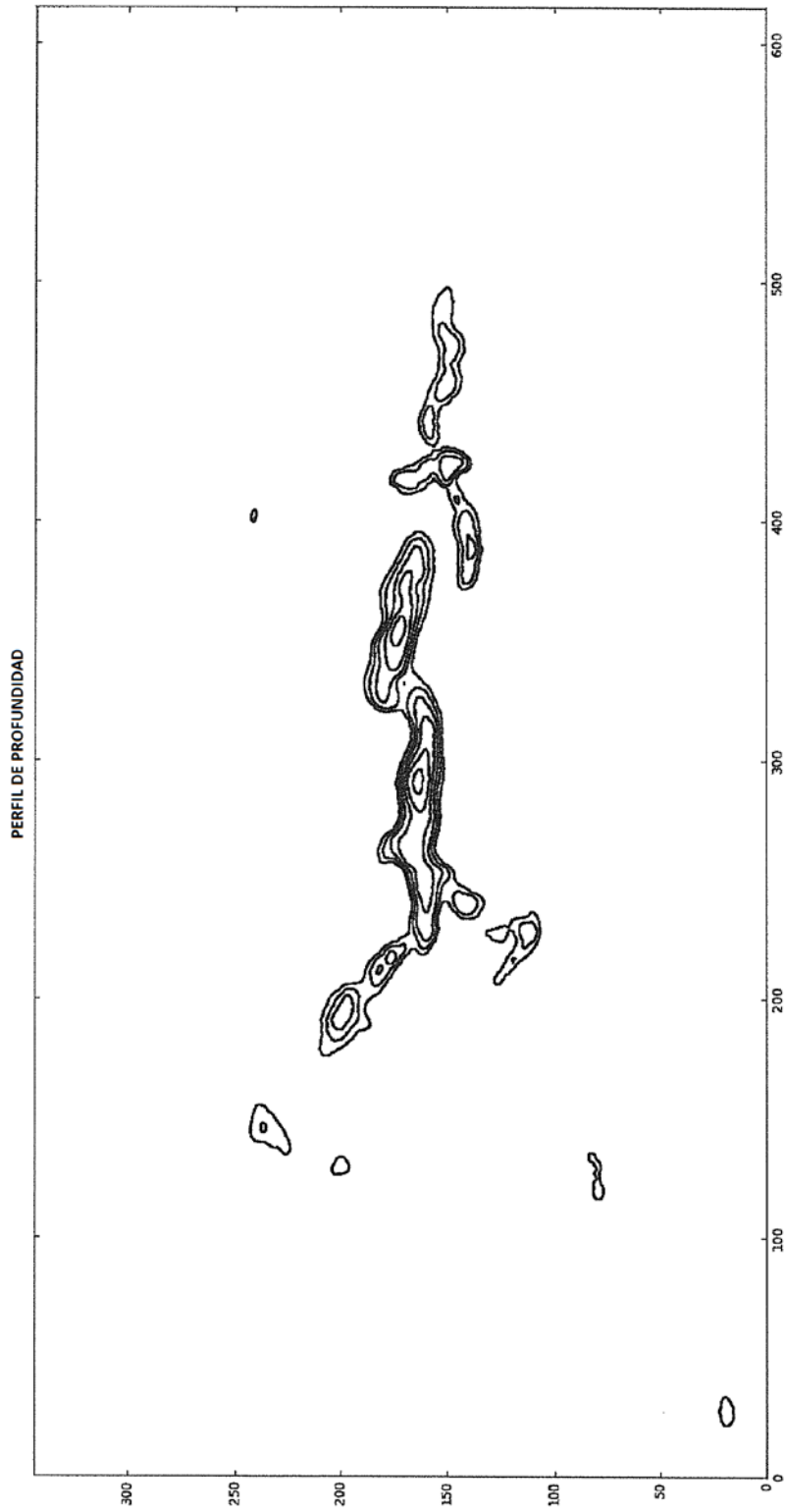


Fig. 4F

