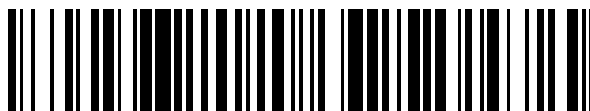


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 654**

51 Int. Cl.:

B61K 9/10 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

G01N 23/18 (2008.01)

G01N 27/83 (2006.01)

B61L 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2017** **PCT/US2017/023480**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.09.2017** **WO17165461**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2017** **E 17771021 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3433154**

54 Título: **Procedimiento y sistemas pasivos y activos combinados para detectar y medir fallas internas dentro de raíles metálicos**

30 Prioridad:

21.03.2016 US 201662311061 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2021

73 Titular/es:

RAILPOD INC. (100.0%)
371 Dorchester Avenue Suite 160
Boston, Massachusetts 02127, US

72 Inventor/es:

ENGLISH, BRENDAN;
SANDIN, PAUL;
KRIENER, WESLEY;
DAHLBERG, SAM y
IMSONG, STEPHEN

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 818 654 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistemas pasivos y activos combinados para detectar y medir fallas internas dentro de raíles metálicos

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

AVISO DE DERECHOS DE AUTOR

Una parte de la divulgación de este documento de patente contiene material que está sujeto a protección de derechos de autor. El propietario de los derechos de autor no tiene ninguna objeción a la reproducción por fax por parte de cualquiera del documento de patente o de la divulgación de la patente, tal como aparece en el archivo o registro de patentes de la Oficina de Patentes y Marcas Comerciales, pero por lo demás se reserva todos los derechos de autor. Derechos de autor 2017 RailPod, Inc.

15 ANTECEDENTES

Campo tecnológico

Esta divulgación se refiere a la inspección de raíles, y más específicamente a la detección no destructiva de fallas internas o de otro tipo, como grietas o roturas, en raíles metálicos donde las fallas pueden no ser visiblemente detectables o fácilmente visibles por un ser humano.

Antecedentes

La industria ferroviaria exige un procedimiento frecuente, preciso y asequible para detectar fallas internas en los raíles para evitar que los raíles se agrieten y para evitar que un tren se descarrile. Las inspecciones internas de fallas en los raíles se realizan a menudo una vez al año o, en algunos casos, hasta ocho veces al año. Si el horario, el costo y el medio ambiente no fueran barreras, las inspecciones internas de fallas de los raíles se realizarían semanal si no diariamente. Los procedimientos tradicionales, por contacto, de inspecciones internas de fallas en los raíles están restringidos por (1) velocidad y (2) temperaturas de congelación, lo que en última instancia conduce a una frecuencia de inspección limitada. Además, gran parte de la tecnología de inspección actual solo es capaz de detectar menos del 35 % de todas las fallas en el raíl en todas las categorías/tipos de fallas (como se explica en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos núm. 2002/0065610, "Hi-Rail Vehicle-Based Rail Inspection System", Clark y col., 30 de mayo de 2002). Desde el punto de vista operativo, los sistemas de ultrasonido por contacto están limitados a velocidades máximas de aproximadamente 20 MPH para proporcionar mediciones precisas y repetibles. Además, la mayoría de los ultrasonidos por contacto requieren un gel de acoplamiento (es decir, agua) entre el transductor y el raíl para minimizar la pérdida de señal y las lecturas erróneas. En condiciones en el punto de congelación o que se acercan a este, el gel de acoplamiento se congela e introduce espacios de aire que afectan el rendimiento de la señal.

El mercado de inspección de vías férreas en lo que respecta a la detección de fallas internas de los raíles que no son fácilmente visibles o no son visibles, consta de dos procedimientos de inspección principales y tecnologías relacionadas que incluyen (1) inspecciones ultrasónicas y (2) por inducción. El mercado de inspección de raíles utiliza un conjunto diverso de procedimientos manuales y automatizados para implementar las tecnologías ultrasónicas y de inducción a lo largo de una vía férrea que incluyen unidades de remolque de vehículos, unidades de montaje inferior de vehículos y unidades de mano. En algunos casos, ambas tecnologías se usan para aumentar la probabilidad de detectar fallas internas en los raíles y minimizar las falsas detecciones. Estas tecnologías proporcionan una señal de entrada a una interfaz de usuario que normalmente es un gráfico (por ejemplo, escáner B) que muestra la fuerza de la señal en relación con una señal que se sabe que no tiene fallas internas. Debido a la variación en los raíles debido al desgaste (interno y externo) en una vía férrea, la fuerza y calidad de la señal de falla interna del raíl varía ampliamente. La variación en la señal en general da como resultado una mala detección de fallas internas del raíl en la primera pasada, según el tamaño y la seriedad de la falla. Una segunda pasada que generalmente implica un procedimiento de inspección manual ayuda a definir y detectar mejor la falla. La industria intenta minimizar los impactos de las diferentes señales a través de una amplia capacitación, mejores prácticas y la combinación de tecnologías de detección automáticas y manuales. Debido a la necesidad de aprovechar las tecnologías de inspección tanto automatizadas como manuales, el tiempo necesario para inspeccionar las fallas internas de los raíles en las vías férreas está directamente relacionado con la calidad de la señal y la cantidad de veces requerida para detener y verificar manualmente que existe una falla interna. Las tecnologías de inspección de vías existentes utilizan un emisor y un receptor activos para "excitar" el raíl y observar/capturar la energía/señal resultante después de que se haya excitado el raíl. Uno de esos sistemas usa ultrasonido. Otro sistema usa corrientes parásitas y también se conoce como inducción magnética. Otro más utiliza un láser de alta energía para excitar el raíl. En general, los receptores complementan a los emisores. En otras palabras, el emisor de ultrasonido utiliza un receptor de ultrasonido para determinar el tamaño o la ubicación de la falla. El emisor de corriente parásita (es decir, inducción de voltaje/corriente)

utiliza un receptor de voltaje/corriente para determinar la ubicación o el tamaño de la falla. En el caso del láser de alta energía, el láser produce suficiente energía para excitar el raíl, propagando una onda de ultrasonido donde el receptor es un dispositivo de ultrasonido que se usa para detectar la falla interna. Los transductores ultrasónicos suelen estar encapsulados en una rueda flexible que permanece en contacto con el raíl. En la mayoría de los casos, se usa un gel de acoplamiento para garantizar que no exista ningún espacio de aire entre el transductor y el raíl porque los espacios de aire pueden inhibir gravemente las señales ultrasónicas. El uso de agua como gel de acoplamiento en sistemas ultrasónicos impone restricciones adicionales durante las condiciones de congelación donde el agua se congela al entrar en contacto con el raíl frío creando espacios de aire y provocando avisos falsos en la capacidad de detectar una falla. Por lo general, la industria intenta utilizar una solución anticongelante similar o igual al líquido limpiaparabrisas que se encuentra en un automóvil. Este líquido anticongelante es tóxico y nocivo para el medio ambiente. Todas estas tecnologías pueden usar una serie de emisores y/o receptores en un intento de aumentar la probabilidad de detección de fallas y, en algunos casos, utilizar tomografía para representar visualmente el tamaño y la forma de la falla. En los casos en que la señal sea cuestionable (es decir, el operador no está seguro de si existe una falla o para validar un aviso falso), un ser humano debe verificar manualmente que la falla existe usando una sonda de mano ultrasónica colocando manualmente el transductor ultrasónico en varios ángulos y posiciones para apuntar al área de interés. Este procedimiento manual impone restricciones de tiempo en el procedimiento de inspección y limita en gran medida la cantidad de millas de inspección que se pueden completar en un período de tiempo. Este procedimiento manual de salir de un vehículo de inspección de raíles e inspeccionar manualmente la falla puede introducir una penalización de tiempo de hasta diez minutos o más, lo que reduce la eficiencia general del procedimiento de inspección. Independientemente de la tecnología usada para inspeccionar y detectar fallas internas, desde una perspectiva operativa o de aplicación, una persona encargada de mantener vías férreas debe poder priorizar la importancia de una falla detectada para tomar una decisión informada en cuanto a (1) reparar inmediatamente la falla, (2) reducir las velocidades de funcionamiento del tren sobre la falla hasta que pueda ser reparada, o (3) continuar las operaciones y rastrear/monitorizar la falla de una inspección a la siguiente. Debido al costo y la logística operativa, la tecnología usada en los procedimientos de inspección actuales se usa con poca frecuencia donde es difícil determinar el crecimiento de la falla de una inspección a la siguiente y se realiza poco o ningún seguimiento del crecimiento de las fallas ya que el seguimiento de las fallas requeriría una inspección muy frecuente. Por lo general, las fallas, una vez detectadas y después de que la señal de fallas excede un umbral determinado cualitativamente por el inspector (que puede variar de un inspector a otro según la capacitación y la tecnología de detección), la falla se marca y se programa para reparación. Mientras se espera la reparación, se requiere que el tren funcione lentamente a través del área de la falla hasta que se realice una reparación.

Estas soluciones existentes tienen múltiples deficiencias. Es posible que la ley exija inspecciones de fallas internas existentes en los raíles hasta dos veces al año o según sea necesario. Algunas de las vías férreas conscientes de la seguridad intentan inspeccionar con más frecuencia (por ejemplo, 4-6 veces al año) que dos veces al año. Sin embargo, el clima juega un papel importante en la expansión y el movimiento general del raíl. Los cambios climáticos significativos durante períodos de menos de 24 horas (por ejemplo, transiciones de temperatura extremas) pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y afectar una falla interna. Por tanto, existe la necesidad de inspecciones de raíles más frecuentes que las que se aplican actualmente.

