

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 291**

21 Número de solicitud: 202130293

51 Int. Cl.:

G21C 17/017 (2006.01)

G21C 17/06 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

31.03.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

14.10.2022

Fecha de concesión:

28.02.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

07.03.2023

73 Titular/es:

**ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E
(100.0%)**

**Santiago Rusiñol, 12
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

CASTAÑO MARCOS, Jesús

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

54 Título: **Sistema y procedimiento para la inspección de la superficie de una barra de combustible nuclear para la detección, localización y caracterización de defectos de forma automática**

57 Resumen:

Sistema y procedimiento para la inspección de la superficie de una barra de combustible nuclear para la detección, localización y caracterización de defectos de forma automática, que comprende una pluralidad de sistemas de adquisición de nubes de puntos y medios de traslación para la barra de combustible nuclear; donde el sistema comprende además medios de procesamiento capaces de transformar la nube de puntos en un mapa de alturas, umbralizar localmente para la segmentación del mapa de alturas y la obtención de las discontinuidades en dicho mapa, clasificar las discontinuidades en distintas formas geométricas para obtener el área, largo, ancho, posición y orientación, proyectar el defecto en el eje y para obtener su profundidad y calcular la función equivalente y su segunda derivada para obtener los puntos donde la profundidad del defecto es máxima.

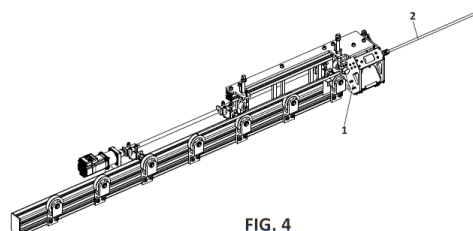


FIG. 4

ES 2 925 291 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para la inspección de la superficie de una barra de combustible nuclear para la detección, localización y caracterización de defectos de forma automática

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención pertenece al sector de la fabricación de combustible nuclear de fisión para reactores nucleares y concretamente en el campo de los equipos de inspección de barra de combustible fresca (sin irradiar) o tubo de aleaciones de circonio.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En los reactores nucleares se utilizan elementos combustibles que comprenden una pluralidad de barras de combustible nuclear, organizadas en forma de matriz, en filas y columnas. Estas barras están fabricadas en aleaciones metálicas incluyendo más de un 95% de circonio, lo que las caracteriza de un aspecto muy especular. Incluyen en su interior pastillas ("pellets") de combustible, en este caso, de uranio (U), en forma de óxido de uranio (UO₂), normalmente enriquecido hasta el 4,9% en ²³⁵U.

15

20

Para evitar posibles fallos en el reactor en operación, fugas de material radiactivo (uranio y otros productos de fisión) en el circuito de la central y, en consecuencia, pérdida de productividad y aumento de riesgo radiológico, existen unos requisitos de calidad para la fabricación de la barra combustible en cuanto a entallas, hendiduras y poros, defectos todos ellos, en su superficie. El caso más restrictivo se da en ciertas barras de combustible para los reactores PWR, en las que la máxima profundidad permitida de un defecto son 25µm y la superficie 2mm².

25

En el proceso de fabricación, la forma convencional de comprobar que estos requisitos de calidad se cumplen es mediante una inspección visual de la totalidad de la superficie de la barra por parte de un inspector cualificado. Este inspector, subjetivamente, aunque con la ayuda de patrones visuales, inspecciona la superficie de las barras y las selecciona como buenas o malas en función de los defectos encontrados. La inspección manual, como es lógico, carece de la precisión necesaria para la caracterización de los defectos en profundidad y área.

30

35

Otra forma de identificar si la barra tiene o no defectos y dónde se encuentran a lo largo de la misma, sin caracterización de estos, es con equipos de corrientes inducidas. En la actualidad, con estos sistemas, se han llegado a detectar defectos con una precisión de aproximadamente 50µm, pero sin poder caracterizarlos en profundidad a lo largo del defecto, área y orientación.

Es generalizado el interés mostrado por la industria de fabricación de combustible nuclear por una tecnología para la caracterización de los defectos en la superficie de la barra combustible. No obstante, los intentos realizados hasta el momento no han dado los resultados pretendidos, no existiendo constancia de ningún sistema que además de realizar la inspección de la totalidad de la superficie de la barra de forma fiable y automática, ofrezca información y caracterización en profundidad de los defectos encontrados con la suficiente precisión.

RESUMEN DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es el de proporcionar un sistema y procedimiento que permita la detección y localización automática de defectos superficiales de una barra de combustible nuclear, además de su caracterización. Para ello, el sistema propone unos medios de traslación de la barra de combustible y una pluralidad de sistemas de adquisición de una nube de puntos de la superficie de la barra, donde cada sistema de adquisición está compuesto de un láser, una cámara y una tarjeta de adquisición de puntos. La invención comprende además medios de procesamiento capaces de transformar la nube de puntos en un mapa de alturas, umbralizar localmente para la segmentación del mapa de alturas y la obtención de las discontinuidades en dicho mapa, clasificar las discontinuidades en distintas formas geométricas para obtener el área, largo, ancho, posición y orientación, proyectar el defecto en su eje y para obtener su profundidad y calcular la función equivalente y su segunda derivada para obtener los puntos donde la profundidad del defecto es máxima. Opcionalmente, el procesador, podrá además eliminar vacíos, ruido y/o bordes, discontinuidades debidas a vibraciones o reflejos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las
5 siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

Las figuras 1a, 1b y 1c muestran una vista del sistema de adquisición de la nube de puntos según la invención.

Las figuras 2a y 2b muestran un sistema de adquisición en relación con la barra y su
10 sistema de coordenadas.

Las figuras 3a y 3b muestran una vista en perspectiva y otra en alzado de una realización en la que el número de sistemas de adquisición de la nube de puntos es cuatro.

La figura 4 muestra una vista en perspectiva del sistema de traslación de la barra. En la puesta en práctica mostrada el sistema comprende ruedas motorizadas, aunque otros
15 medios de traslación podrían ser utilizados.

La figura 5 es un diagrama de flujo del procedimiento de la invención.

Las figuras 6a y 6b muestran los ejes x e y del defecto y la proyección en el eje y de un defecto longitudinal y la obtención de los mínimos mediante la segunda derivada.

La figura 7 muestra los cortes realizados en los mínimos de la figura 6b y la obtención de la
20 profundidad con la altura del rectángulo en el que se inscribe el defecto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Mediante el procedimiento y sistema que la invención propone se resuelve de forma
25 satisfactoria la problemática anteriormente expuesta.