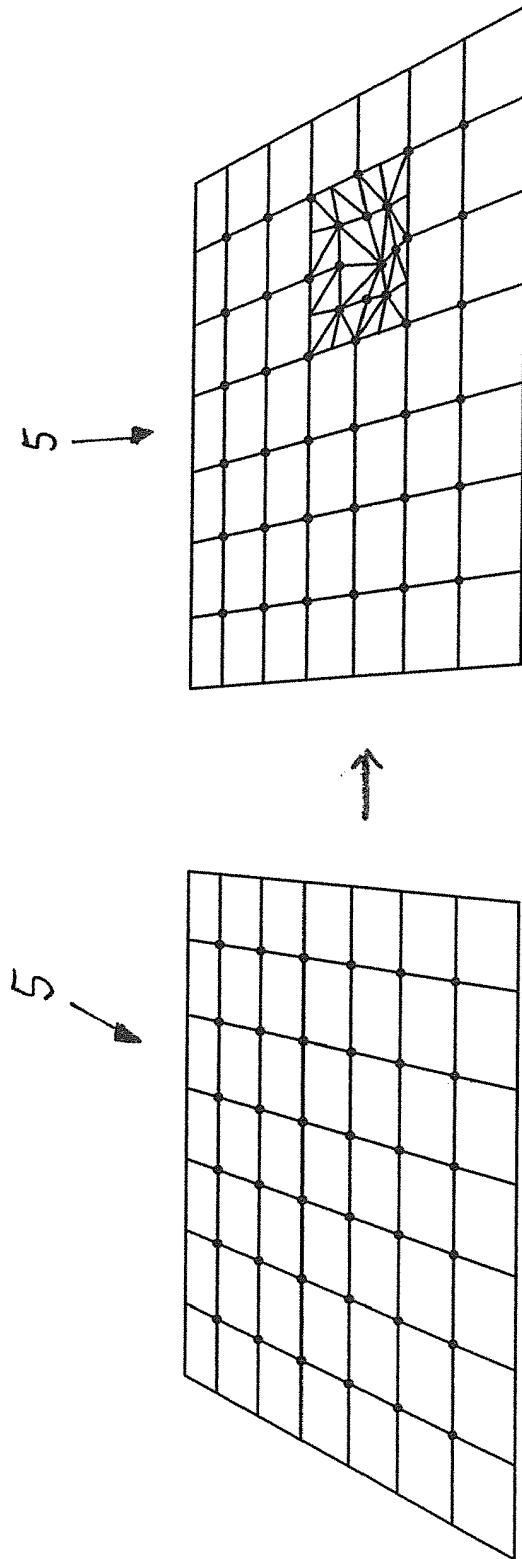


Fig. 5

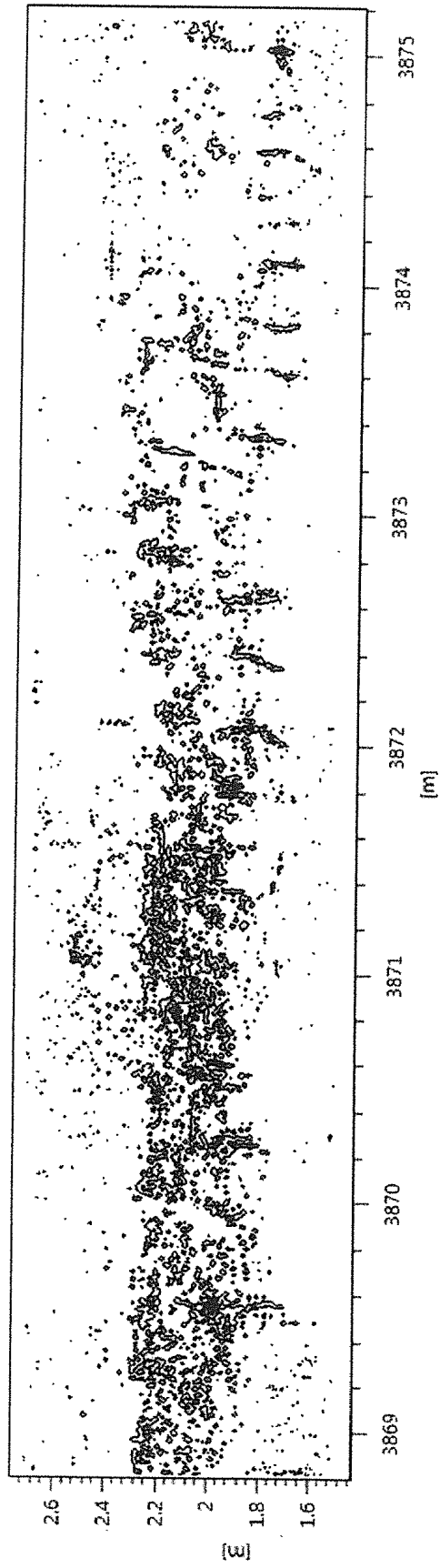