Las soluciones existentes no rastrean el crecimiento de las fallas internas de los raíles. Debido a que los procedimientos de inspección existentes ocurren con poca frecuencia, la capacidad de rastrear o monitorizar el crecimiento progresivo de las fallas internas de los raíles es limitada o simplemente no se aborda. La industria en general busca criterios satisfactorios/no satisfactorios basados en el tamaño de la falla, pero el inspector no tiene información sobre la rapidez con la que ha crecido la falla. Como una falla de rápido crecimiento puede ser motivo de preocupación, incluso si el tamaño todavía está por debajo de un criterio de umbral, existe la necesidad de monitorizar el crecimiento de las fallas internas de los raíles para permitir la identificación y las acciones de mantenimiento aplicables antes de que la falla se perpetúe a un estado que requiera un encargo o reemplazo lento del raíl que afectaría las operaciones de ingresos programadas.

Las soluciones existentes usan geles de acoplamiento perjudiciales para el medio ambiente. La inspección por ultrasonido es la forma principal de detección de fallas internas en los raíles. Requiere el uso de un gel de acoplamiento para asegurar que no exista un espacio de aire entre el transductor ultrasónico y la superficie del raíl. Normalmente, este gel de acoplamiento consiste en agua, pero en condiciones de congelación o cerca de la congelación, el agua podría crear espacios de aire y, por lo tanto, durante las condiciones de congelación, el agua se reemplaza por un gel de acoplamiento anticongelante. En general, los geles de acoplamiento anticongelantes son perjudiciales para el medio ambiente y su uso está restringido durante las condiciones de congelación. En condiciones de frío extremo, a menudo el gel de acoplamiento anticongelante no cumple con los requisitos de temperatura más baja y cesan las inspecciones de fallas internas del raíl. Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento de inspección de fallas internas del raíl que elimine el uso de fluidos peligrosos para el medio ambiente y también permita operaciones de inspección en condiciones extremadamente frías.

Las soluciones existentes requieren inspecciones manuales en curso. Los procedimientos de inspección de fallas internas en los raíles están dominados por un ser humano en un vehículo sobre raíles mediante el cual el ser humano o los seres humanos conducen físicamente el vehículo a lo largo de los raíles, monitorizan la tecnología de inspección de fallas en los raíles para evaluar cualitativamente el estado de las fallas e inspeccionan manualmente las fallas usando una sonda ultrasónica operada manualmente. Esto aumenta los costos y el tiempo necesarios para la inspección. Por tanto, existe una necesidad de inspección mientras se está en movimiento sin un operador humano físicamente presente.

Las soluciones existentes insumen mucho tiempo y requieren que un inspector humano acompañe el procedimiento de inspección. Esto requiere que el ser humano ocupe físicamente la vía férrea donde el inspector compite por el tiempo de la vía contra otro personal de mantenimiento, así como el servicio de ingresos programado. Esta competencia por el tiempo en las vías también impone preocupaciones de seguridad para el inspector. Por tanto, existe la necesidad de una inspección en tiempo real sin necesidad de la presencia local de un inspector.

Las soluciones existentes no inspeccionan todo el raíl. Las tecnologías ultrasónicas y otras tecnologías de fallas internas del raíl actualmente no realizan inspecciones de la base del raíl fuera de las dimensiones laterales del alma del raíl. Esto se debe principalmente al hecho de que la tecnología ultrasónica no se transmite a la extensión de la base del raíl y, por lo tanto, no puede detectar esas áreas. Las fallas internas en la base del raíl pueden ocurrir debido a impurezas de fabricación o fallas en la superficie que crecen en la parte inferior de la base debido a períodos cíclicos prolongados de inmersión en agua seguidos de condiciones secas, como ocurre en túneles o áreas donde ocurren inundaciones. Por tanto, existe la necesidad de inspeccionar todo el raíl, incluida la base.

Las imágenes radiográficas existentes de fallas en los raíles en la industria actual generalmente se restringen a pruebas muy específicas, como nuevas soldaduras o trabajos específicos en las vías debido al hecho de que la tecnología radiográfica exige grandes cantidades de energía para irradiar el raíl de acero y requiere un detector que pueda detectar la energía transmitida de manera oportuna. Este procedimiento implica un tiempo de preparación significativo y muchos minutos para adquirir una imagen que pueda representar una falla.

Descripción de la técnica anterior

La publicación de la solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 2002/006,5610 (Clark y col., "Hi-rail vehicle-based rail inspection system", 30 de mayo de 2002) divulga un vehículo no sobre raíles que tiene un compartimiento para equipos y un sistema de inspección relacionado que consiste en un sistema de sensor de inducción magnética combinado con un sistema ultrasónico que proporciona salida de sensor a un sistema de adquisición de datos. Tanto el sistema de inducción como el ultrasónico son sistemas "activos", lo que significa que transmiten energía en el raíl. En el caso del sistema de inducción, se inyecta una gran corriente continua en el raíl mediante dos juegos de contactos o escobillas. En el caso del sistema ultrasónico, una serie de emisores ultrasónicos están incrustados en una rueda llena de líquido que hace contacto con el raíl enviando una señal ultrasónica a la vía en varios ángulos. Ambas tecnologías requieren algún tipo de emisor para generar una señal que se interpreta y representa en una interfaz de usuario. Aunque se utilizan dos sistemas para minimizar los "avisos falsos" (es decir, las indicaciones de una falla donde tal indicación es realmente injustificada), ambos requieren una señal activa para penetrar en el raíl y supervisar la respuesta de la señal reflejada. Ambos sistemas requieren que el usuario interprete la señal y la seriedad de la señal en relación con el tipo de falla del raíl. Además, el uso de "gel de acoplamiento" para asegurar que no haya espacio de aire entre el raíl y el transductor de ultrasonido limita el uso del sistema de ultrasonido en temperaturas de congelación donde el gel de acoplamiento se congelaría, creando espacios de aire e introduciendo "avisos falsos". En muchos casos, el usuario se desmontará físicamente del vehículo sin raíles y usará una sonda/sensor manual para verificar manualmente la señal en varios ángulos de aspecto imponiendo restricciones de tiempo en el procedimiento de inspección. Además, se requiere un ser humano para operar el camión, lo que aumenta el costo general del procedimiento de inspección reduciendo la probabilidad de inspecciones frecuentes que permitirían al sistema rastrear y monitorizar la progresión de la falla en sí.

La patente de los Estados Unidos núm. 7.521.917 (Katragadda y col., 21 de abril de 2009, "Method and apparatus for testing material integrity") describe un aparato de pruebas con un conductor eléctrico que encamina la corriente en una dirección generalmente transversal a un eje longitudinal del objeto que se detecta donde la corriente eléctrica produce un efecto de corriente parásita que es detectado por un detector de campo magnético. Esto se centra en un solo sistema y requiere grandes paquetes de rectificadores para suministrar altos niveles de corriente al raíl. El sistema requiere que el usuario interprete la señal y la seriedad de la señal en relación con el tipo de falla del raíl. La combinación de paquetes de rectificadores grandes, que requieren un vehículo con raíl grande y solo un procedimiento para inspeccionar, restringe la capacidad de minimizar los avisos falsos y puede requerir un procedimiento de inspección secundario para confirmar la señal recibida por el detector de campo magnético que impone restricciones de tiempo en el procedimiento de inspección.

La patente de los Estados Unidos núm. 1.998.952 (R. F. Edgar y col., 23 de abril de 1935, "Rail Inspection Apparatus") describe un sensor de efecto Hall que requiere una corriente que se hace fluir a través de un objeto que será sometido a prueba o se inspeccionará estableciendo de esta manera un campo magnético que puede medirse/detectarse. De manera similar a las patentes anteriores, este es un sistema "activo" que requiere un emisor para excitar el raíl para
5 detectar fallas internas (por ejemplo, grietas, fisuras, etc.).

La patente de los Estados Unidos núm. 3.213.359 (R. W. Freytag y col., 19 de octubre de 1965, "Non-Inductive hall-cell magnetometer") describe una tecnología que permite la medición de campos magnéticos mínimos desconocidos. Esto se centra en los componentes estructurales (por ejemplo, obleas semiconductoras) utilizados para construir la
10 celda Hall. Muchas aplicaciones similares a esta patente se centran en el desarrollo y mejora de los magnetómetros de celda Hall.

La patente de los Estados Unidos núm. 3.579.099 (Kanbayashi, 18 de mayo de 1971, "Improved flaw detection apparatus using specially located hall detector elements") describe un procedimiento que usa un generador Hall y electroimanes para magnetizar el material de prueba. De forma similar a otros sistemas emisores «activos», este sistema requiere un electroimán para excitar el raíl para que un sensor (celda Hall) mida las fallas internas. Esto depende de que el material de prueba tenga una sección transversal generalmente circular y que el material de prueba sea generalmente de dimensiones consistentes, algo que no se encuentra en las vías férreas después de su uso o en
20 general a medida que el raíl se desgasta.

La patente de los Estados Unidos núm. 6.549.005 (Hay y col., 15 de abril de 2003, "Magnetic detection of discontinuities in railway rails using hall effect sensors") describe un procedimiento que usa un generador de campo magnético para dejar un campo magnetizado remanente dentro del material de prueba. De manera similar a otros sistemas de emisores "activos", este sistema requiere un electroimán para excitar el raíl para que un sensor (por
25 ejemplo, celda Hall) mida la fuga de flujo magnético relacionada con las fallas internas.

La patente de los Estados Unidos núm. 6.324.912 (Wooh, 4 de diciembre de 2001, "Flaw detection system using acoustic Doppler effect") describe un transductor que puede transmitir una señal acústica de la propagación en el medio o el transductor puede transmitir energía óptica para inducir la señal acústica en el medio. El transductor puede
30 ser un láser para generar la señal acústica, así como un interferómetro vibrómetro para detectar la señal acústica. Aunque este sistema evita específicamente la necesidad de contacto físico con el raíl, depende de un emisor activo y del efecto Doppler y/o el movimiento del transductor para identificar una falla potencial.