La invención se refiere a un procedimiento y sistema para la inspección de la superficie de una barra combustible nuclear de fisión sin irradiar y la detección, localización y caracterización en ancho, largo y profundidad de sus defectos. Para la inspección, se
30 emplea la tecnología de visión 3D mediante triangulación láser. Se utilizan un número definido de sistemas de adquisición de una nube de puntos (1), pre-calibrados y ajustados, compuestos cada uno por un haz lineal láser (3), un sensor óptico (4) y una tarjeta de adquisición (5).

El funcionamiento del sistema de adquisición consiste en que, en un determinado instante de tiempo, el haz lineal láser (3) incide sobre el objeto a inspeccionar (2), colocado
35

previamente el campo de visión, el cual refleja, de forma difusa, la luz de láser. En ese mismo instante de tiempo, esta luz es recibida por el sensor óptico (4) el cual se encuentra a una distancia y ángulo dados. El sensor toma una foto de la que se obtiene por un lado la distribución de intensidades de la luz difusa reflejada por el láser de la que extrae un perfil (6), por otro la imagen 2D y por último un sello con el instante de tiempo, llamado *timestamp*; esta información se guarda en una imagen de tres canales RGB (rojo: perfil, verde: imagen 2D, azul: sello de tiempo). La repetición del proceso de toma de fotografías a lo largo del tiempo a la vez que se mueve la barra de combustible da lugar a una consecución de perfiles a lo largo del eje de la barra (eje Y). Estos perfiles forman una nube de puntos (7). Finalmente, para poder trabajar esta nube de puntos como una imagen 2D, se transforma a mapa de alturas, haciendo corresponder cada punto de la nube a un pixel, de tal manera que las coordenadas X,Y de la nube corresponderán al alto y ancho de la imagen y la coordenada Z de la nube corresponderá a un nivel de gris de 0 a 255.

Preferentemente, el tipo de láser será de luz azul, con menor longitud de onda (~470nm) y por lo tanto menos penetración en objeto a medir y mayor enfoque que otro tipo de láseres como el rojo (~700 nm). Esto minimiza la luz reflejada de regreso al detector, generando hasta tres veces menos ruido que uno rojo y aumentando de forma considerable la precisión.

De acuerdo con la invención, la nube de puntos de la superficie (7) se trata mediante medios de procesamiento (PC, ordenador industrial, tablet o cualquier medio con un procesador) y mediante una serie de operaciones de visión artificial específicamente desarrolladas, se detectan, miden y clasifican de forma automática los defectos en la superficie de la barra (2), según el procedimiento de la presente invención. Para ello se emplea un sistema de referencia de tal manera que el eje del cilindro que conforma la barra sea el eje Y, y los ejes transversales a éste en cada instante, los ejes X y Z (figura 2). De acuerdo con la invención, la barra de combustible se mueve de forma lineal a lo largo del eje Y (figura 4) y los sistemas de adquisición se colocan de forma transversal, correspondiendo el haz lineal láser con el plano XZ. De esta manera, el perfil (6) obtenido por cada uno de los sensores ópticos (4) de los sistemas de adquisición (1) en cada instante de tiempo será el arco de circunferencia comprendido en el campo de visión del sensor, correspondiente con la sección de la barra por el plano XZ coincidente con el haz láser en ese instante determinado. El campo de visión de la cámara es un trapecio correspondiente a la triangulación del campo del sensor óptico (rectangular) en el plano XZ que contiene el haz láser.

Durante el movimiento lineal de la barra, cada sistema de adquisición obtiene perfiles con una frecuencia determinada, y la consecución de estos perfiles a lo largo del eje Y forma la nube de puntos correspondiente a la superficie de la barra (figura 1). De acuerdo con la invención, mediante un número definido de sistemas para abarcar toda la superficie de la barra, ya que ésta no rota sobre sí misma, se obtienen un número de nubes de puntos correspondiente al número de sistemas, cubriendo la superficie completa (360°) de la barra la unión de todas las nubes de puntos.

Además, de acuerdo con la invención, los sistemas de adquisición, con una frecuencia determinada, obtienen perfiles que se van acumulando uno de detrás de otro a medida que la barra se mueve, con una distancia entre perfiles en función de la velocidad de la barra.

Los defectos objeto de detección y medición tendrán profundidades mayores o iguales a 25µm, por lo tanto, la precisión en Z idónea del dispositivo de medición será del orden de 0,5µm (25/50). El diámetro de la barra ($\varnothing_{\text{barra}}$) varía de 8,9 a 10,7 mm y su longitud de 1500 a 4510mm, dependiendo de modelo nuclear a inspeccionar (PWR, VVER o BWR). Para una inspección equivalente y de acuerdo con la invención, el número de sistemas de adquisición para la inspección de los 360° de una barra cilíndrica, con un número mínimo de 3, según cálculos sería:

$$N^{\circ} \text{ Sist. Adq.} = f(\varnothing_{\text{barra}}) = | 3 + 0.1 \varnothing_{\text{barra}} |$$

De acuerdo con la invención, esta fórmula es válida para el valor dado de precisión en Z requerido (0,5 µm). teniendo en cuenta que los sistemas de adquisición son idénticos o tienen características similares. A la hora de determinar esta fórmula se han tenido en cuenta, además del diámetro, el campo de visión del sensor y la velocidad de la barra.

El campo de visión de cada sistema de adquisición es limitado y varía en función de la precisión en Z, a mayor precisión, menor es el campo de visión y menores son las dimensiones del trapecio que lo compone. Ocurre de forma similar con la velocidad, los extremos de la curva que conforma el perfil, menos perpendiculares al sistema de adquisición, requieren de mayor tiempo de exposición que si fuera una superficie plana y perpendicular, por lo tanto, a mayor tiempo de exposición menor será la frecuencia de muestreo. De este modo, habrá una velocidad máxima a la cual se podrá inspeccionar y por debajo de ésta, a menor velocidad, se obtendrán mayor número de perfiles y en

consecuencia la precisión de la nube de puntos en el eje Y será mayor. La distancia entre perfiles definirá la precisión de la medida en la componente longitudinal de la barra (eje Y).

De este modo y acuerdo con la formula anterior, el número de sistemas de adquisición para una barra combustible (PWR, VVER o BWR) con un diámetro entre 9,5 y 10,7mm será cómo mínimo 4 (figuras 3a y 3b):

$$N^{\circ} \text{ Sist. Adq.} = \lceil 3 + 0.1 * 10.7 \rceil = \lceil 4.07 \rceil = 4$$

La invención puede comprender, además, una estructura soporte para los sistemas de adquisición a través de la cual pasa la barra combustible. Tanto a la entrada como a la salida de dicha estructura puede haber colocados sendos centradores cónicos de Nylon, para mantener controlada en todo momento la distancia de los sistemas de adquisición a la barra durante la inspección y limitar vibraciones indeseadas. Dicha estructura es lo suficientemente robusta como para que no se produzcan variaciones en la posición de los sistemas de adquisición, que irán colocados y atornillados (o fijados mediante un método similar) a la estructura en forma de cruz, transversalmente al eje de la barra, en el mismo plano, pero distanciados 90° entre ellos (en el caso de ser cuatro). El correcto posicionamiento de los sistemas de adquisición con respecto a la barra perimirá que se consigan medidas con una calidad y fiabilidad aceptables. En un ejemplo preferencial, esta estructura está diseñada con el objetivo de evacuar por convección la mayor cantidad de calor posible generada por los sistemas de adquisición en operación, fabricada en materiales conductores como aluminio y con la menor cantidad de cámaras de aire posible.