Fig. 6

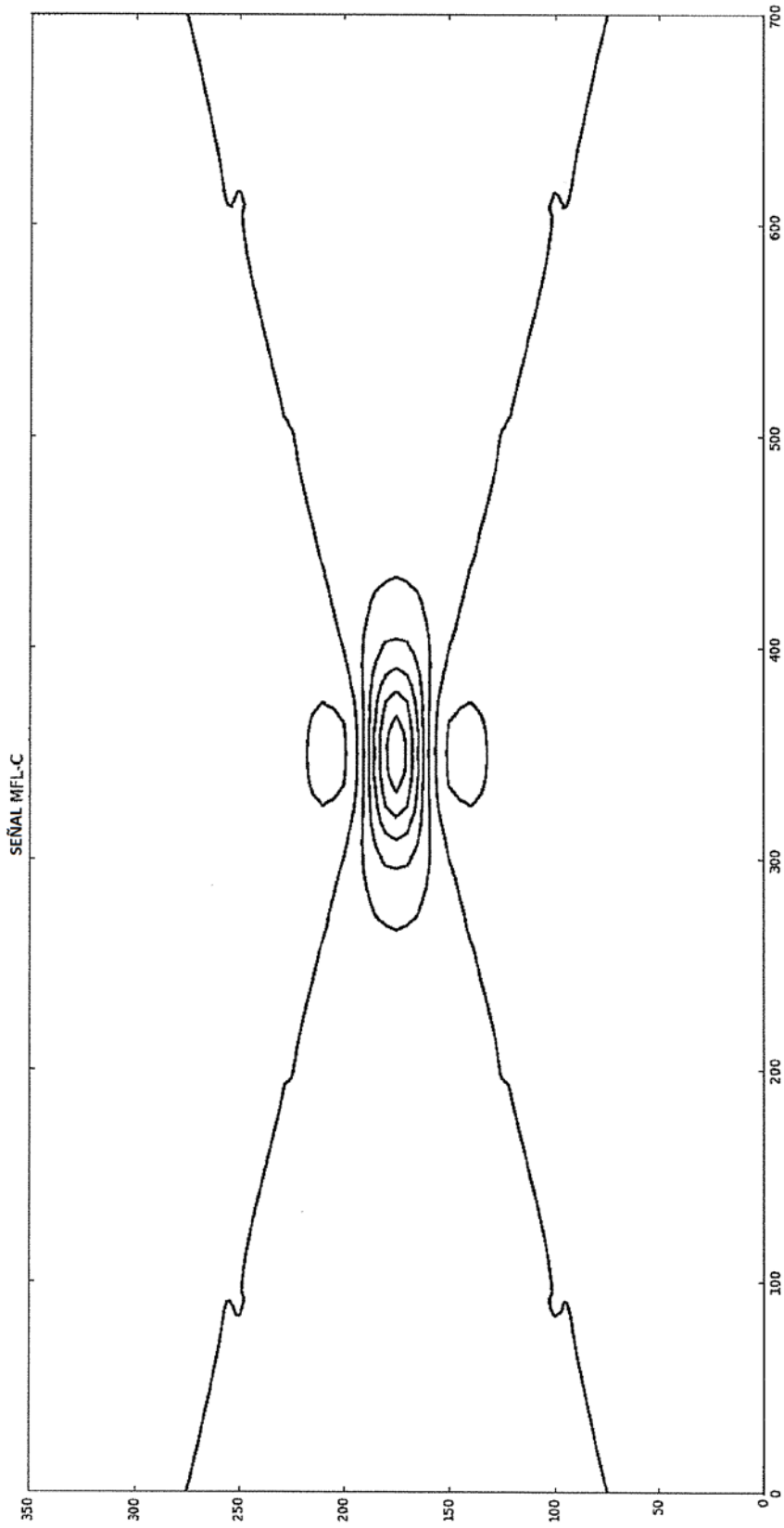