La patente de los Estados Unidos núm. 6.945.114 (Kenderian y col., 20 de septiembre de 2005, "Laser-air, hybrid, ultrasonic testing of railroad tracks") describe el uso de un emisor en forma de un láser pulsado que propaga ondas que pueden ser detectadas por un receptor ultrasónico. Aunque esta tecnología evita la necesidad de contacto físico con el raíl, requiere un láser de muy alta potencia para excitar el raíl para que propague las ondas sonoras. La alineación y la potencia del láser, así como la alineación del transductor ultrasónico, determinan los tipos de fallas que se pueden detectar. Este sistema no inspecciona la base del raíl y requiere que un ser humano acompañe el sistema
40 para verificar falsos positivos. Además, esta tecnología elimina la superficie de rodadura del raíl y cambia físicamente la estructura del raíl cerca de la superficie del raíl. Este cambio en la estructura mecánica puede tener un impacto a corto o largo plazo, lo que hace que el raíl sea más sensible a la fatiga por contacto de rodadura, la combustión del motor y otras fallas de la superficie relacionadas que potencialmente reducen el ciclo de vida del raíl.

El documento núm. WO2015/120550 describe un dispositivo de inspección de vías que comprende un vehículo ferroviario, uno o más magnetómetros pasivos montados en el vehículo ferroviario y un sistema informático que recibe datos de los magnetómetros.

Ninguno de los anteriores proporciona una solución para la inspección frecuente de fallas internas de los raíles que
50 (1) rastrea la progresión de las fallas internas de los raíles, (2) minimiza o elimina la necesidad de un fluido de acoplamiento dañino para el medio ambiente en condiciones de congelación, (3) elimina la necesidad de que un ser humano realice manualmente una inspección por ultrasonido para confirmar si existe una falla, (4) proporciona una transmisión casi en tiempo real de las mediciones de fallas internas de la vía a los inspectores en una ubicación remota, e (5) incluye la capacidad de inspeccionar en la base del raíl. Por lo tanto, lo que se necesita es una solución
55 que supere las limitaciones antes mencionadas y que incluya las características enumeradas anteriormente.

BREVE RESUMEN

La invención es como se establece en las reivindicaciones, y proporciona un procedimiento de inspección de fallas
60 internas de raíles sin contacto, usando magnetometría pasiva opcionalmente combinada con procedimientos como inspección por radiación X (es decir, rayos X). Esto proporciona un procedimiento para aumentar la velocidad de la inspección de raíles y ofrece la oportunidad de inspeccionar en condiciones de congelación, lo que permite que las

inspecciones de fallas internas de los raíles se lleven a cabo con mayor frecuencia, desde una ubicación remota y con mayores frecuencias.

La tecnología de detección de magnetómetro pasivo combinada con el uso frecuente (por ejemplo, diario o semanal) se usa para medir un campo magnético, un cambio en el campo magnético o una tasa de cambio en el campo magnético dentro del raíl. Los cambios en el campo magnético podrían ser un cambio en el crecimiento de una pequeña grieta o una falla interna, como una fisura transversal. Estos cambios en el campo magnético también identifican variaciones en los espacios entre las articulaciones. Se crea una base de datos de firmas magnéticas detectadas por el magnetómetro para determinar el tipo de falla encontrado en el raíl (por ejemplo, soldadura defectuosa, defecto del orificio del perno, defecto transversal, separación vertical de la cabeza, cabeza y alma, fracturas de detalle, fracturas por quemaduras del motor, fatiga por contacto rodante). Cuando se detecta una falla usando tecnología de magnetómetro, se usa un sensor secundario, como rayos X, para obtener imágenes de la falla.

Un vehículo de inspección automatizada, mientras se mueve a gran velocidad, monitoriza el campo magnético, el cambio en el campo magnético o la tasa de cambio del campo magnético con las lecturas del magnetómetro de eventos de inspección anteriores. Si el campo magnético excede un umbral configurable o si hay un historial que indique que existe una falla durante una inspección anterior, el vehículo de inspección automatizada se detiene en la ubicación de interés (es decir, la falla o cambio en el campo magnético) y utiliza un sistema de rayos X para visualizar el raíl. Usando técnicas de procesamiento de imágenes o por observación humana, las imágenes de rayos X se analizan para determinar si (1) existe una falla o (2) si la falla ha cambiado y cuánto.

En algunos casos, los cambios en el campo magnético podrían ocurrir debido a variaciones en el campo magnético que rodea el raíl causadas por cambios ambientales o incluso cambios directos en el propio raíl debido a aplicaciones como la soldadura. En los casos en que el cambio de campo es sustancialmente diferente o la firma del campo se ha alterado en comparación con las mediciones anteriores, se utiliza un sensor secundario, como rayos X, para validar si existe una falla. Además, el sistema de rayos X se utiliza para proporcionar imágenes detalladas de la falla en sí, donde las imágenes se pueden usar para rastrear el crecimiento de la falla entre los períodos de inspección. La combinación de un magnetómetro pasivo y un sistema de rayos X proporciona un procedimiento frecuente, preciso y asequible para inspeccionar fallas internas en los raíles.

Características y ventajas

Un sensor de magnetómetro pasivo elimina los problemas asociados con el espacio de aire en un sistema ultrasónico. La mayoría de los sistemas ultrasónicos requieren un contacto constante con un gel de acoplamiento (es decir, agua) para recibir señales ultrasónicas confiables y consistentes que detecten fallas internas. En temperaturas bajo cero o en climas donde el agua podría congelarse o causar espacios de aire, se podría utilizar un sistema de magnetómetro independientemente de las temperaturas. Debido a que no hay gel de acoplamiento, no hay impacto ambiental debido al uso de anticongelante en el gel de acoplamiento. Además, no es necesario llevar el gel de acoplamiento en el vehículo o volver a llenar el tanque de almacenamiento del gel de acoplamiento. La eliminación de la necesidad de un tanque de almacenamiento de gel de acoplamiento permite inspeccionar por más tiempo en lugar de dar mantenimiento al vehículo de inspección, lo que reduce el tamaño total del equipo de inspección y reduce los costos de los consumibles. Los magnetómetros pasivos requieren una energía mínima, del orden de milivatios, y pueden funcionar de forma continua en una variedad de condiciones ambientales.

uso de sensores de magnetómetro pasivo permite velocidades de inspección más rápidas. La velocidad de la inspección de fallas internas en los raíles está limitada por las tecnologías de inspección por ultrasonido debido a una variedad de razones que incluyen la necesidad de un contacto adecuado con el raíl y el gel de acoplamiento, y la capacidad de procesar y validar la señal, ya sea electrónicamente o por un ser humano. Las velocidades promedio de inspección por ultrasonido se acercan a 15-20 MPH. Mediante el uso de magnetómetros pasivos, no se requiere un contacto adecuado con el raíl/gel de acoplamiento. Esto permite instalar magnetómetros en equipos de inspección que pueden desplazarse a velocidades más altas, en el rango de 40 a 100 MPH, que las que se encuentran en general en los sistemas de inspección actuales. La velocidad de los magnetómetros ahora está limitada por la velocidad del procesador en lugar de la interacción física del raíl/gel de acoplamiento/sensor encontrada en sistemas ultrasónicos. Además, la participación humana existente puede requerir que el vehículo se detenga mientras el inspector evalúa la calidad de la señal. Los magnetómetros pasivos y el software relacionado pueden realizar comparaciones en tiempo real del campo magnético para determinar si una falla ha excedido un umbral crítico, minimizando la necesidad de que un ser humano realice dicha evaluación. En los casos en que se requieren detalles de inspección adicionales, el sistema de rayos X automatizado es capaz de obtener imágenes rápidamente de la falla eliminando la necesidad de que una persona salga del vehículo, identifique el área de la falla, realice una inspección manual y luego regrese al vehículo. Algo que a un ser humano le toma muchos minutos se puede realizar en tan solo 10 segundos usando un sistema de rayos X automatizado mediante el cual el vehículo reduce la velocidad hasta detenerse, toma imágenes del raíl en menos de 10 segundos y luego continúa hacia adelante. A través de técnicas de procesamiento de

imágenes, también es posible que el sistema de rayos X obtenga imágenes del raíl mientras el vehículo se mueve a velocidades lentas (por ejemplo, 1 MPH). Este procedimiento automatizado reduce significativamente el procedimiento de tiempo de inspección, lo que permite inspeccionar más millas de vía con mayor frecuencia. Las imágenes de rayos X y las lecturas del magnetómetro se pueden transmitir a través de comunicaciones inalámbricas, como redes celulares o wifi, de manera que cualquier evaluación humana se pueda realizar en paralelo mientras el vehículo automatizado continúa inspeccionando.

Los sensores de magnetómetro pasivo son relativamente pequeños, económicos de fabricar y pueden colocarse en una matriz, desplazarse o colocarse en serie para identificar con precisión la ubicación de una falla en el raíl. Se pueden usar conjuntos adicionales de sensores para proporcionar respaldo secundario en caso de falla del sensor primario durante un procedimiento de inspección y operar como un comparador para garantizar que todos los sensores estén funcionando. Además de la inspección en la parte superior de la cabeza del raíl, los sensores del magnetómetro, junto con la ubicación del sensor articulado, pueden inspeccionar todo el perfil del raíl, incluida la base del raíl. La tecnología de inspección por ultrasonido existente requiere que un ser humano manipule físicamente una sonda ultrasónica para analizar la base del raíl más allá de la extensión del ancho del alma. Aprovechar un vehículo automatizado con un cabeza sensora articulada que puede evitar obstrucciones físicas en la base del raíl permite la inspección de la base.

Los sensores de magnetómetro pasivo tienen la capacidad de identificar tanto grietas en el raíl como cambios en los espacios entre dos juntas del raíl. Los sensores del magnetómetro son capaces de resolver cambios de centímetros y, en algunos casos, milímetros, lo que permite la determinación de cambios en el tamaño de un espacio en una junta donde se pueden medir los cambios debido a la expansión térmica. El raíl articulado (así como el raíl soldado continuamente) se expandirá y contraerá con los cambios de temperatura. La capacidad de medir los cambios en los espacios permite medir el movimiento longitudinal del raíl. Tener la capacidad de medir el movimiento longitudinal del raíl permite predecir e identificar ubicaciones donde el raíl podría doblarse o romperse debido a la tensión longitudinal. Combinando el sensor pasivo con los datos recopilados con frecuencia, se puede determinar si el cambio en el espacio es el resultado de pernos de unión cortados o faltantes o algún otro fenómeno. El uso de un dispositivo de rayos X o una cámara, un sistema de visión humana o por computadora puede validar un perno faltante o cortado.

