

DESCRIPCIÓN

UN MÉTODO Y SISTEMA PARA DETECTAR UNA DISCONTINUIDAD DE MATERIAL EN UN ARTÍCULO MAGNETIZABLE

CAMPO TÉCNICO

Se describe un método y sistema para detectar una discontinuidad de material en un artículo magnetizable. Algunas formas de realización del método y sistema divulgados pueden tener aplicación, por ejemplo, pero sin limitación, en detectar una rotura en el artículo o un cambio en la composición del material del artículo. En una aplicación más específica, el artículo puede ser un riel, o una vía de ferrocarril.

ANTECEDENTES

El solicitante ha desarrollado una gama de tecnologías para detectar discontinuidades u otros defectos en vías de ferrocarril, y defectos en las ruedas de ferrocarril. Algunas de estas tecnologías se basan en la detección y el posterior análisis de campos magnéticos remanentes. Un ejemplo es descrito por el solicitante en su publicación de patente número US 2013/0113472. Esta publicación de los Estados Unidos describe un método de detección magnética de la profundidad de grietas. Esto mide la fuga de flujo del campo magnético remanente para una longitud de un riel de una vía de ferrocarril, y mediante la comparación de las mediciones con mediciones empíricas anteriores permite la predicción de la profundidad de una grieta. El equipo que utiliza este método ha sido comercializado con éxito.

El sistema y método divulgados en el presente documento son el resultado de la investigación y desarrollo adicional en el arte técnico de la detección magnética de discontinuidad de material.

La referencia anterior a los antecedentes del arte previo no constituye una admisión de que tal arte forma parte del marco de conocimientos generales comunes de una persona versada en la técnica. Además, la referencia anterior al arte previo no está destinada a limitar la aplicación del método y sistema descritos en el presente documento.

RESUMEN DE LA DIVULGACIÓN

En un primer aspecto, se divulga un método para detectar una discontinuidad de material en un artículo magnetizable, que comprende:

hacer transitar un magneto a lo largo del artículo para que las líneas de flujo magnético de un campo magnético activo del magneto formen un bucle a través del artículo y acoplen magnéticamente el magneto con el artículo;

colocar al menos un sensor de acoplamiento de campo magnético en una posición fija en relación al magneto y en el campo magnético activo del magneto, donde el al menos un sensor de acoplamiento transita a lo largo del artículo con el magneto para muestrear el acoplamiento magnético entre el magneto y el artículo; y

analizar el acoplamiento magnético medido en el campo magnético activo en busca de un cambio en el acoplamiento magnético durante el tránsito del magneto, y utilizar el cambio en el acoplamiento magnético para detectar una discontinuidad en el artículo.

En una forma de realización, analizar la información comprende hacer una determinación del tamaño de la discontinuidad.

En una forma de realización, el al menos un sensor de acoplamiento está dispuesto para detectar al menos la dirección del flujo magnético que hace bucles a través del artículo.

En una forma de realización, el al menos un sensor de acoplamiento está dispuesto para detectar al menos la densidad de flujo magnético que hace bucles a través del artículo.

En una forma de realización, el artículo es un riel para un vehículo de transporte ferroviario. En cualquier otra forma de realización alternativa, el artículo es una rueda para un vehículo de transporte ferroviario.

En una forma de realización, el método comprende adquirir muestras longitudinales del campo magnético a lo largo del riel, de manera simultánea con la adquisición de muestras del acoplamiento magnético desde los uno o más sensores de acoplamiento;

entre los instantes en los cuales las muestras son adquiridas, mover: el magneto, los sensores de acoplamiento y los sensores de desplazamiento, en una yuxtaposición fija en relación unos con otros a lo largo del artículo; y

utilizar las muestras de los sensores de desplazamiento para proporcionar una estimación del desplazamiento del magneto a lo largo del artículo entre los instantes sucesivos de muestreo.

En una forma de realización, utilizar las muestras de los sensores de desplazamiento para proporcionar una estimación del desplazamiento del magneto comprende hacer una correlación cruzada de las muestras adquiridas desde los sensores de desplazamiento en instantes sucesivos de muestreo.