Además, esta estructura puede comprender de un sistema, de ajuste y reglaje (mediante galgas, micrómetros o similar), para variar sensiblemente la distancia perpendicular del sistema de adquisición a la barra. También puede disponer de un sistema similar para ajustar todo el conjunto de estructura soporte y sistemas de adquisición, con posibilidad de giro para ajustar el alineamiento del conjunto con respecto a la barra.

El aparato puede comprender, para el desplazamiento lineal de la barra, un sistema de rodillos o cintas motorizadas (figura 4) sobre el que se apoye la barra. De acuerdo con la invención, la componente de la velocidad longitudinal de la velocidad se obtendrá mediante un palpador en forma de rueda loca, lo más próximo a la posición de los sistemas de adquisición, que copie el movimiento de barra en todo momento y sobre el que se sitúa un *encoder* que mide la velocidad de la barra, necesaria para establecer la frecuencia de

muestreo para que ésta sea constante a lo largo de la barra y construir de la nube de puntos de forma homogénea.

La invención dispone, además, de un sistema hardware específico de coordinación,
5 sincronización y comunicación entre los sistemas de adquisición al cual van conectados. Este hardware provee de un único punto para el suministro de potencia, señales de seguridad, disparo y digitales; necesarias para un correcto funcionamiento del sistema. Finalmente, a este hardware de sincronización van conectados el *encoder* y los medios de procesamiento (PC, ordenador industrial o tablet) en los cuales se va a llevar a cabo el
10 procesamiento de las nubes de puntos. Este hardware de sincronización da como salida las N nubes de puntos, una por cada sistema de adquisición, o una nube de puntos conjunta uniendo unas nubes a otras en las zonas de solapamiento.

La información adquirida, es una imagen raíz de 16-Bits de 3 canales (rojo, verde y azul) en
15 los cuales se almacena toda la información 2D y 3D.

De acuerdo con una puesta en práctica de la invención, el diagrama de operaciones realizado en el procesador es el indicado en la figura 5.

20 A continuación, se detallan cada una de las etapas de acuerdo con la invención y sus diversas puestas en práctica, mostradas en la figura 5.

Etapas de la A a la E: Se dispone de una serie de procedimientos para el control del sistema de adquisición mediante el software y la descomposición de la imagen en crudo de 3
25 canales por pixel (RBG) adquirida por el sensor óptico (4) y la tarjeta de adquisición (5) en tres imágenes (una por canal): (1) mapa de alturas, (2) imagen 2D de intensidad (compendio de fotografías 2D) y (3) marcas de tiempo.

Etapas F: eliminación de vacíos, ruido y bordes. Con la entrada del mapa de alturas, el
30 procesador podrá realizar, opcionalmente, operaciones que eliminen ruido, identificando aquellas discontinuidades encontradas con un valor de área menor a un defecto posible real en la barra. También podrá rellenar agujeros de un área menor a una definida, con el valor medio de los pixeles que rodeen este agujero. Además se pueden suavizan los bordes, erosionándolos y dejando la imagen más homogénea. Estos pasos, si bien no esenciales,
35 tienen la ventaja de eliminar futuros falsos defectos y acelerar, tanto el posterior tratamiento de la imagen, como la caracterización de los defectos.

Etapa G: suavizado y aumento de contraste. El procesador podrá suavizar y/o aplanar la proyección del mapa de alturas, el cual en el caso de un cilindro será la equivalente a un círculo. Para ello se le aplica una corrección *gamma* que permite que se atenué la curvatura y que aumente el contraste.

5

Etapa H: Segmentación. La segmentación consiste en la localización dentro de una imagen de zonas (conjunto de píxeles, manchas, áreas o porciones) con las mismas características o características distintas a las de sus vecinos. Con el mapa de alturas corregido y aumentado el contraste, el procesador realiza operaciones que, mediante umbralización, detectan las discontinuidades en el mapa de alturas. Es necesario aplicar una umbralización local o adaptativa, ya que el fondo del mapa de alturas de un cilindro no es constante (en este caso no tiene el mismo Z porque es curvo) y el contraste de los defectos varía en la imagen, por lo que la umbralización estándar daría buenos resultados en una parte de la imagen, pero para el resto de la imagen, la segmentación no sería la adecuada. Por lo tanto, es necesario examinar las intensidades de la imagen en los alrededores de cada píxel (o conjunto de píxeles) y seleccionar un umbral mediante el valor medio de la distribución local de intensidad, obtenida de la imagen suavizada. Se obtiene así una región de “manchas” que será la supuesta región de defectos de la barra. Este paso de segmentación es esencial en la invención, ya que es mediante el cual se extraen los defectos en función de la profundidad de los mismos, siendo la detección y localización de los defectos objetivos de la invención.

Etapa I: eliminación de ruido y relleno de agujeros. Primero, de la región cruda de defectos se eliminan las “manchas” que sean menores a un posible defecto real, descartando falsos defectos, y se rellenan los pequeños agujeros internos de las “manchas” que componen la región.

Etapa J: Eliminación de vibraciones. Ventajosamente, el procesador podrá eliminar las vibraciones de la barra, si éstas existiesen. Esto se realiza uniendo de forma transversal las regiones obtenidas de la segmentación si éstas están separadas unos pocos mm e identificando como vibración aquellas regiones (o unión de regiones) que son perfectamente perpendiculares a la barra y de un longitud igual o similar al diámetro.

Etapa K: Eliminación de reflejos. Además, se podrán realizar operaciones que eliminen aquellas discontinuidades debidas a reflejos del láser en el material de la barra, identificando si el valor medio de Z tiene un valor por encima del que debe tener la superficie de la barra y

eliminando dicha discontinuidad, ya que los defectos como indentaciones, poros o entallas siempre tendrán un valor de Z menor al de la superficie de la barra. Obteniendo la región definitiva de defectos de la barra.

- 5 Etapa Y: objeto sin defectos. En caso de obtener una región vacía de la etapa K, el proceso habrá terminado y el resultado será, en este caso, una barra buena sin defectos.

En el caso de no obtener una región vacía en la etapa K, el proceso continúa con la etapa L.