Los sensores magnetométricos pasivos sin contacto proporcionan lecturas en tres ejes. Para la detección de fallas en el raíl, un sistema de coordenadas se refiere por lo general al eje X a lo largo de la longitud del raíl, al eje Y a lo largo del plano vertical perpendicular al eje X, y al eje Z a lo largo del ancho del raíl. Según el tipo de falla (p. ej., fisuras transversales, soldaduras defectuosas, cabezas abiertas verticales) y, en general, el plano/eje en el que residen, un cambio correspondiente en el campo magnético se correlaciona con un tipo específico de falla en el raíl. En muchos casos, se activarán múltiples ejes magnéticos según el tamaño y la forma de la falla. En los casos en que se producen grandes cambios en el campo magnético en el orden de 0,5 a 1,0 o Gauss mayor desde justo antes de la falla en el lugar de la falla (es decir, lecturas de Gauss altas), puede resultar aparente que no se necesita ninguna validación adicional, tal como el uso de rayos X o ultrasonido, para verificar que exista una falla o que se requieren más acciones. En otros casos, la tasa de cambio de un evento de inspección al siguiente evento de inspección puede usarse para desencadenar un examen adicional usando tecnologías como rayos X o ultrasonido.

Además de detectar cambios en el campo magnético interno del raíl, los sensores de magnetómetro pasivo pueden detectar fallas en la superficie o cerca de la superficie en la categoría de fatiga por contacto rodante que incluye fallas como cáscaras, descamación, quemaduras, comprobación de la cabeza, desconchamiento y corrugado. Por lo general, este tipo de fallas superficiales afectan negativamente el punto de contacto del sensor/gel de acoplamiento ultrasónico y evitan que el sistema ultrasónico pueda detectar la falla de la subsuperficie más profundamente en el raíl. Otros factores que influyen en estas mediciones incluyen una gran lubricación o escombros como suciedad en la cabeza del raíl. Los magnetómetros son menos sensibles a estas obstrucciones y brindan una mejor oportunidad para identificar una falla interna.

Al aprovechar una fuente de rayos X automatizada y una placa del detector y las aberturas asociadas y los bloqueadores de colimación configurados en una geometría repetible, el sistema de rayos X es capaz de generar de manera confiable imágenes del raíl y la falla asociada. Aunque se necesita una energía sustancial para que los rayos X produzcan una imagen, es de corta duración y toma segundos en lugar de los muchos minutos que puede tardar un ser humano en salir de un camión de inspección por ultrasonido de los raíles, inspeccionar manualmente la falla con una sonda de ultrasonido portátil y tomar varias mediciones para validar la falla, así como el tiempo adicional necesario para volver al camión de inspección de los raíles y reanudar las tareas de inspección dentro del camión. Además, se pueden obtener imágenes del alma y la cabeza del raíl individualmente para determinar imágenes de la más alta calidad, de manera que las fallas en la cabeza del raíl se puedan capturar sin una radiación excesiva a través del alma del raíl que afecte la sensibilidad de la placa del detector en/alrededor de la cabeza del raíl.

Con cualquier fuente de radiación, la seguridad del operador y de otras personas cercanas es primordial. A través de

la automatización, no se requiere un operador en el sitio. A través de la colimación, las aberturas y el blindaje adecuados, la exposición a la radiación se restringe a un área pequeña cerca de la fuente, por lo que los seres humanos y otros animales no se irradian y pueden operar con seguridad en las proximidades generales del equipo. Para garantizar un alto nivel de seguridad y proteger a las personas que se encuentran en las proximidades de la

5 fuente de rayos X cuando se emite radiación, se emite una baliza o un anillo de luz visible. El sistema también puede incluir una advertencia sonora que notifica con anticipación que la fuente de rayos X se encenderá o está emitiendo radiación activamente.

El proceso de formación de imágenes desplazadas es una técnica conocida en la industria de la formación de

10 imágenes por radiación en la que la fuente no está directamente en línea con el objetivo (es decir, falla). El resultado de lo cual transmite radiación en ángulos «desplazados» creando una imagen mejorada de la falla que podría no ser capturada con la fuente transmitiendo en línea con el objetivo (es decir, falla). Las imágenes desplazadas permiten una mejor detección de fallas que pueden no estar en el mismo plano que la fuente para incluir planos transversales y horizontales. La tecnología de automatización permite que los rayos X se coloquen en múltiples ubicaciones a lo

15 largo de la dirección longitudinal de la vía del tren, lo que permite la creación de múltiples imágenes de rayos X que incluyen imágenes desplazadas y en línea. Además, variaciones menores en la altura de la fuente de rayos X en relación con el raíl introducen un desplazamiento vertical que admite la identificación/proceso de formación de imágenes de fallas en el plano horizontal.

20 Las variaciones en la geometría del sistema de rayos X en lo que respecta al raíl y la placa del detector pueden producir una calidad reducida de la imagen de rayos X. Más específicamente, si se considera una vía férrea con dos raíles generalmente paralelos, la distancia o el ancho entre esos raíles puede variar en el orden de pulgadas. La variación en el ancho afecta la forma en que un vehículo de inspección de raíles se asienta sobre los raíles. El vehículo de inspección podría favorecer un raíl o el otro. Debido a que la geometría de la fuente en relación con el raíl afecta

25 la calidad de la imagen y la capacidad de detectar fallas, la fuente de rayos X y la placa del detector o el propio vehículo pueden ajustarse lateral o perpendicularmente a la dirección de los raíles, de manera que se mantenga la geometría física de la fuente en lo que respecta al raíl y se logre una alta calidad de imagen.

La altura o distancia de separación entre el raíl y el sensor del magnetómetro pasivo afecta la capacidad de detectar

30 una perturbación magnética o un cambio en el campo magnético. Para detectar campos magnéticos de manera repetible, se utiliza una combinación de ruedas, placas de guía y placas de desgaste para establecer la distancia. La distancia de desplazamiento para uno o un conjunto de magnetómetros puede ser diferente de otro magnetómetro o un conjunto de magnetómetros para detectar el campo magnético y ayudar a determinar el tamaño de una falla, grieta u otra anomalía en la vía. Esta distancia de activación se puede lograr mediante el uso de una rueda (o varias ruedas)

35 montada en el módulo sensor donde la altura de la rueda se puede ajustar para determinar una configuración de detección ideal.

Cuando se capturan imágenes de rayos X, pueden ser analizadas por un ser humano y/o por software de procesamiento de imágenes automatizado. El software es capaz de cuantificar el crecimiento de la falla usando

40 técnicas de detección de bordes, técnicas de comparación de imágenes y otras tecnologías de procesamiento de imágenes. Este software mejora la capacidad del inspector de vías para identificar áreas de interés y minimizar la cantidad de tiempo necesario para calificar el tipo y tamaño de la falla. Esta evaluación puede realizarse en el propio vehículo de inspección o puede realizarse de forma remota aprovechando las comunicaciones celulares o wifi.

45 Las juntas y soldaduras históricamente han tenido altas tasas de fallas en la industria. Debido a que los magnetómetros pueden detectar soldaduras y uniones, esta información se puede usar en la automatización del posicionamiento del vehículo, lo que permite que el vehículo se detenga y realice inspecciones en lugares específicos donde existen soldaduras y uniones. Esta función de automatización de la posición permite que el vehículo de inspección se detenga e inspeccione en cada unión o soldadura, independientemente de si la tecnología de fallas internas del raíl detecta

50 una variación o falla. Este procedimiento de inspección permite monitorizar de cerca el trabajo de la vía que en general tiene altas tasas de fallas y donde la tecnología existente puede fallar en detectar que existe una falla.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

55 En los dibujos, las figuras y los elementos estrechamente relacionados tienen el mismo número, pero diferentes sufijos alfabéticos. Los procedimientos, estados, estatus y bases de datos se denominan según sus funciones respectivas.

La figura 1 es un diagrama de las secciones longitudinal y transversal de un raíl.

60 **La figura 2** es un diagrama de un sistema de los componentes principales de un sistema de inspección interna de los raíles que utiliza tanto magnetómetro como tecnología de radiación X.

La figura 3 representa una serie de tres lecturas repetidas del magnetómetro después de una deformación física en el raíl con distancia a lo largo del eje x en el gráfico y lectura de Gauss en el eje y de cada gráfico.

La figura 4 ilustra la placa del detector y la parte superior del blindaje del raíl unido al chasis del vehículo visto desde el exterior del vehículo.

La figura 5 representa la parte superior del blindaje del raíl vista desde el interior del vehículo.

La figura 6 representa la placa del detector de radiación X en relación con la fuente de radiación X en un vehículo en una posición en la que el detector está listo para obtener imágenes de la cabeza o el alma del.

La figura 7 representa la fuente de radiación X en el estado descendido en línea con la placa del detector vista desde el exterior del vehículo.

La figura 8 representa la fuente de radiación X en línea con la placa del detector y la parte superior del blindaje del raíl visto desde el interior del vehículo.

La figura 9 representa la fuente, la parte superior del blindaje del raíl y la placa del detector, vistas a lo largo de la dirección longitudinal del raíl.

La figura 10 representa la parte inferior del deslizador de detección del magnetómetro que sostiene una serie de magnetómetros a una distancia establecida por encima de la parte superior del raíl mediante el uso de dos ruedas de rodillos.

La figura 11 representa el deslizador de detección del magnetómetro en la parte superior del raíl unido al chasis del vehículo.

La figura 12 representa el deslizador del sensor del magnetómetro en relación con el chasis del vehículo y la fuente de radiación X y la placa del detector.

La figura 13 ilustra el sistema mecánico que eleva y descende el deslizador del magnetómetro.