Fig. 7A

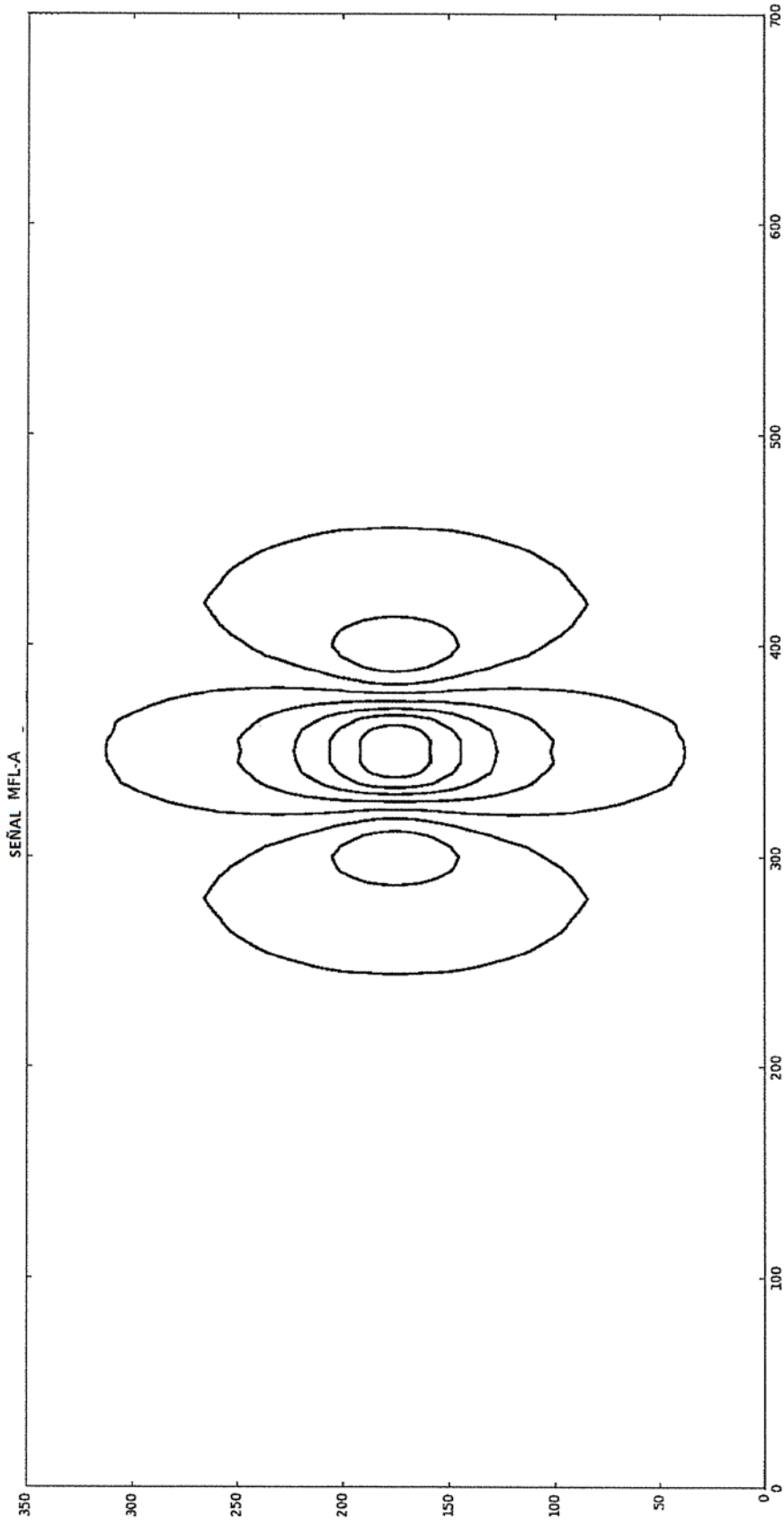


Fig. 7B