En una forma de realización, el método comprende combinar las muestras de los sensores de acoplamiento y de los sensores de desplazamiento para proporcionar una indicación del acoplamiento de campo magnético a través de una discontinuidad en el dominio de desplazamientos. En un segundo aspecto, se divulga un sistema para detectar una discontinuidad de material en un artículo magnetizable, que comprende:

un magneto capaz de transitar a lo largo del artículo para que las líneas de flujo magnético de un campo magnético activo del magneto formen un bucle a través del artículo y acoplen magnéticamente el magneto con el artículo;

al menos un sensor de campo magnético colocado en una posición fija en relación al magneto y en el campo magnético activo del magneto, donde el al menos un sensor transita a lo largo del artículo

con el magneto, y está dispuesto para medir el acoplamiento magnético entre el magneto y el artículo.

En una forma de realización, el sistema además comprende un sistema de análisis de flujo magnético dispuesto para analizar la información relativa al flujo magnético proporcionada por el al menos un sensor, para proporcionar una indicación de una característica de la discontinuidad que penetra la superficie.

En una forma de realización, el al menos un sensor de acoplamiento de campo magnético es uno de una pluralidad de sensores de acoplamiento dispuestos en un arreglo en una dirección transversal a la dirección de tránsito del magneto a lo largo del artículo.

En una forma de realización, el sistema comprende un sensor de desplazamiento que adquiere muestras del campo magnético en múltiples ubicaciones espaciadas longitudinalmente a lo largo del riel, de manera simultánea con la adquisición de muestras del acoplamiento magnético desde los uno o más sensores de acoplamiento.

En un tercer aspecto, se divulga un método para estimar el desplazamiento espacial con respecto a una respuesta del campo magnético de un artículo que comprende:

adquirir múltiples muestras del acoplamiento de campo magnético entre un artículo y un magneto a una frecuencia de muestreo conocida, donde el magneto es capaz de moverse en una dirección para transitar una longitud del artículo, y donde las múltiples muestras son adquiridas simultáneamente en cada una de una pluralidad de ubicaciones que están espaciadas unas de otras en la dirección de la longitud del artículo;

en un período entre los instantes sucesivos de muestreo, mover el magneto y un aparato capaz de adquirir las muestras en una relación espacial fija unas respecto de otras a lo largo del artículo; y

procesar las múltiples muestras adquiridas para proporcionar una estimación del desplazamiento del magneto a lo largo del artículo entre los instantes sucesivos de muestreo.

En un cuarto aspecto, se divulga un método para facilitar la caracterización de una discontinuidad de material en un artículo ferromagnético, que comprende:

aplicar un campo magnético al artículo;

adquirir múltiples muestras del acoplamiento de campo magnético entre el magneto y el artículo a una frecuencia de muestreo conocida;

en un período entre los instantes sucesivos de muestreo, mover un aparato capaz de aplicar el campo magnético y adquirir las muestras en una relación espacial fija unas respecto de otras a lo largo del artículo;

procesar las múltiples muestras adquiridas para proporcionar una estimación del desplazamiento del aparato a lo largo del artículo entre los instantes sucesivos de muestreo;

utilizar las estimaciones de desplazamiento para facilitar la caracterización de la característica en el artículo.

En una forma de realización, adquirir múltiples muestras del acoplamiento de campo magnético comprende adquirir un primer conjunto de muestras en cada una de una pluralidad de ubicaciones que están espaciadas unas de otras en la dirección de movimiento del artículo; y un segundo conjunto de muestras en cada una de una pluralidad de ubicaciones que están espaciadas unas de otras transversalmente a la dirección de movimiento del artículo.

En una forma de realización, procesar las múltiples muestras adquiridas para proporcionar una estimación del desplazamiento comprende hacer una correlación cruzada de las muestras adquiridas en instantes sucesivos de muestreo desde la pluralidad de ubicaciones que están espaciadas unas de otras en la dirección de la longitud del artículo o en la dirección de movimiento del artículo.