La figura 14 es una vista isométrica que representa la geometría de la fuente de radiación X, el colimador, el raíl, el blindaje de la parte superior del raíl y la placa del detector.

La figura 15 muestra una vista desplazada de la **figura 14** que representa la ventana en el colimador.

La figura 16 representa un ejemplo de una obstrucción de raíl típica.

La figura 17 muestra una zapata de guía retraída en un lado y descendida en el otro lado para evitar la obstrucción.

La figura 18 representa tres conjuntos primarios de la zapata de guía alternativa mostrada en las **figuras 16-17**.

DESCRIPCIÓN DETALLADA, INCLUIDA LA REALIZACIÓN PREFERIDA

Terminología

La terminología y las definiciones de la técnica anterior no son necesariamente coherentes con la terminología y las definiciones de la divulgación actual. Donde haya un conflicto, se aplican las siguientes definiciones.

Lado del campo: el lado de los raíles que apunta hacia afuera de la vía o de la cara exterior.

Lado del calibre: el lado del raíl que guía la brida de la rueda.

Raíles paralelos: una vía férrea consta de dos raíles paralelos. La vía férrea de ancho estándar tiene dos raíles paralelos que están separados aproximadamente 4 pies, 8,5 pulgadas. Existen otros anchos de vías férreas y pueden ser mayores o menores que el ancho estándar.

Vía férrea: consta de dos raíles paralelos, normalmente de acero, asegurados a vigas transversales llamadas traviesas ferroviarias o durmientes.

Cuña: un cruce de punto de dos raíles, generalmente como un cruce común o un cruce en V. Esta se puede ensamblar

a partir de varias piezas de raíl adecuadamente cortadas y dobladas o puede ser una sola pieza fundida. Una cuña forma parte de una estación viva y también se puede usar en un entronque a nivel o en un cruce plano.

5 Brida de arrastre: por lo general, una barra de acero que une dos raíles de acero longitudinalmente mediante orificios y pernos.

Junta soldada o raíl soldado continuamente: una soldadura que une físicamente dos raíles sin una brida de arrastre u otro accesorio mecánico.

10 Junta aislada: generalmente consta de una brida de arrastre, pernos y orificios que están conectados mecánicamente, pero aislados por un material no conductor como caucho o plástico, por medio de lo cual dos raíles están conectados físicamente, pero aislados eléctricamente.

15 Garganta de guía: el área general a cada lado del ancho de los dos raíles generalmente paralelos donde pasan los rebordes de las ruedas del ferrocarril y ayudan a mantener las ruedas del tren dentro de los límites laterales de la vía férrea.

Distancia de desplazamiento: la altura o distancia preconfigurada de un sensor desde el objetivo.

20 Fuente: el emisor de radiación X. Las fuentes de ejemplo incluyen, pero no se limitan a, la línea XR de fuentes de rayos X de Golden Engineering. La radiación se genera preferentemente a través de electrones emisores de electricidad para generar rayos X. Sin embargo, no se limita a la radiación generada por electrones y puede utilizar rayos gamma emitidos por un núcleo atómico.

25 Placa detectora: una placa para el procesamiento de imágenes de radiación X que puede utilizar tecnologías de película tradicionales o tecnología digital para capturar la radiación de la fuente.

Funcionamiento

30 La siguiente descripción detallada de la invención hace referencia a los dibujos anejos que forman parte de la presente y en los que se muestran, a modo de ejemplo, las realizaciones específicas que pueden implementarse.

Con referencia a la figura 1, la cabeza del raíl es 130. El alma del raíl es 120. La base del raíl es 100. Las fallas internas pueden existir en cualquier sección del raíl, pero son más comunes en la cabeza del raíl. Las fallas se pueden encontrar en el plano transversal **140**, el plano horizontal **150** o el plano vertical **160**.

Con referencia también a la **figura 2**, una realización preferida del sistema incluye un sistema de navegación y posicionamiento **200** que permite que una plataforma móvil o robótica se mueva a lo largo de una vía férrea **270** mediante la cual los sensores son capaces de detectar cambios en el campo magnético **280** en uno o ambos raíles de una vía férrea. Con referencia también a la **figura 3**, cuando el campo magnético excede una tolerancia predefinida medida en Gauss o una tasa de cambio **300**, **310**, **320** en Gauss calculada por el sistema informático **290 montado en el vehículo**, el vehículo robótico es comandado por el sistema informático **290 montado en el vehículo** para ejecutar una inspección de fallas internas más detallada usando un sistema **260 de radiación X**. La tolerancia predefinida o la tasa de cambio se puede establecer para un raíl completo, o se puede variar según la posición del raíl, lo que permite la comparación con mediciones anteriores en la misma ubicación, y el sistema informático montado en el vehículo puede procesar, almacenar y analizar los datos del magnetómetro, o comunicarse de forma inalámbrica para enviar tales datos para su almacenamiento y análisis remotos. Después de que el o los sensores del magnetómetro **280** detectan un falla potencial o cambio magnético o campo magnético, el sistema informático **290 montado en el vehículo instruye a la plataforma robótica** para reposicionar el vehículo usando el **sistema de navegación/posicionamiento 200** para alinear la fuente de rayos X y la placa del detector **260** en la misma ubicación donde el magnetómetro **280** detectó un cambio o falla en el raíl. El LiDAR de escaneo de 360 grados **230** determina si hay alguna obstrucción, específicamente seres humanos o animales, que pueda estar dentro de la zona de radiación insegura definida por el sistema de advertencia de luz y audio **240**. Si existe una obstrucción dentro de la zona de radiación insegura, el sistema informático montado en el vehículo **290** evita que se active la fuente de radiación X. Sin obstrucciones, los sensores de vías **220** que proporcionan una distancia de posición lateral desde el raíl son utilizados por el sistema informático **290** para posicionar lateralmente la fuente de rayos X y la placa del detector **260** en el estado elevado. Si no sigue existiendo ninguna obstrucción, el blindaje contra la radiación **250** despliega para minimizar cualquier posibilidad de radiación X de retrodispersión. Después de que se haya desplegado el blindaje **250**, **además de la luz y la advertencia de audio 240** y de que el vehículo se haya confirmado en la ubicación adecuada por el **sistema 200 de navegación/posicionamiento**, la fuente de radiación X y la placa del detector se descienden a la posición **260** en la geometría adecuada en relación con el raíl **270**. Cuando la fuente y la placa del detector se descienden y los interruptores de seguridad están completamente conectados, lo que indica el posicionamiento

adecuado del blindaje, la fuente y el detector, el sistema informático **290 montado en el vehículo** habilita la alimentación a la fuente **260 de radiación X**. Una vez completada la captura de imágenes por la fuente de radiación de rayos X **260**, el sistema informático **290** desactiva la potencia de radiación X. Una vez que se desactiva la alimentación, la fuente de radiación de rayos X **260** y el blindaje **250** retraen para evitar obstáculos en o alrededor de la vía mientras el vehículo está en movimiento. Además, la luz y el audio están desactivados por lo que el sistema informático montado en el vehículo **290** instruye al sistema de navegación y posicionamiento **200** para que continúe el movimiento a lo largo de las vías férreas mientras monitoriza el o los sensores del magnetómetro **280**. Cuando el o los sensores del magnetómetro **280** identifican otra falla, el sistema de radiación X se vuelve a desplegar de la misma manera que anteriormente. Además, la fuente de radiación X **260** y los accesorios relacionados pueden desplegarse a intervalos establecidos o basados en ubicaciones previamente conocidas como soldaduras de raíles identificadas por el sistema **200 de navegación y posicionamiento**. En este caso, el vehículo puede utilizar el magnetómetro o, alternativamente, utilizar el sistema de radiación X y los accesorios relacionados para inspeccionar el raíl. La geometría de la placa del detector en relación con la fuente y el raíl afecta la calidad y capacidad del sistema para detectar o visualizar fallas. Los sensores de vía **220** proporcionan información de posición lateral del vehículo de manera que la fuente y la placa del detector **260** se puedan ajustar lateralmente en relación con el raíl de manera que se pueda mantener la geometría adecuada durante el procedimiento de inspección.

Haciendo referencia también a la **figura 3**, la salida generada por el magnetómetro o magnetómetros se ilustra en una serie de inspecciones en la misma ubicación del raíl a través de la cual la falla creció en tamaño después de cada pasada consecutiva. El gráfico **300** muestra el primer paso del magnetómetro antes de que se presente la falla. El diagrama **310** muestra una pequeña falla que se introdujo en el raíl, mientras que el diagrama **320** representa un daño más serio a la vía después de que la falla creció en tamaño. A lo largo del eje x de cada gráfico está la distancia longitudinal a lo largo del raíl. En el eje y de cada gráfico está la lectura relativa de Gauss. Con referencia también a la **figura 10**, la combinación de líneas en cada gráfico en la **figura 3** es de un magnetómetro individual. Pueden disponerse magnetómetros adicionales como en el conjunto de magnetómetros **1010** para medir en múltiples ubicaciones a lo largo del área de la superficie del raíl.

Haciendo referencia también a la **figura 4**, cuando lo ordena el ordenador de navegación **200**, el vehículo puede detenerse para desplegar el detector **440** y la parte superior de la placa de protección del raíl **495**. El detector **440** consiste en una placa del detector electrónica o analógica montada en una estructura de soporte que se mueve sobre guías **480**, accionada por un motor **400** y un sistema de engranajes **470**, en un estado descendido a lo largo de la parte superior de la brida **410** o en paralelo con la base del raíl **100**. Tras un corte de energía, el motor **400** y el sistema de engranajes **470** son impulsados hacia atrás por el puntal **450**. La parte superior de la placa **495 de blindaje del raíl puede consistir en plomo o agua para evitar una exposición excesiva a la radiación en el detector 440** lo que permite una mejor calidad de imagen. De manera similar al detector **440**, la placa de blindaje **495** se mueve a un estado descendido por el motor **400** a través de los deslizadores **480** cuando la parte superior del blindaje de raíl **495** se une mecánicamente con el detector **440**. La combinación de la placa del detector **440** y la parte superior del blindaje del raíl **495** y la estructura relacionada están fijadas al chasis del vehículo **490**. En esta representación, la estructura está montada entre dos ruedas **460 con raíl**, pero puede posicionarse adelante o atrás de estas ruedas.