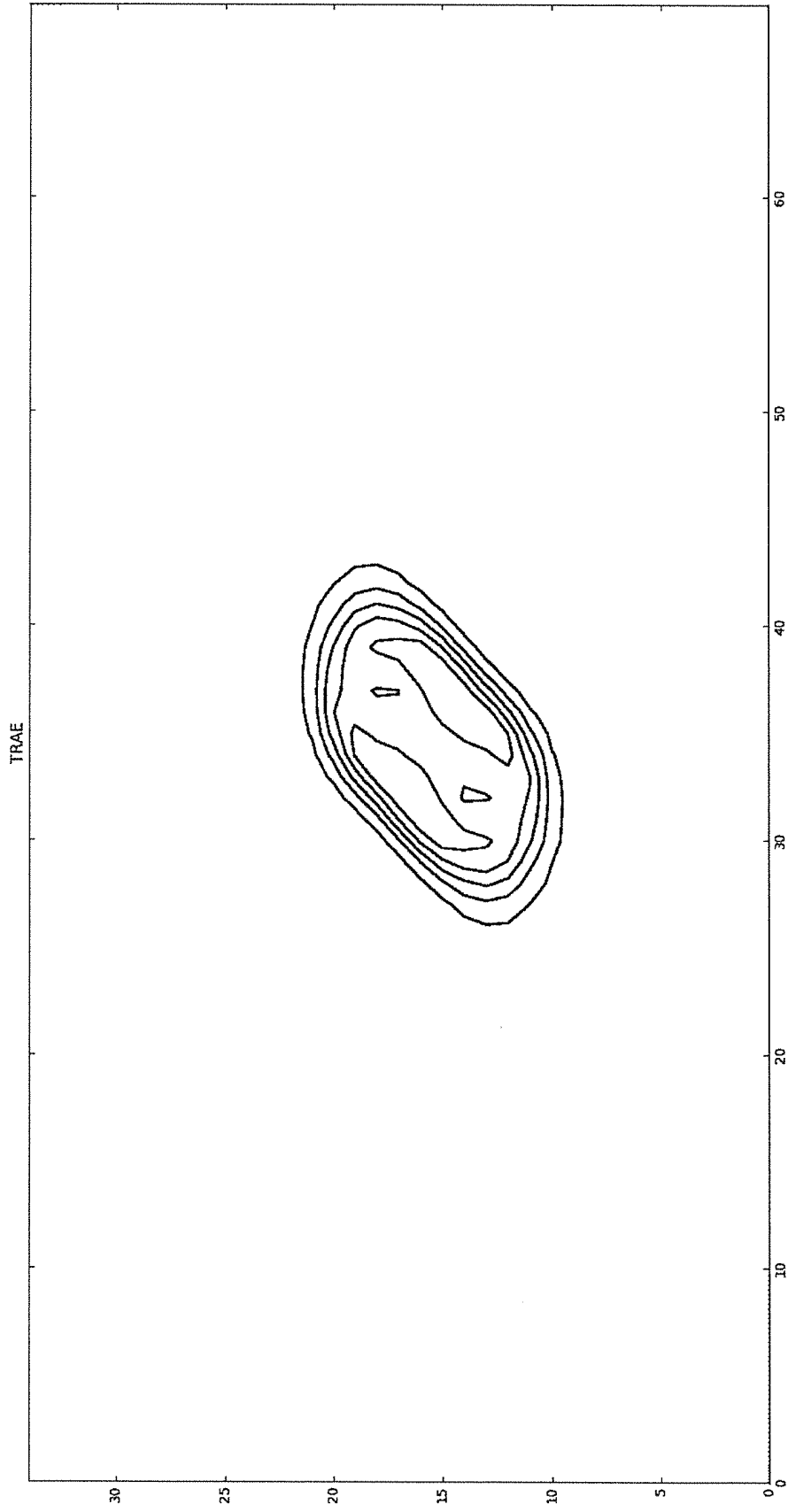


Fig. 7C