- 10 Etapa L y M: clasificación y características de los elementos de la región. Una vez identificadas aquellas discontinuidades que pueden corresponder con defectos reales en la barra, el procesador, mediante las formas geométricas inscritas y circunscritas en las discontinuidades encontradas, las puede clasificar en longitudinales, circulares o sin orientación definida. Una vez clasificados los posibles defectos, se medirán sus dimensiones
15 máximas de longitud y anchura, independientemente de su orientación. De este modo se obtienen los primeros datos de caracterización de defectos: área, largo, ancho, posición y orientación.

- 20 Etapa N: proyecciones del defecto. Los ejes de defecto están representados por el eje y, eje mayor de la elipse que lo circunscribe, el eje x, eje menor de esta elipse, y el eje z, transversal al x e y y hacia fuera de la superficie de la barra. En esta etapa se extrae la proyección en y. Este paso es fundamental en la invención, ya que la proyección en y indica los lugares en los cuales el defecto tiene mayor profundidad (figura 6a).

- 25 Etapa O: transformaciones de la proyección vertical. Se obtiene de la proyección vertical la función equivalente y su segunda derivada. De este modo, los mínimos relativos de la proyección horizontal, que es donde la profundidad del defecto es máxima, vienen dados por los máximos de la segunda derivada (figura 6b).

- 30 Etapa P: sección de defecto en los mínimos relativos. Se secciona la región en sus mínimos (se seleccionan los 20 menores) mediante planos perpendiculares al eje y para obtener la sección del defecto en ese plano y poder posteriormente calcular su profundidad (figura 7).

- 35 Etapa Q: Transformaciones de las secciones para la obtención de la profundidad máxima y media. En estas secciones se realiza el cálculo de la profundidad del defecto mediante la altura del rectángulo en el cual se inscribe el perfil del defecto suavizado (figura 7);

considerando la mayor altura la profundidad máxima, y la media aritmética de las alturas de los rectángulos, la profundidad media.

Además, el procesador será capaz de calcular la velocidad real de la barra a través de las
5 marcas de tiempo.

Finalmente, el procesador, ya sea analizando cada una de las nubes de puntos dadas por cada sistema de adquisición de manera independiente o unificando todas ellas en una o dos nubes de puntos, será capaz de dar como salida los siguientes datos de la barra: número de
10 defectos y longitud, ancho, área, profundidad máxima y localización de cada uno de ellos.

A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin
15 exceder el objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la inspección de la superficie de una barra de combustible nuclear para la detección, localización y caracterización de defectos de forma automática, que comprende:
 - una pluralidad de sistemas de adquisición de nubes de puntos (1), estando cada sistema de adquisición compuesto por:
 - un haz lineal láser (3),
 - un sensor óptico (4),
 - y una tarjeta de adquisición de la nube de puntos (5);
 - donde el número de sistemas de adquisición, N° Sist.Adq, viene dado por la relación:

$$\text{N}^\circ \text{ Sist.Adq.} = f(\varnothing \text{ barra}) = \lceil 3 + 0.1 \varnothing \text{ barra} \rceil,$$
 siendo $\varnothing \text{ barra}$ el diámetro de la barra de combustible nuclear a inspeccionar;
 - medios de traslación para la barra de combustible nuclear;
- donde el sistema comprende además medios de procesamiento capaces de:
 - transformar la nube de puntos en un mapa de alturas Z, siendo la coordenada Z perpendicular al eje Y, que coincide con el eje longitudinal de la barra,
 - realizar una umbralización local para la segmentación del mapa de alturas y la obtención de las discontinuidades en dicho mapa;
 - clasificar las discontinuidades en distintas formas geométricas para obtener el área, largo, ancho, posición y orientación,
 - proyectar el defecto en el eje y para obtener su profundidad,
 - calcular, partiendo de la proyección del defecto en el eje y, la función equivalente y su segunda derivada para obtener los puntos donde la profundidad del defecto es máxima.
2. Sistema según la reivindicación 1, donde el procesador, tras la transformación en mapa de alturas, elimina vacíos, ruido y/o bordes.
3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde el procesador elimina las discontinuidades debidas a vibraciones.
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el procesador calcula si el valor medio de Z está por encima del que debe tener la superficie de la barra, identificando y eliminando así los reflejos.

5. Procedimiento para la inspección de la superficie de una barra de combustible nuclear para la detección, localización y caracterización de defectos de forma automática, que comprende los siguientes pasos:

- adquisición de nubes de puntos mientras la barra de combustible se mueve de manera continua a lo largo de su eje longitudinal, Y;
- transformación de la nube de puntos en un mapa de alturas Z, siendo la coordenada Z perpendicular al eje Y, que coincide con el eje longitudinal de la barra;
- umbralización local para la segmentación del mapa de alturas y la obtención de las discontinuidades en dicho mapa;
- clasificación de las discontinuidades en distintas formas geométricas para obtener el área, largo, ancho, posición y orientación,
- proyección del defecto en el eje y para obtener su profundidad,
- cálculo, partiendo de la proyección del defecto en el eje y, de la función equivalente y su segunda derivada para obtener los puntos donde la profundidad del defecto es máxima.

6. Procedimiento según la reivindicación 5 que incluye además un paso de eliminación de vacíos, ruido y/o bordes.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6 que incluye además un paso de eliminación de las discontinuidades debidas a vibraciones.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 que incluye además calcular si el valor medio de Z está por encima del que debe tener la superficie de la barra, identificando y eliminando así los reflejos