Haciendo referencia también a la **figura 5**, la parte superior del blindaje **495 del raíl** se muestra como se ve desde el interior del vehículo.

Con referencia también a la **figura 6**, la placa **630 del detector de radiación X** se muestra en relación con la fuente **685 de radiación X** en un vehículo **695** en una posición en la que el detector está listo para visualizar la cabeza o el alma del raíl.

Con referencia también a la **figura 7**, la fuente **685** se muestra en el estado descendido en línea con la placa del detector **440** y la parte superior del blindaje **495 del raíl**. La fuente usa un procedimiento de despliegue similar al de la placa del detector mediante el cual el motor **785** engrana con una rueda dentada motriz para descender la fuente. Al menos un puntal **795** eleva la fuente en caso de **corte de energía del motor 785**. Además del movimiento vertical, la fuente se puede mover lateralmente para mejorar la calidad de la imagen mediante al menos un actuador de pista **755**. Con referencia también a la **figura 8**, la fuente **685** se muestra en línea con la placa del detector **440** y la parte superior del blindaje **495 del raíl**. La placa **805** está interconectada con un interruptor de límite interno que indica que la fuente ha alcanzado su punto más bajo. El blindaje de la parte superior del raíl **495** puede consistir en una bolsa de perdigones de plomo que puede ajustarse a la parte superior del raíl **840**. Un interruptor de contacto interno encapsulado en la carcasa de la placa del detector **850** indica cuándo la parte superior del blindaje del raíl está en posición en el raíl **840**.

Con referencia también a la **figura 9**, la vista a lo largo de la dirección longitudinal del raíl representa la fuente **685**, la parte superior del blindaje **495 del raíl** y la placa **440 del detector**.

Con referencia también a la **figura 10**, una zapata de guía de magnetómetro **1020** está encapsulada en un material no ferroso que consiste en una serie de magnetómetros **1010**. Las ruedas de guía **1000** y **1040** se pueden ajustar dentro de la zapata de guía **1020** para controlar la distancia de desplazamiento entre el conjunto de magnetómetros y el raíl. Haciendo referencia también a la **figura 11**, la zapata del magnetómetro es capaz de moverse lateral y longitudinalmente a lo largo del raíl para evitar un impacto significativo en una junta u otra obstrucción a través de las guías y cojinetes lineales **1160**, **1170**, **1180**, **1190** y **1195**. La zapata del magnetómetro se puede elevar por encima del raíl retrayendo la cadena **1185**. Con referencia también a la **figura 13**, el brazo **1310** unido al motor **1300** contrarresta la fuerza de elevación hacia arriba del puntal **1320** que está conectado a la placa **1330** conectada al chasis del vehículo. El puntal **1320**, ante una falla de energía en el motor **1300** retraerá la zapata del magnetómetro.

En esta configuración, la zapata de guía del magnetómetro se encuentra entre las dos ruedas del vehículo **1110** para ayudar a protegerlo de los daños causados por los escombros en el raíl.

Haciendo referencia también a las **figuras 14 y 15**, representan la geometría de la fuente de radiación **685** en relación con el colimador **1410**, el raíl **840**, la parte superior del blindaje del raíl **495** y la placa del detector **440**. La fuente **685** se establece a una distancia aproximada de 13 pulgadas del raíl cuando la fuente está activada. La placa del detector **440** se puede posicionar en contacto directo con el lado del campo del raíl o hasta aproximadamente 6 pulgadas de distancia del raíl. El propósito de la parte superior del blindaje del raíl **495** es asegurar que la placa del detector **440** no se sature demasiado. El blindaje del raíl **495** puede consistir en una tela o material flexible que se adapte a la forma de la parte superior del raíl donde la tela o el material flexible se llena con un bloqueador de radiación como plomo o agua. El colimador **1410** proporciona una pequeña abertura de aproximadamente 54 x 75 milímetros y puede ser tan pequeña como 35x75 milímetros, como se muestra en la **figura 15**. La apertura del colimador puede ser fija o ajustable automáticamente, y la apertura y el posicionamiento permiten que la radiación penetre y muestre la cabeza, el alma o la base del raíl, o una combinación de las partes del raíl en un momento. El colimador **1410** puede posicionarse aproximadamente a 5 pulgadas de la fuente **685** y aproximadamente a 12,5 pulgadas de distancia del raíl. Esta geometría de la fuente al raíl a la placa del detector ayuda a maximizar la calidad de la imagen capturada.

Haciendo referencia también a las **figuras 16-18**, una zapata de guía alternativa puede colocar magnetómetros en áreas alrededor de la base y el alma de un raíl sin intervención manual, al tiempo que evita obstrucciones del raíl. Tres conjuntos primarios permiten que la zapata de guía atraviese una diversidad de accesorios de vía, como bridas de arrastre **1600** en el ancho de vía o en el lado del campo del raíl. La zapata del magnetómetro **1800** es la zapata del magnetómetro del lado del campo que contiene una serie de magnetómetros **1620**. La zapata **1800 del magnetómetro** está duplicada en el lado del ancho del raíl que contiene la misma matriz de magnetómetros que en la matriz **1620**. Las zapatas del magnetómetro están conectadas a través de un eje dentro de una rueda libre **1810** que se desplaza a lo largo de la parte superior de la cabeza del raíl. El eje está conectado a un accesorio que se conecta al chasis del vehículo (no se muestra). Las zapatas del magnetómetro **1800** y **1820** pueden cargarse por resorte en la posición descendida o pueden sujetarse por gravedad. Una zapata de magnetómetro relativamente estrecha puede, en el lado del ancho, desplazarse dentro de la garganta de guía de la vía férrea. Una obstrucción típica, como una brida de arrastre **1600**, al entrar en contacto con la barrera flexible **1610**, hace que la zapata **1800 del magnetómetro** pivote alrededor del eje dentro de la rueda **1810 de guía**. La zapata de guía puede retraerse en un lado y permanecer descendida en el otro lado. Ambos lados pueden elevarse (no se representan) mientras la rueda guía **1810** permanece en contacto con la parte superior del raíl. La zapata de guía puede estar hecha de materiales consumibles que tienen un durómetro alto para que puedan entrar en contacto con el lado del ancho y del campo del raíl. La barrera **1610** puede estar hecha de una combinación de materiales para permitir que la elasticidad acepte el contacto repetido con juntas y otros sujetadores de las vías.

Otras realizaciones

Además de realizar inspecciones en las vías férreas ya instaladas, se puede usar la misma tecnología para evaluar un raíl de referencia a medida que sale del procedimiento de fabricación. El magnetómetro de referencia o la información de rayos X pueden desempeñar un papel importante en la proyección de dónde podría crecer y expandirse una falla potencial después de la instalación en un entorno operativo. Además, la información de referencia se puede usar inmediatamente después del procedimiento de fabricación y durante el procedimiento de almacenamiento para monitorizar el cambio en el raíl y el impacto de las condiciones ambientales en el raíl durante el procedimiento de almacenamiento.

Se pueden usar fuentes de rayos X dedicadas múltiples o más pequeñas para enfocar específicamente la radiación X en múltiples ubicaciones a lo largo del raíl dentro de los confines generales del vehículo de inspección, por lo que se puede realizar un procesamiento de imágenes desplazadas al mismo tiempo usando múltiples fuentes y placa(s) detectora(s) asociada(s). Estas fuentes pueden ser lo suficientemente pequeñas para caber dentro de la garganta de guía de una vía férrea, lo que minimiza la necesidad de mover, posicionar o ajustar la fuente de rayos X a la geometría del objetivo. Al mismo tiempo, la energía más enfocada da como resultado una menor dispersión y minimiza la necesidad de un blindaje pesado para minimizar las fugas de radiación. Se pueden usar varias fuentes de rayos X

para obtener imágenes de ambos raíles al mismo tiempo sin la necesidad de reposicionar o ajustar la fuente.

A medida que las fuentes de radiación X se vuelven más pequeñas y más enfocadas en geometrías específicas, las imágenes de radiación se pueden capturar continuamente mientras el vehículo de inspección continúa en movimiento.

- 5 El uso de técnicas de desplazamiento Doppler permite la combinación de muchas imágenes para crear una imagen continua del raíl. Esto da como resultado un procedimiento de inspección más eficiente y reduce el tiempo total necesario para inspeccionar.
- 10 Tanto los magnetómetros como la tecnología de rayos X no solo son capaces de detectar fallas en los dos raíles generalmente paralelos de una vía férrea, sino que la tecnología puede optimizarse para inspeccionar otros accesorios de la vía, como cuñas, varillas de medición, puntos, pernos, clavos de amarre o sujetadores de amarre y otros trabajos de vía especiales asociados con interruptores, cortavías, juntas, etc. Esto puede requerir un reposicionamiento robótico o automatizado de la fuente de rayos X y el par de placas del detector, así como los sensores del magnetómetro para lograr los resultados deseados.
- 15 Las juntas aisladas también se pueden inspeccionar usando el sistema de rayos X para garantizar que los espacios de aislamiento y el material de aislamiento relacionado mantengan el espacio adecuado y el aislamiento eléctrico general entre los dos conductores.
- 20 El sistema de rayos X para validar las fallas detectadas también puede ser reemplazado por un sistema de ultrasonido para la validación ultrasónica u otros sistemas de imágenes. Además, el sistema de rayos X puede desplegarse independientemente de los magnetómetros pasivos, por ejemplo, para usar para la inspección de áreas previamente identificadas como preocupantes, mediante operación manual local o remota, o junto con otros sistemas de detección capaces de indicar posibles fallas.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de inspección de vías que comprende:
un vehículo ferroviario (695);
5 uno o más magnetómetros pasivos (280) en una matriz (1010, 1620)) montados en el vehículo ferroviario y
un sistema informático (290) en el vehículo ferroviario (695), el sistema informático (290) recibe datos de uno o más magnetómetros pasivos (280) **caracterizado por** comprender, además una zapata de guía (1020; 1800, 1820) que aloja el uno o más magnetómetros pasivos (280) y adecuada para
10 posicionar el uno o más magnetómetros pasivos (280) para medir un campo magnético dentro de un raíl (840) mientras que el vehículo ferroviario (695) opera a velocidades mayores que 8,94 m/s (veinticuatro millas por hora); donde la zapata de guía (1020, 1800):