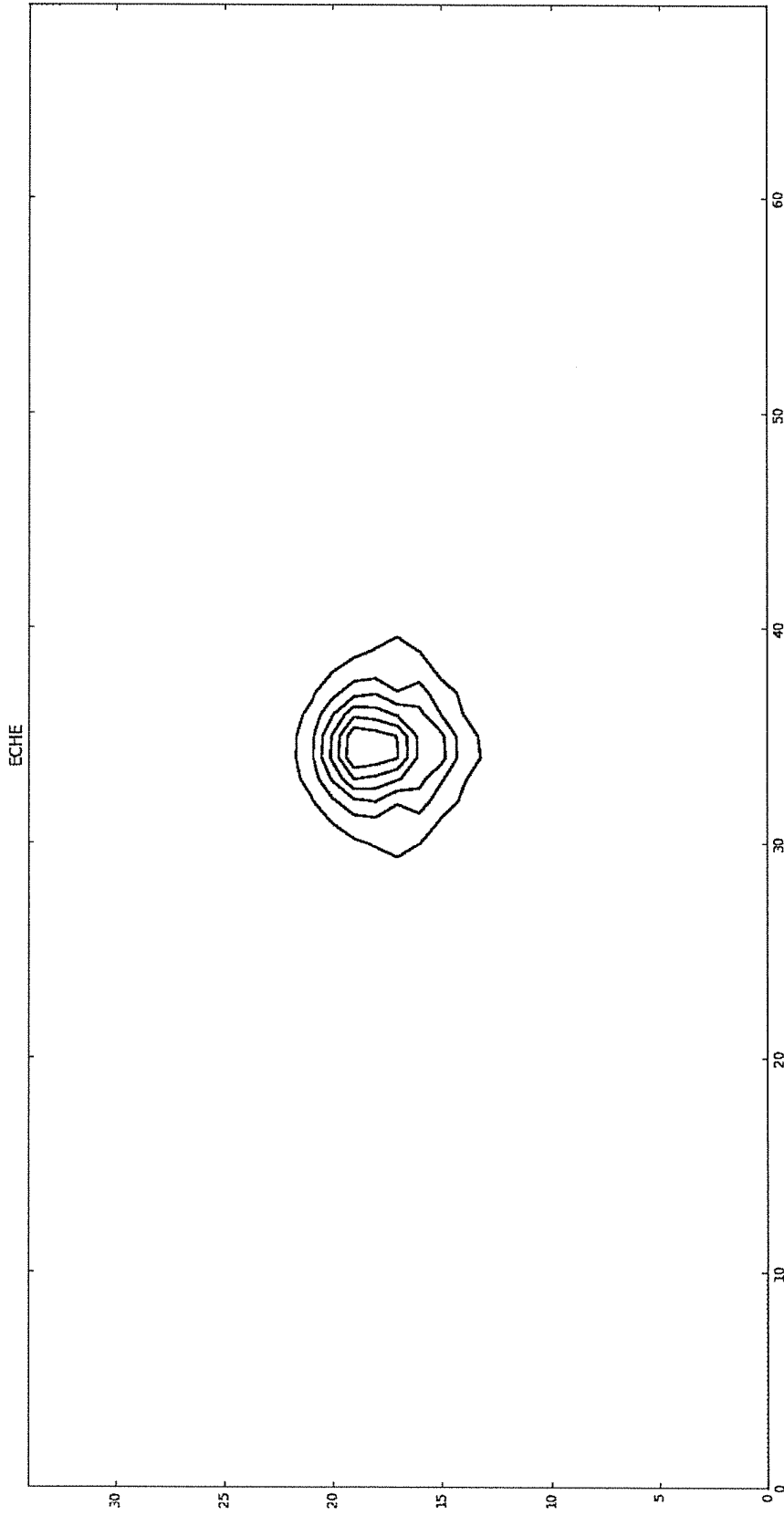


Fig. 7D

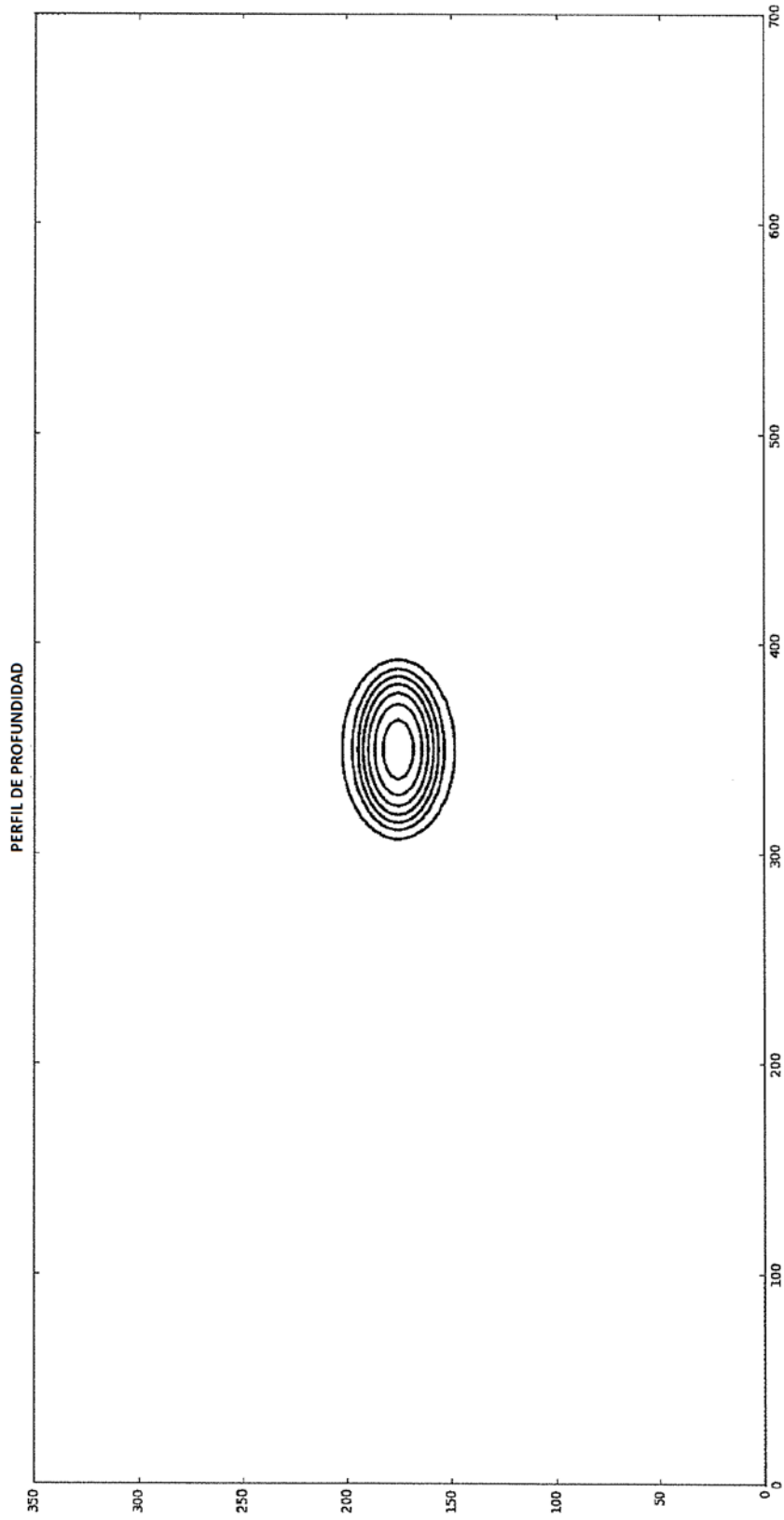