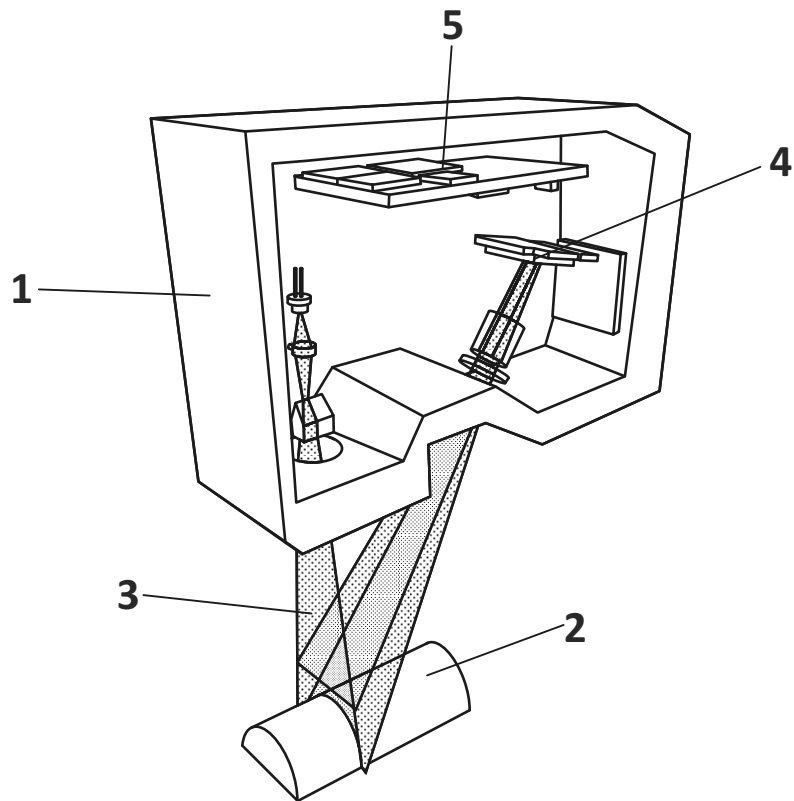


FIG. 1A

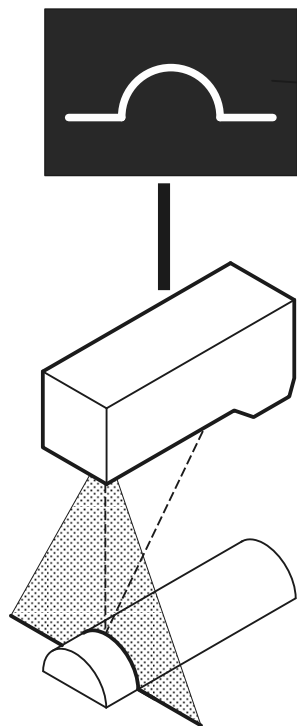


FIG. 1B

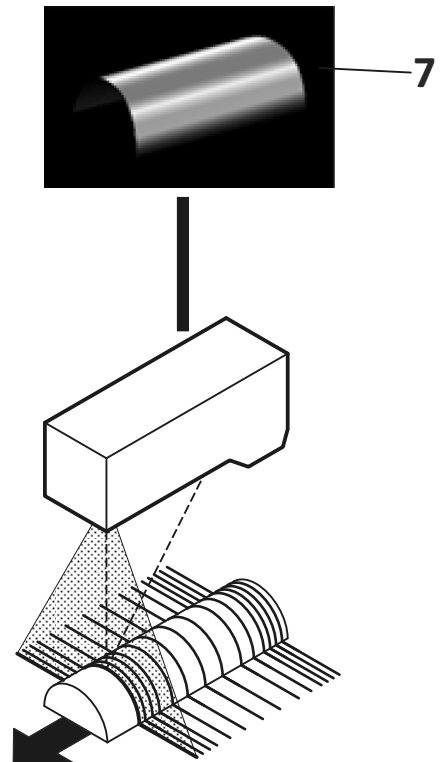