se ajusta alrededor del raíl para posicionar la medición del magnetómetro de una cabeza del raíl (130), un alma del raíl (120) y una base del raíl (100); o
15 incluye ruedas de guía (1000, 1040) que controlan una distancia de desplazamiento entre el raíl y el uno o más magnetómetros pasivos (280).
2. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 1, donde la zapata de guía (1020; 1800, 1820)
20 se adapta alrededor del raíl para posicionar la medición del magnetómetro de una cabeza del raíl (130), un alma del raíl (120) y una base del raíl (100) y se puede posicionar para la medición con magnetómetro de accesorios de la vía además del raíl, incluso al menos uno de una cuña, un interruptor y un cortavía.
3. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 1, donde la zapata de guía (1020) incluye ruedas
25 de guía que controlan una distancia de desplazamiento entre el raíl y uno o más magnetómetros pasivos (280) y donde la zapata de guía (1020) incluye deslizadores lineales y cojinetes (1160, 1170, 1180, 1190, 1195) para atravesar juntas de raíl o espacios en el raíl mientras se mantiene la distancia de desplazamiento del magnetómetro.
4. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 3, donde el vehículo ferroviario es un vehículo
30 autónomo autopropulsado.
5. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 4, que comprende además un sistema de rayos X (270) o de ultrasonido que se puede desplegar para validar si existe una falla interna del raíl basada en que el campo magnético medido excede una variación de umbral, o tasa de variación de cambio, de una o más mediciones anteriores
35 en una misma ubicación de raíl o mediciones adyacentes a lo largo del raíl (840).
6. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 5, donde el sistema de rayos X (270) o de ultrasonido es un sistema de rayos X que comprende:
40 una fuente de radiación (685) montada en el vehículo ferroviario y desplegable a un lado del raíl (840); una placa del detector de rayos X (440, 630) montada en el vehículo ferroviario y desplegable en un segundo lado del raíl (840); y
donde el sistema informático (290) controla el despliegue y el funcionamiento del sistema de rayos X (270).
- 45 7. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 6, que comprende además un blindaje de raíl (495) unido mecánicamente con la placa del detector (440) para minimizar la radiación de retrodispersión.
8. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 6, que comprende además una segunda fuente de radiación (685), una segunda placa del detector (440, 630) y un blindaje de raíl minimizado (495) de manera que
50 el sistema informático (290) controla la captura de imágenes de rayos X desplazadas.
9. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 7, que comprende además un colimador (1410) que se puede desplegar entre la fuente de radiación (685) y el raíl (840), el colimador (1410) posicionado y dimensionado para controlar la penetración de la radiación en la cabeza del raíl (130) o el alma del raíl (140) o la base
55 del raíl (100) o una combinación de partes del raíl (840).
10. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 9, que comprende además un sistema (230) de detección y alcance de luz de 360 grados (LiDAR) en conexión con el ordenador, donde el sistema LiDAR (230) es operable para detectar obstrucciones y/o animales y/o seres humanos dentro de una zona de radiación alrededor del
60 vehículo.
11. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 10, que comprende además un sistema de

advertencia de luz y audio (240) operable durante los rayos X para iluminar y advertir de una zona de radiación.

12. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 11, donde el vehículo ferroviario (695) es un vehículo autónomo autopropulsado.

5

13. El dispositivo de inspección de vías de la reivindicación 12, donde el sistema informático (290) controla la velocidad del vehículo ferroviario (695), monitoriza los datos de uno o más magnetómetros pasivos (280) para detectar posibles fallas internas del rail, detiene el vehículo al detectar una posible falla, y se posiciona para la validación por rayos X de la posible falla después de detener el vehículo (695).