Fig. 7E

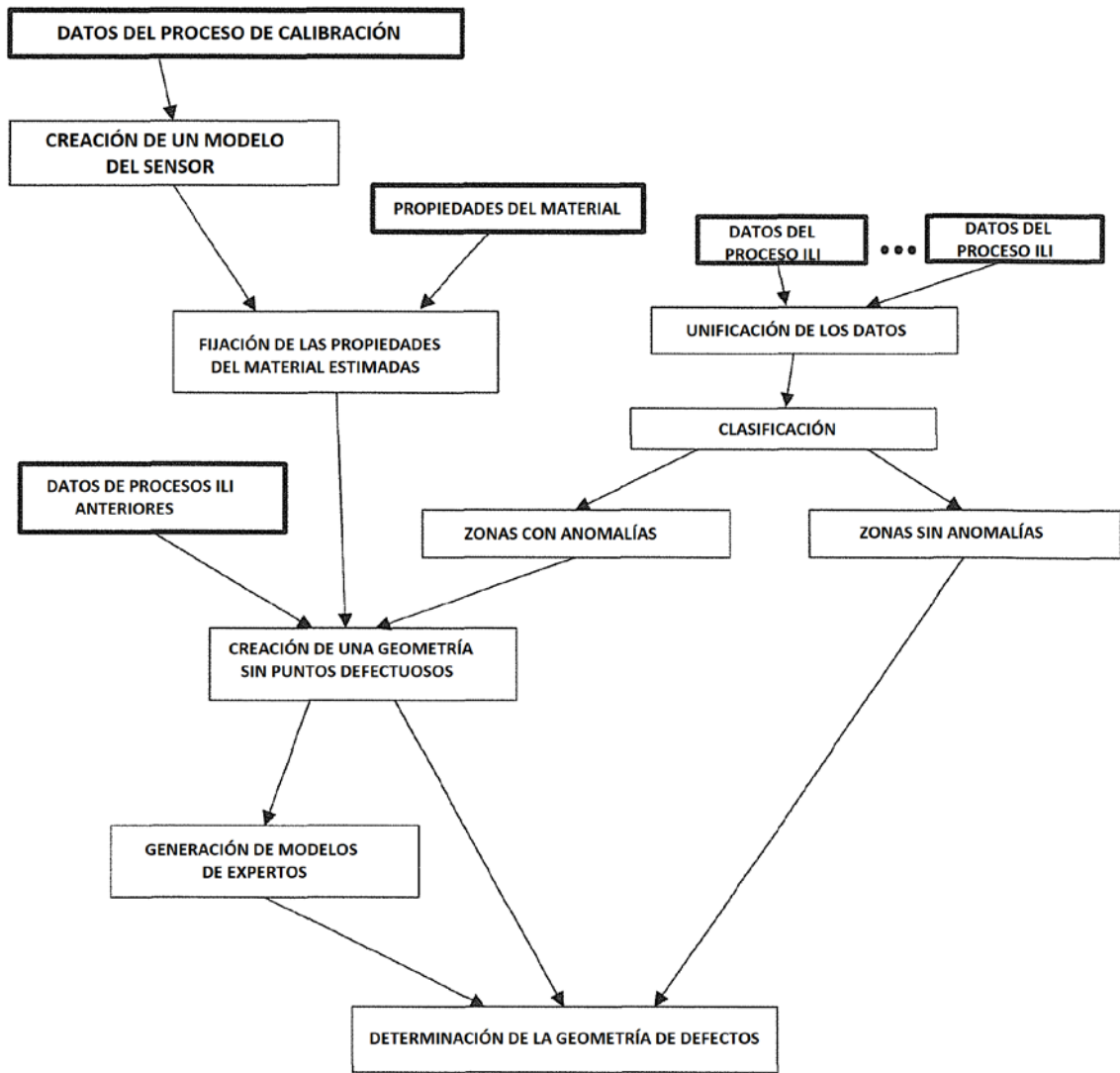