En un quinto aspecto, se divulga un método para detectar una rotura en una vía de ferrocarril, el método comprende:

adquirir una o más muestras del acoplamiento de campo magnético entre un magneto y un riel en una vía de ferrocarril para facilitar una estimación de la profundidad de una grieta en el riel;

simultáneamente, adquirir muestras longitudinales del acoplamiento de campo magnético a lo largo del riel;

entre instantes en los cuales las muestras son adquiridas, mover un aparato capaz de adquirir las muestras a lo largo del riel;

utilizar las muestras longitudinales para proporcionar una estimación del desplazamiento del aparato a lo largo del riel entre instantes sucesivos de muestreo para facilitar una estimación de la anchura de la grieta; y

procesar las estimaciones de la profundidad y de la anchura para permitir que la característica que penetra la superficie sea caracterizada como una de una pluralidad de características, incluyendo una rotura en el riel.

En un sexto aspecto, se divulga un sistema para estimar el desplazamiento espacial a lo largo de un artículo magnetizable con respecto a un defecto, suficiente como para provocar un cambio detectable en el límite de la polarización natural de un campo magnético activo acoplado con el artículo, que comprende:

un aparato que soporta al sistema de medición del campo magnético, dispuesto para detectar la fuerza del campo magnético en múltiples ubicaciones espaciadas en una dirección longitudinal del artículo en cada instante de muestreo a una frecuencia de muestreo conocida, el aparato es capaz de moverse en la dirección longitudinal a lo largo del artículo; y

un procesador dispuesto para procesar la fuerza del campo magnético medida en múltiples ubicaciones en instantes sucesivos de muestreo para proporcionar una estimación del desplazamiento del aparato en cada instante de muestreo a lo largo del artículo en las cercanías del defecto.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Sin perjuicio de cualquier otra forma de realización que pueda entrar dentro del alcance de la aplicación del sistema y método como han sido presentados en el resumen, algunas formas de realización específicas serán descritas, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de una parte del sistema divulgado para detectar una discontinuidad de material en una porción de un artículo magnetizable que está libre de cualquier discontinuidad de material;

La figura 2 es una representación esquemática del sistema divulgado que se muestra en la figura 1, para una porción de un artículo magnetizable que incluye una discontinuidad de material;

La figura 3 es una representación de las señales generadas por el sistema cuando transita una porción del artículo magnetizable con y sin una discontinuidad de material;

La figura 4 es una representación esquemática en elevación de planta de una segunda forma de realización del sistema divulgado;

La figura 5 es una representación esquemática de una tercera forma de realización del sistema divulgado que incorpora un sistema y método de medición/estimación de desplazamiento espacial;

La figura 6 es una representación de una posible señal desde el arreglo de sensores que se extiende en la dirección del artículo utilizado en las formas de realización del sistema y método para la medición/estimación de desplazamiento espacial del sistema que se muestra en la figura 5;

La figura 7 es una representación de la firma de flujo de cada uno de los sensores en el arreglo de sensores que se muestra en la figura 4;

Las figuras 8a - 8d proporcionan una representación gráfica de un proceso de transformación de una muestra basada en el tiempo a la información de desplazamiento correspondiente;

La figura 9 ilustra un conjunto de resultados de pruebas que muestran desplazamiento predichos utilizando una forma de realización del sistema y método de medición/estimación de desplazamiento espacial que se muestra en la figura 6, contra un desplazamiento real de un milímetro;

La figura 10 ilustra la técnica del arte previo para la realización de pruebas no destructivas que utilizan mediciones de fuga de flujo;

La figura 11 es una representación de una forma de realización adicional del sistema divulgado; y

La figura 12 es una representación de otra forma de realización adicional del sistema divulgado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN ESPECÍFICAS

Las figuras 1 y 2 representan una forma de realización de la divulgación del sistema 10 y método asociado para detectar una discontinuidad de material en un artículo magnetizable. El término "discontinuidad de material" a lo largo de esta memoria descriptiva tiene la intención de incluir

cualquier discontinuidad en el material del artículo, tales como grietas, resquebrajamiento, fisuras, soldaduras, acoplamiento o incrustación de un dispositivo o sensor en el artículo, o cualquier otro cambio en las propiedades del material del artículo, para el caso en que la discontinuidad penetre o no penetre la superficie del artículo. En la forma de realización ilustrada, el artículo magnetizable es un riel 12 de una vía de ferrocarril. El riel 12 se muestra de lado y tiene una superficie superior de contacto 14.