FIG. 1C

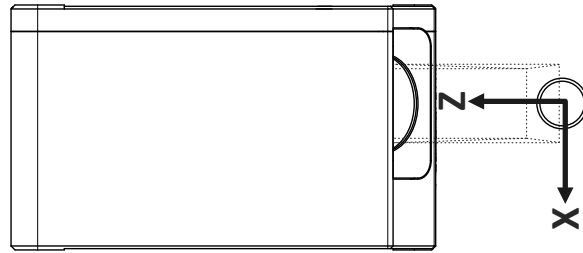


FIG. 2B

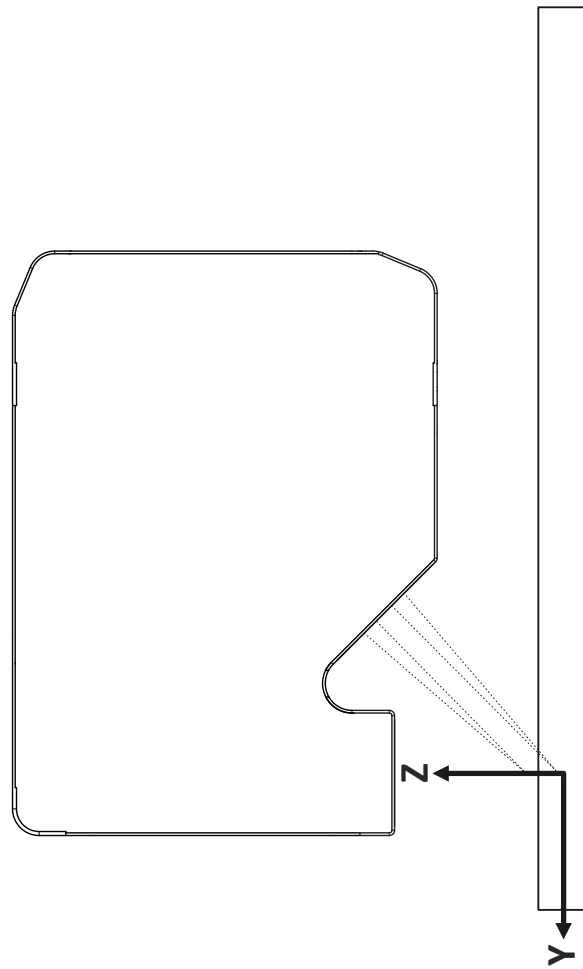


FIG. 2A

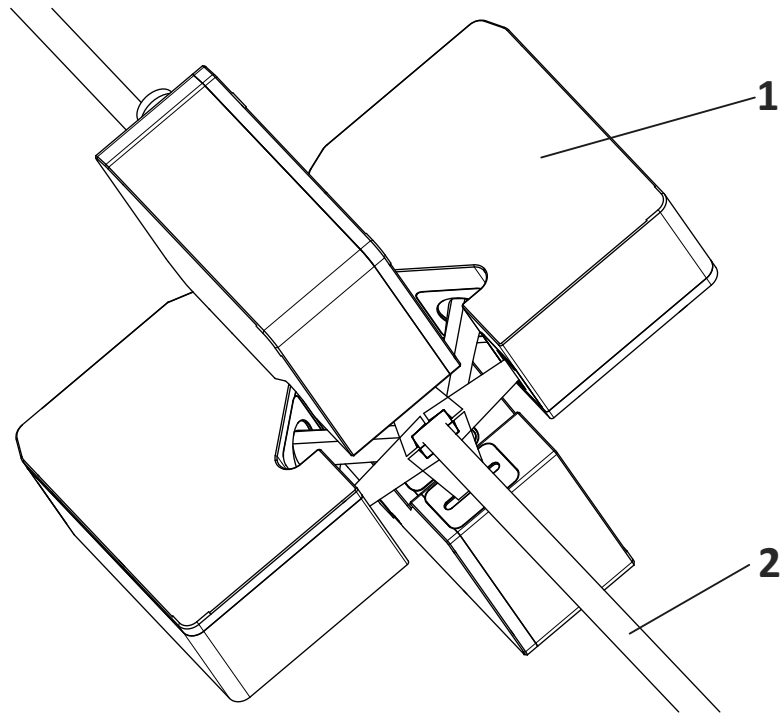