Fig. 8

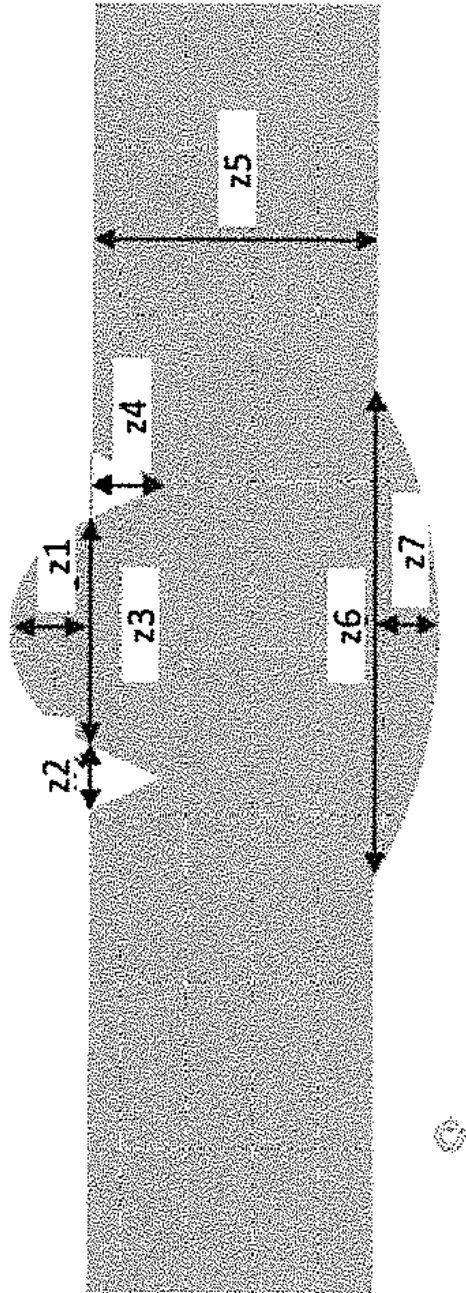


Fig. 9