El sistema 10 tiene una unidad de sensor 16 que incluye un magneto 18 y al menos un sensor de acoplamiento de campo magnético S. En esta forma de realización particular, el magneto 18 está orientado de modo que su polo norte enfrenta la superficie de contacto 14. El sistema 10 soporta al magneto 18 a una altura fija por encima de la superficie de contacto 14. Las líneas de flujo magnético 22 forman un bucle desde el polo norte al polo sur. El magneto 18 es soportado a una distancia por encima del riel 12 de modo que las líneas de flujo magnético 22 forman un bucle a través del riel 12.

El campo magnético del magneto 18 hace que la superficie 14 del riel 12 directamente debajo del magneto 18 se polarice de manera opuesta al polo del magneto 18 que está frente a la superficie, y las regiones distantes al magneto 18 se polarizan de manera inversa. Un límite natural 24 se crea en la superficie 14, en cualquier instante en el tiempo, en las cercanías del magneto 18, donde la polarización magnética hace una transición de norte a sur.

El sensor de acoplamiento S se coloca y se sostiene en una posición fija respecto al campo magnético, y se encuentra dentro del campo magnético activo del magneto 18. El sensor de acoplamiento S, que puede ser un sensor de efecto Hall, es capaz de detectar las características del flujo 22. Las características incluyen uno, o preferentemente ambos, de la dirección del flujo 22 y la densidad de flujo o fuerza de campo. Esto, en efecto, mide el acoplamiento de flujo entre el riel 12 y el magneto 18.

La unidad de sensor 16 del sistema 10 se hace transitar a lo largo de la dirección de la longitud del riel 12. Las señales desde el sensor de acoplamiento S son alimentadas a un sistema de análisis 20 que pueden realizar varias operaciones sobre las señales. Esto incluye el registro de la fuerza de la señal (campo magnético) a lo largo del riel 12, por ejemplo como se muestra en la figura 3, y/o realizar operaciones matemáticas en la señal para determinar si la señal es representativa de una discontinuidad de material y, en caso afirmativo, el tipo de discontinuidad.

En la figura 1, la porción del riel 12 no tiene una discontinuidad de material significativa. Una representación de la señal obtenida desde el sensor de acoplamiento S del sistema 10 que transita esa porción puede tomar una forma como se muestra mediante la curva C1 que se muestra en la figura 3. En esencia, esto es simplemente una firma de ruido de una amplitud relativamente pequeña y de polaridad constante.

La figura 2 representa al sistema 10 en un instante de tiempo en que transita por una discontinuidad de material 30 en el riel 12. En este ejemplo específico, la discontinuidad tiene la forma de una rotura o una grieta en el riel. La discontinuidad/grieta 30 crea un límite de polarización artificial 24a en el riel 12. En efecto, la discontinuidad/grieta 30 desplaza la ubicación del límite natural 24 como se muestra en la figura 1, que existiría en la ausencia de la grieta 30. El cambio efectivo en el límite de polarización desde el límite natural 24 al límite artificial 24a creado por la grieta 30 distorsiona

el flujo 22 del campo magnético activo detectado por el sensor S, produciendo un cambio en el acoplamiento de flujo entre el magneto 18 y el riel 12. La distorsión puede ser en términos tanto de la dirección del flujo magnético como de su densidad. En particular, la densidad se espera que sea superior o que esté concentrada cerca de los bordes de la discontinuidad/grieta 30.

La curva C2 de la figura 3 es representativa del acoplamiento del flujo magnético (es decir, la firma de flujo) a través de la discontinuidad/grieta 30 y en sus cercanías inmediatas. La firma muestra una variación o perturbación significativa en comparación con la curva C1. La firma puede ser analizada o comparada con el resultado derivado empíricamente para habilitar una determinación en cuanto a la naturaleza de la discontinuidad de material específica.

El sistema de análisis 20 incorporado en el sistema 10 puede analizar la firma C2 para caracterizar una discontinuidad en la base a características tales como la amplitud de la perturbación y la anchura de la perturbación.

El sistema de análisis 20, que está dispuesto para procesar las señales desde el sensor(s) y proporcionar una indicación del cambio en las propiedades del material, puede realizar al menos los siguientes pasos de procesamiento de señales:

- Filtrado de las señales en base al tiempo de paso bajo, para reducir el ruido.
- Filtrado en base al desplazamiento de paso alto, para detectar componentes de señal con una frecuencia específica, indicativa de tipos particulares de discontinuidades, por ejemplo una grieta que penetra la superficie o una soldadura en un riel. Tales frecuencias pueden ser obtenidas por la medición empírica de características conocidas o características medibles de manera separada.
- Medir la señal pico a pico y el gradiente de la señal de manera posterior al filtrado descrito, para determinar la gravedad o el tamaño de la discontinuidad.