FIG. 3A

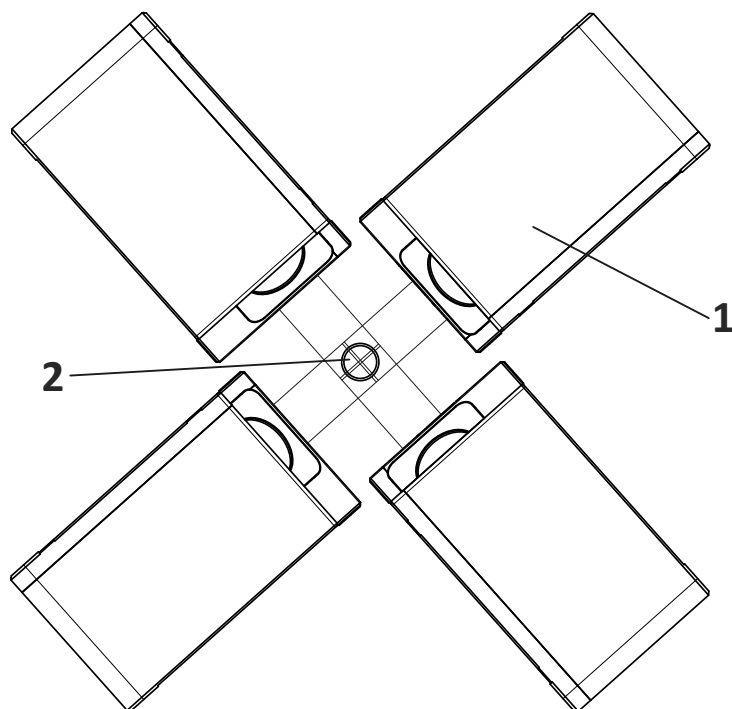


FIG. 3B

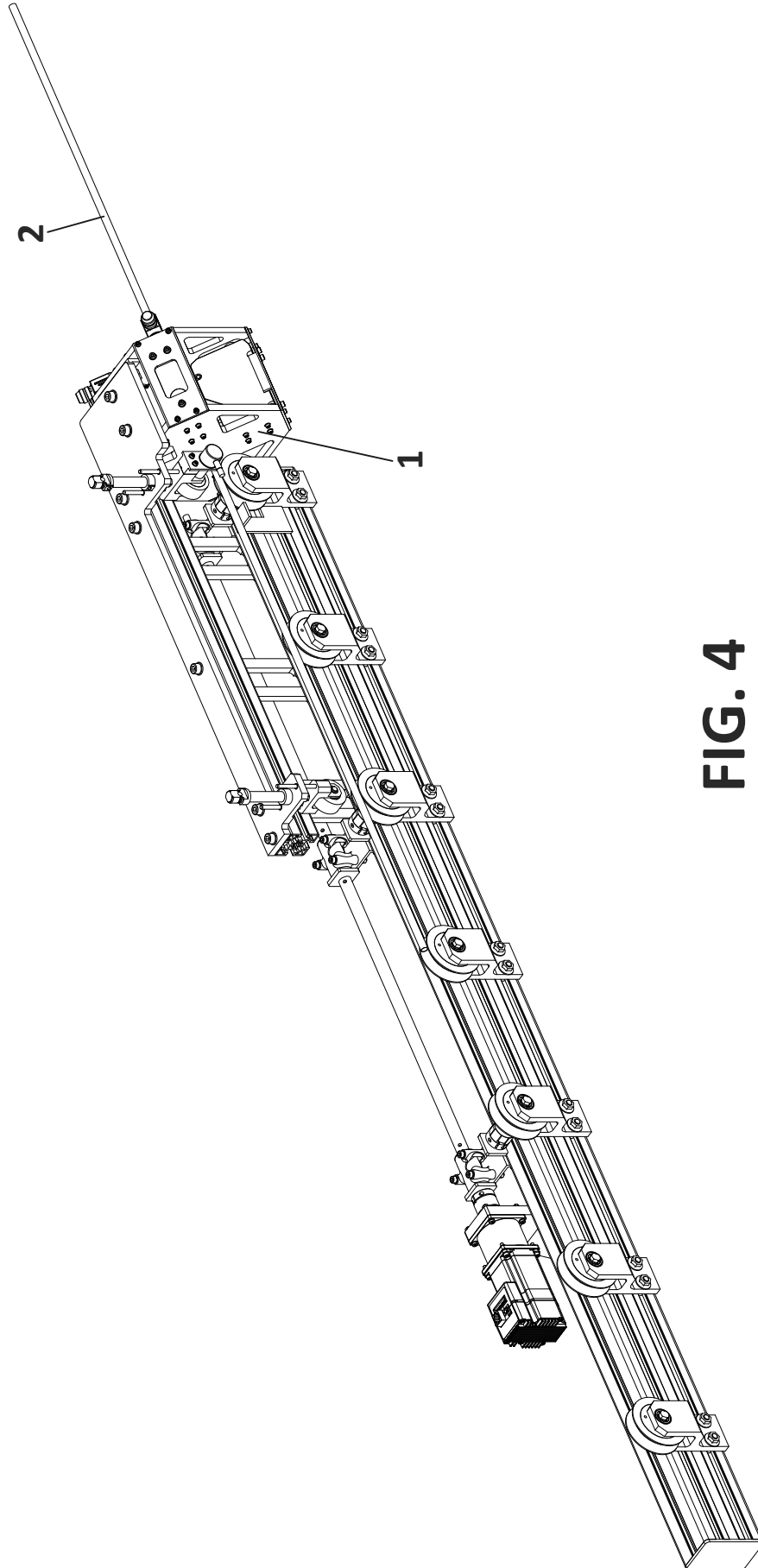
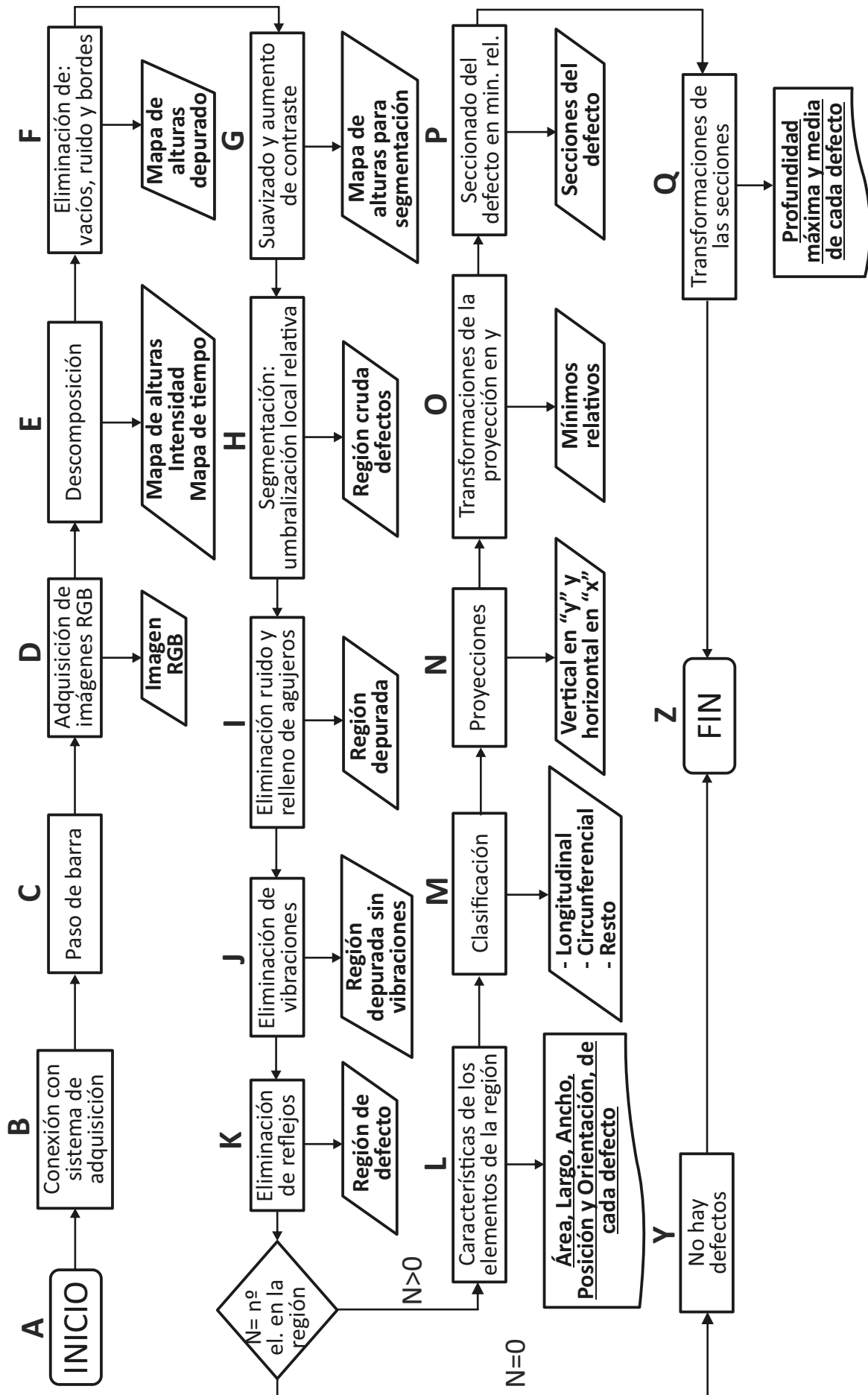