Algunas formas de realización del sistema 10 pueden detectar discontinuidades de material tales como, pero sin limitarse a, grietas que penetran la superficie, que pueden tener una anchura en el orden de aproximadamente 0,1 mm o más, un cambio en la composición del material que pudiera surgir de una soldadura en el riel 12, o un dispositivo sobre o en línea con el riel, tal como un switch. En una forma de realización, el magneto 18 puede producir un campo magnético de aproximadamente 0,023 tesla en un punto en el que pasa a través del sensor o sensores S, con el sensor o sensores S estando espaciados aproximadamente 40 mm por encima del artículo 12 y aproximadamente 40 mm hacia el lado del magneto 18. El magneto 18 mismo puede estar aproximadamente 20 mm por encima del artículo 12. Durante el funcionamiento, la unidad de sensor 16 puede transitar a una velocidad de entre 0-140m/s.

La detección o medición del acoplamiento de flujo o cambios en el acoplamiento de flujo en el método y sistema divulgado es diferente y distinguible de la medición de fugas de flujo, común en pruebas no destructivas (NDT). La figura 10 ilustra una disposición general para medir la fuga de flujo. Aquí, las líneas de flujo 40 circulan a través del magneto M1, el artículo/riel 12, el magneto M2 y el aire libre 42. El riel tiene un defecto en la superficie, por ejemplo, una quebradura 30a que causa una vía de fuga 45 del flujo desde el riel 12 y de vuelta hacia el riel 12. El flujo fugado desde el riel es detectado por un sensor 44. Esto se contrasta con la forma de realización del actual sistema

10, donde es el acoplamiento de flujo a través del aire entre el riel 12 y el magneto 18 que es utilizado para determinar la existencia de una discontinuidad de material.

Se pueden obtener resultados mejorados proporcionando un arreglo de sensores de acoplamiento S0-S10 (en adelante referidos como "sensores Sn") en lugar de un único sensor de acoplamiento S. El arreglo de sensores de acoplamiento Sn estaría dispuesto en una línea transversal a la dirección de movimiento de la unidad de detección 16, tal como se muestra en la figura 4. Para el caso de que el artículo magnetizable sea un riel 12, el arreglo de sensores de acoplamiento Sn está dispuesto para extenderse transversalmente en toda la superficie de contacto 14.

Se puede ver que la curva C2 en la figura 3 muestra la fuerza del flujo magnético (es decir, el acoplamiento de flujo) medida contra el desplazamiento y en las cercanías inmediatas a la discontinuidad/grieta 30. Se puede medir un desplazamiento de varias maneras tradicionales, como por ejemplo, mediante GPS, lecturas de un tacómetro, o mediciones de velocidad contra el tiempo. Sin embargo, la divulgación del sistema 10 y el método asociado pueden ser mejorados adicionalmente para facilitar una estimación del desplazamiento espacial en la dirección de tránsito, a través del límite artificial 30, únicamente por medio de la medición del tiempo y del campo magnético. Esto, por lo tanto, elimina la necesidad de un sistema GPS integrado, tacómetros de ruedas o mediciones de velocidad.

La figura 5 ilustra un sistema 10a mejorado, que crea su propio dominio espacial, en combinación con el arreglo de sensores de acoplamiento Sn de la forma de realización que se muestra en la figura 4. El sistema 10a comprende un sistema de medición del campo magnético, dispuesto para detectar la fuerza del campo magnético en múltiples ubicaciones espaciadas en una dirección longitudinal D del artículo, que en este ejemplo es el riel 12. El sistema de medición del campo magnético tiene la forma de un arreglo de sensores de desplazamiento B0-B10 (en adelante referidos generalmente como "sensores de desplazamiento Bn"). La dirección longitudinal D es una de las direcciones opuestas que van paralelas a la longitud del riel 12. La unidad de sensor 16 está dispuesta para recoger las lecturas de cada uno de los sensores Bn en cada instante de muestreo. Los sensores de desplazamiento Bn pueden tener la forma de sensores de efecto Hall.

El arreglo de sensores de desplazamiento Bn está dispuesto de manera paralela a la dirección D, y ubicado dentro de la unidad 16, de manera que se encuentre a lo largo de una línea central del riel 12. Sin embargo, se debe comprender que el arreglo de sensores de desplazamiento Bn no necesariamente debe estar a lo largo de la línea central del riel 12, o en otro artículo en el que se utilice el sistema 10. El propósito del arreglo de sensores Bn es el proporcionar una estimación del desplazamiento de la unidad 16 con referencia a la presencia de la discontinuidad/grieta 30.

El acoplamiento/fuerza de campo magnético medido desde los sensores Bn a un instante de muestreo se traza en la figura 6, en una forma de onda que se derivaría de una medición de la fuerza de campo en las cercanías de la discontinuidad/grieta 30. La línea F representa la línea central de la discontinuidad/grieta 30. En este instante de muestreo particular, el sistema 10a se encuentra en una posición tal que la discontinuidad/grieta 30 está en una región entre los sensores B7 y B8.

Se debe tener en cuenta que el sistema 10a no recibe información de la velocidad o del desplazamiento desde fuentes externas. Los sensores de acoplamiento Sn capturan mediciones de fuerza/acoplamiento del campo magnético en cada instante de muestreo. Esto puede ser utilizado

para categorizar la firma magnética del campo magnético acoplado, y permitir así la caracterización de la discontinuidad/grieta 30 en términos de su anchura transversal, su longitud y su profundidad. Sin embargo, sin saber que tan lejos viaja la unidad 16 en cada instante de muestreo, el determinar las características del acoplamiento de campo magnético, y por lo tanto la característica de anchura en la discontinuidad/grieta 30 en la dirección de D, se convierte en problemático.

La figura 7 muestra señales reconstruidas con base espacial desde cada uno de los sensores S_n , cuando la unidad 16 pasa por encima de la discontinuidad/grieta 30 en el riel 12. El cambio en la medición del campo magnético desde la unidad de sensor 16 permite la determinación del desplazamiento de la forma de onda que se muestra en la figura 2 en la extensión del arreglo de sensores B_n , y por lo tanto la distancia que la unidad 16 se desplaza en el carril 18. La discontinuidad/grieta 30 puede clasificarse (por ejemplo, como un riel roto, resquebrajado, etc.) en base a la información en este conjunto reconstruido de señales.

El procesamiento de las señales recibidas de los sensores de desplazamiento B_n en instantes de muestreo secuenciales permite la determinación, o al menos una predicción, de la distancia recorrida por la unidad 16 entre los instantes de muestreo sucesivos. Esto permite la reconstrucción de las señales recibidas desde los sensores de acoplamiento S_n en el dominio de desplazamiento, que a su vez permite obtener la información de la anchura, y por lo tanto una clasificación de la discontinuidad/grieta 30, como por ejemplo un riel roto.

Las figuras 8a - 8b ilustran un método de procesamiento para utilizar las mediciones desde los sensores de desplazamiento B_n en instantes sucesivos de muestreo, para determinar el desplazamiento. La figura 8a muestra la fuerza del campo magnético dentro del campo magnético activo, tal como es medido por cada uno de los sensores B_n en un instante de muestreo. Por lo tanto los puntos $B_0 - B_{10}$ en la figura 8a representan la fuerza/acoplamiento de campo del campo magnético a través de la discontinuidad/grieta 30 detectada por los sensores respectivos. En efecto, la figura 8a está representando la firma magnética de la discontinuidad/grieta 30 en un instante en el tiempo.

La siguiente etapa en el procesamiento de las señales para determinar el desplazamiento es el ajustar una curva entre los puntos de muestreo $B_0 - B_{10}$. En este ejemplo, esto se logra por medio de la interpolación Spline cúbica entre los puntos de muestreo que se muestran en la figura 8b.