FIG. 4



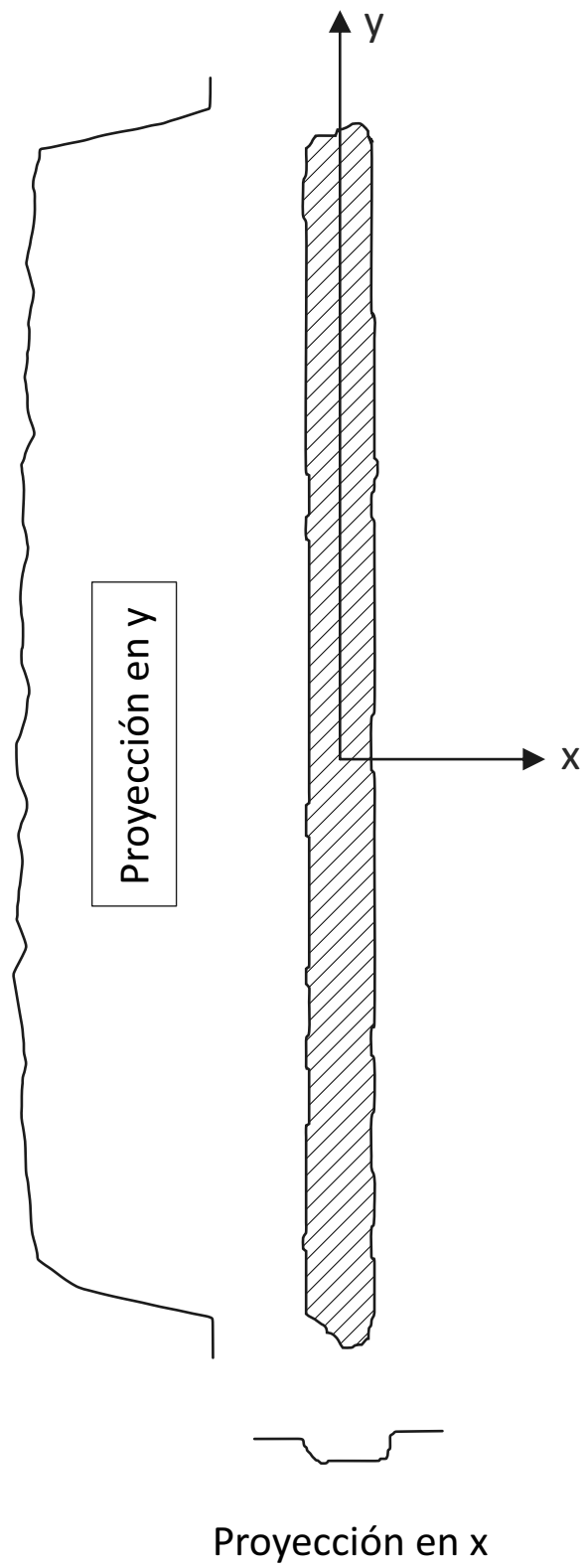


FIG. 6A

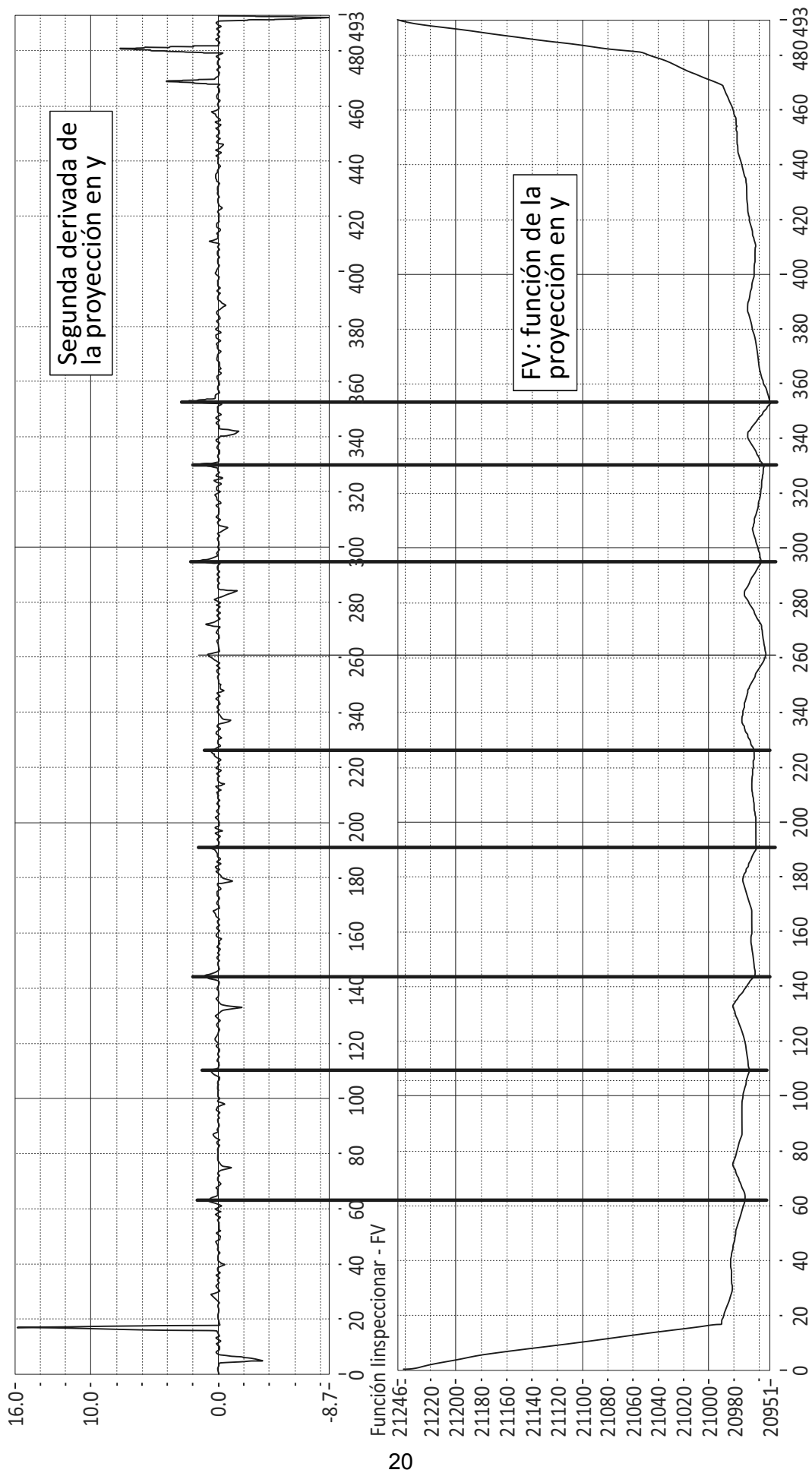


FIG. 6B

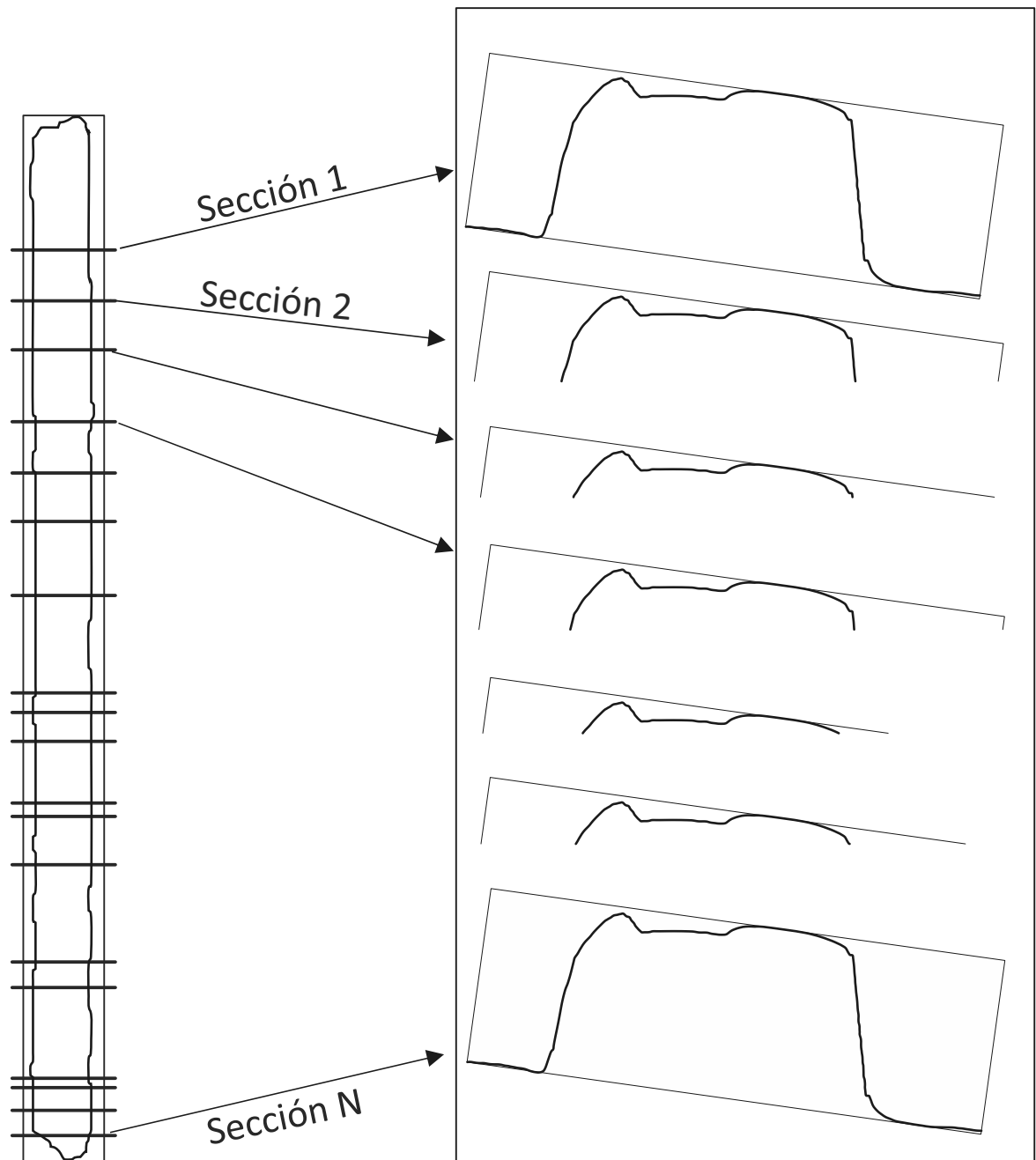


FIG. 7