En el siguiente instante de muestreo, un segundo conjunto de mediciones de la fuerza del campo magnético es tomado por los sensores de desplazamiento $B_0 - B_{10}$. Estas son mostradas en la figura 8c como muestras $B'_0 - B'_{10}$. Se debe apreciar que, en este segundo instante de muestreo, la unidad 16 se ha movido una distancia a lo largo del riel 12. Pero esta distancia de desplazamiento no es conocida en este momento en el tiempo. Sin embargo, el tiempo entre las tomas de muestras es conocido, ya que éste puede ser determinado a partir de la frecuencia de muestreo conocida.

En la figura 8c, la distancia Δx , siendo la distancia horizontal a lo largo de la Spline cúbica entre las mediciones de la fuerza de campo magnético de un mismo sensor B_n , no es conocida. Esto es lo mismo que el desplazamiento físico de la unidad 16 entre instantes sucesivos de muestreo. Mediante el procesamiento de los conjuntos de muestras, es posible estimar la distancia Δx . Una posible técnica o método de procesamiento, es correlacionar de manera cruzada el conjunto de muestras dentro de la Spline cúbica hasta que el error de correlación sea minimizado. La cantidad

de desplazamiento en el punto de error de correlación mínimo equivale al desplazamiento Δx estimado.

De manera acorde, en esta etapa tanto Δx es conocido, como también la frecuencia de muestreo. Esto también permite calcular una estimación de una velocidad de desplazamiento de la unidad 16. Debe reconocerse que esta velocidad se calcula sin la necesidad de información externa desde el vehículo (por ejemplo al cual el sistema 10a está conectado). Así, el sistema 10a permite la estimación de la distancia recorrida por la unidad 16 entre instantes sucesivos de muestreo y la velocidad lineal general de la unidad 16. No obstante, si se desea, y particularmente si está fácilmente disponible a partir del equipamiento integrado existente, los datos de distancia o cálculos derivados en el exterior del sistema 10a se pueden utilizar de manera adicional a la información del sistema 10a, para proporcionar una comprobación de errores o una auditoría.

Aquellas personas versadas en la materia técnica podrán reconocer que este proceso sólo será preciso cuando exista una discontinuidad/grieta 30 que pueda ser detectada por la unidad 16. Si no hay ninguna discontinuidad/grieta 30 u otra característica para producir un cambio en el acoplamiento de flujo en el campo magnético activo, entonces este proceso se descompone y no proporciona información útil o fiable. Sin embargo, esto no tiene ninguna consecuencia en un sentido práctico. La razón de esto es que si no hay variación de acoplamiento del flujo magnético para su detección, entonces no hay una discontinuidad/grieta 30 en la vía que sea motivo de preocupación.

Por lo tanto, al usar el procesamiento descrito más arriba en relación con las figuras 8a - 8d, el desplazamiento a lo largo de la firma magnética puede ser calculado en tiempo real. Esto permite la reconstrucción de un muestreo basado en el tiempo del arreglo Sn para que sea un muestreo de base espacial.

La figura 9 muestra un conjunto de resultados de pruebas donde la unidad 16 se desplaza secuencialmente en una distancia conocida de un milímetro entre instantes de muestreo, en comparación con la distancia resultante tal como es medida o calculada por una forma de realización del presente método y sistema.

La onda C1 es el flujo magnético medido a lo largo de una sección de cuatro (4) metros de riel 12, y que tiene una discontinuidad/grieta 30. La discontinuidad/grieta 30 produce el pico en la onda C1. En el lado izquierdo hay una escala que muestra el desplazamiento predicho mediante el sistema y método divulgados. El desplazamiento real es un milímetro. El desplazamiento estimado es mostrado por la curva C2. Esto muestra un error máximo de aproximadamente 0,18 milímetros en una región donde hay poca variación en la firma de campo magnético. Sin embargo, en la región donde el pico en la onda C1 existe, el desplazamiento estimado está extremadamente cerca del desplazamiento conocido de 1 milímetro. Como se ha mencionado anteriormente, la falta de precisión en las regiones donde no hay picos o cambios significativos en la fuerza del campo magnético, es de poco valor práctico.

El arreglo de sensores Bn que permite la medición/estimación del desplazamiento espacial y el arreglo de sensores Sn de campo activo, son independientes uno del otro en términos de su operación y de la información/datos que proporcionan. El arreglo de sensores Sn puede ser utilizado por ejemplo con los sistemas tradicionales de medición de desplazamiento, en lugar de con el

arreglo de sensores Bn. De manera similar, el arreglo de sensores Bn puede ser utilizado de manera totalmente independiente, como un método y sistema modular de estimación de desplazamiento espacial con respecto a una respuesta magnética asociada con una anomalía en un artículo. En términos generales, el método comprende: aplicar un campo magnético a un artículo tal como, pero sin limitarse a, un riel 12 o una rueda para rieles; adquirir múltiples muestras de campo magnético, a una frecuencia de muestreo conocida, de la respuesta magnética del artículo sobre o en el campo magnético aplicado; en un período entre los instantes sucesivos de muestreo, mover un aparato capaz de adquirir las muestras en relación al artículo; y procesar las múltiples muestras adquiridas para proporcionar una estimación del desplazamiento del aparato entre los instantes sucesivos de muestreo.

El sistema correspondiente para estimar el desplazamiento espacial con respecto a una respuesta magnética de un artículo a un campo magnético aplicado en términos generales comprende: un aparato que soporta al sistema de medición del campo magnético, dispuesto para detectar las características del campo magnético en múltiples ubicaciones espaciadas en una dirección longitudinal del artículo en cada instante de muestreo a una frecuencia de muestreo conocida, el aparato es capaz de moverse en la dirección longitudinal a lo largo del artículo; y un procesador dispuesto para procesar la fuerza del campo magnético medida en múltiples ubicaciones en instantes sucesivos de muestreo para proporcionar una estimación del desplazamiento del aparato en cada instante de muestreo en relación al campo magnético.

Mientras que se han descrito formas de realización específicas del sistema y método, se debe apreciar que el sistema y método pueden ser materializados en muchas otras formas. Por ejemplo las figuras 1, 2, 4 y 5 muestran los sensores Sn, Bn ubicados en el lado del magneto 18. Sin embargo éstos se podrán organizar simétricamente por debajo del magneto 18 en la unidad 16, tal como se muestra en la figura 11. Así, en esta forma de realización, los sensores están entre el magneto 18 y el riel 12. La ubicación relativa del magneto(s) y de los sensores en el campo magnético activo producido por el magneto(s) no es crítica para las formas de realización del sistema y método asociado. La única limitación práctica es que, dado que la fuerza del campo magnético disminuye con el cuadrado de la distancia, los sensores deben estar lo suficientemente cerca o el campo debe tener la fuerza suficiente, de modo que las variaciones en el acoplamiento queden dentro de la sensibilidad de los sensores de medición Sn, Bn.

En una variación adicional que se muestra en la figura 12, en lugar de un magneto 18 para producir el campo magnético activo, tal como en los sistemas 10 y 10a, algunas formas de realización del sistema 10, 10a pueden tener más de un magneto para producir el campo magnético activo. La figura 12 muestra un sistema 10b que tiene dos magnetos 18 y 18b, entre los cuales se pueden ubicar uno o ambos arreglos de sensores Sn, Bn.

En otra variación adicional, en lugar de un único arreglo longitudinal de sensores de desplazamiento Bn y un solo arreglo de sensores de acoplamiento Sn, algunas formas de realización del sistema 10a pueden estar proporcionadas con una matriz rectangular (incluyendo un cuadrado) de sensores Bn, Sn, que tiene dos o más arreglos lineales de sensores Sn y/o Bn. Por ejemplo una forma de realización del sistema 10a puede tener un arreglo cuadrado de 11 x 11 sensores. Las señales desde los sensores en arreglos transversales se procesan como sensores de acoplamiento Sn, tal como se describe anteriormente, mientras que las señales de arreglos longitudinales son procesadas como

sensores de desplazamiento B_n , tal como se describe anteriormente. Se cree que esto puede proporcionar una precisión y caracterización mejoradas de las discontinuidades de material. La implementación de esta forma de realización requerirá sensores y procesamiento adicionales.

En las reivindicaciones que siguen, y en la descripción anterior, salvo cuando el contexto exija lo contrario debido al texto expreso o como una consecuencia necesaria, el término "comprende", y variaciones tales como "que comprende" o "comprendiendo", son utilizados en su sentido más amplio, es decir, para especificar la presencia de tal característica pero sin excluir la presencia o adición de características adicionales en otras formas de realización del método y sistema tal como son descritos en el presente documento.