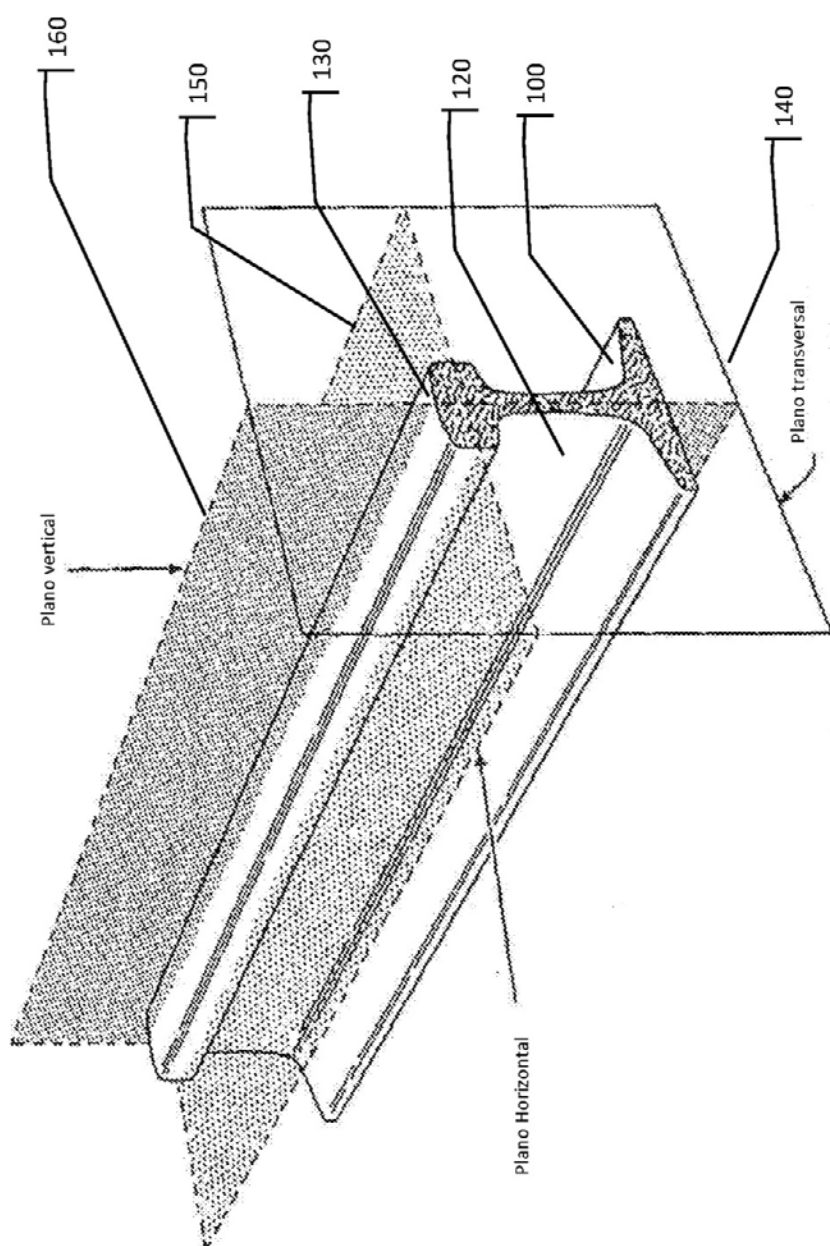


Figura 1

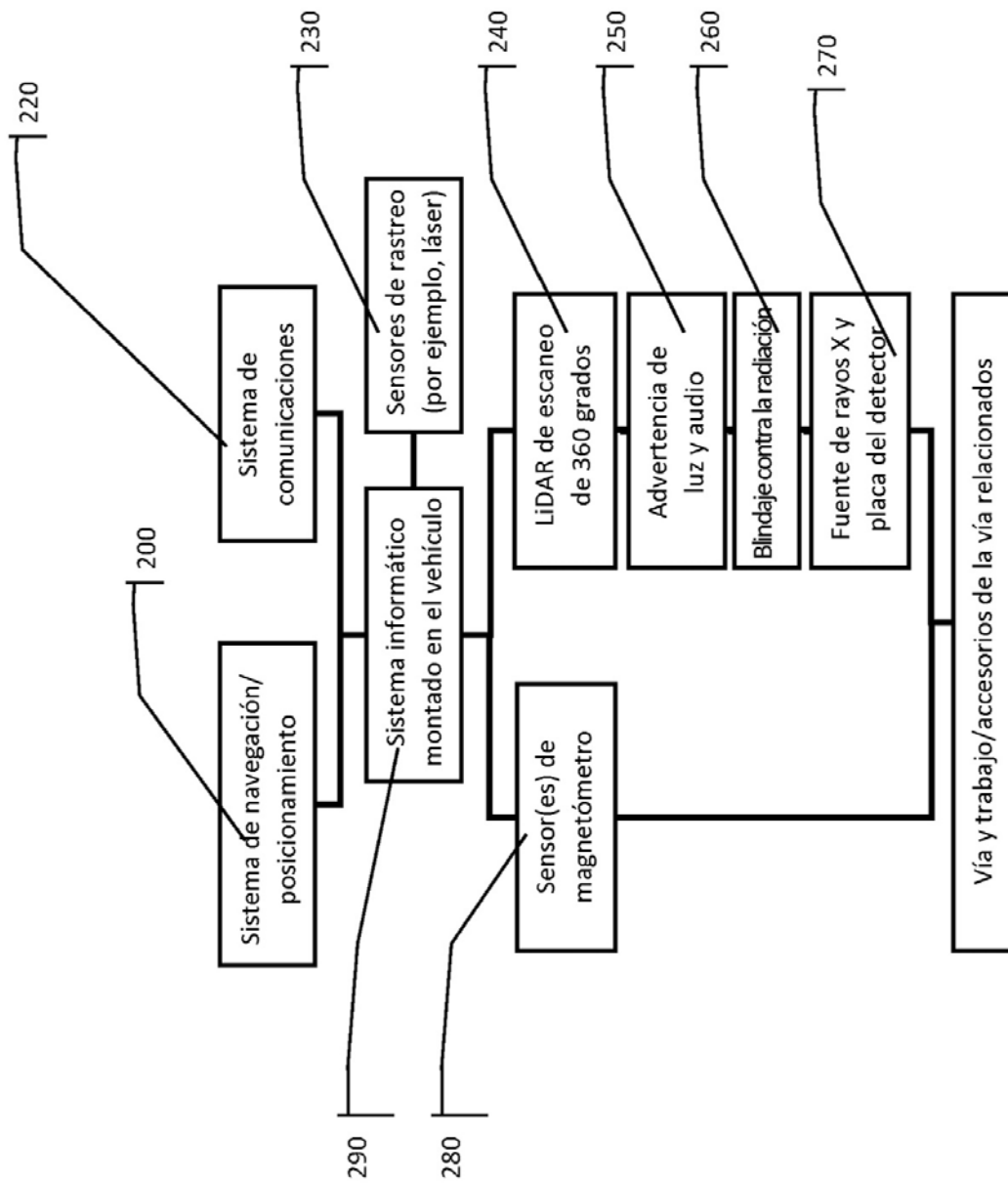


Figura 2

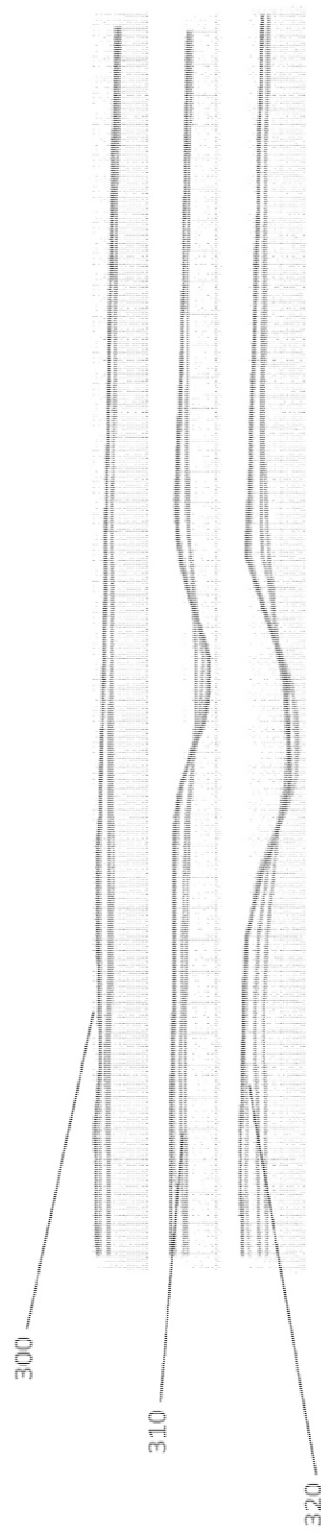
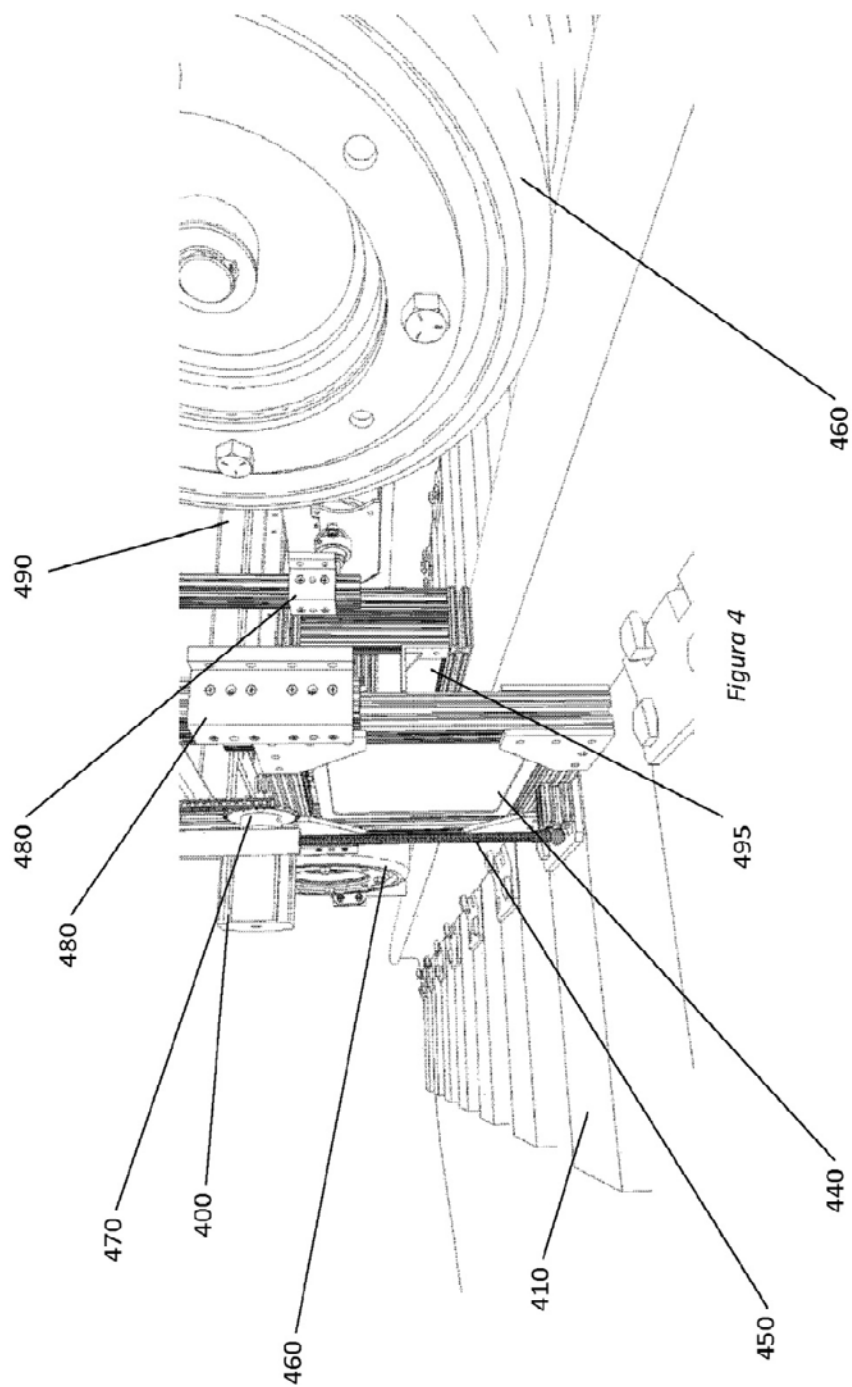
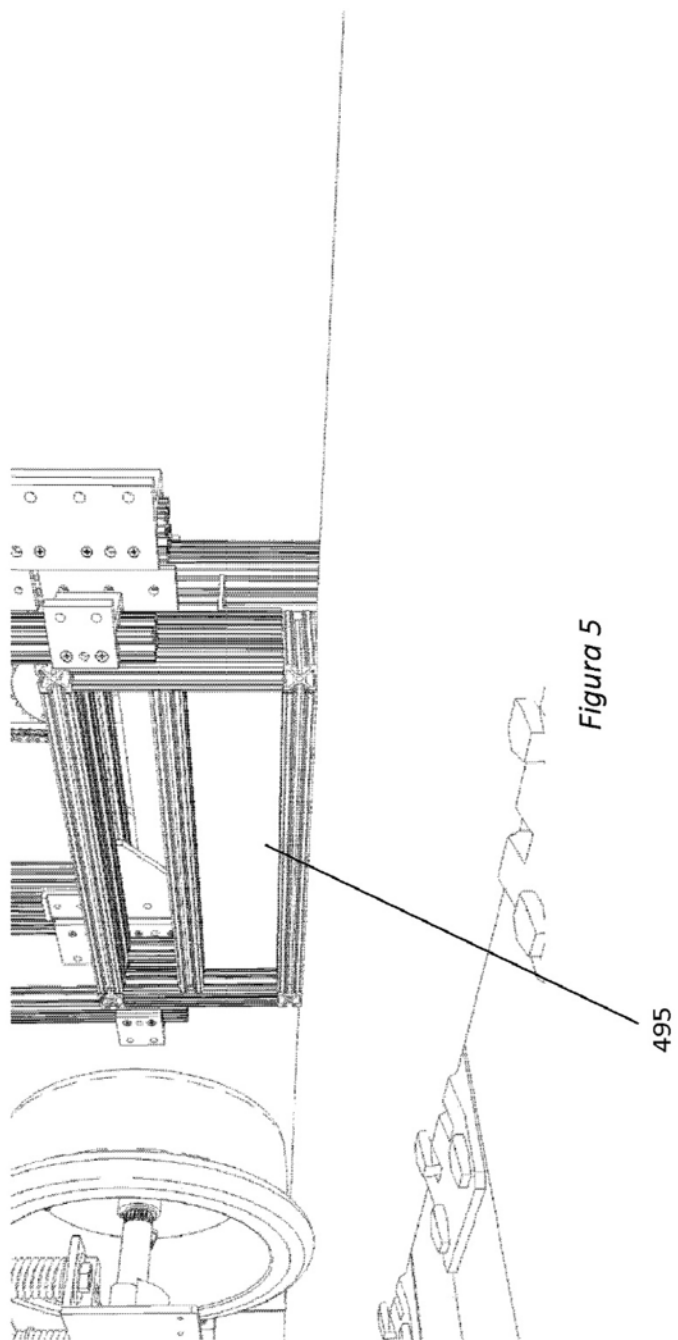


Figura 3





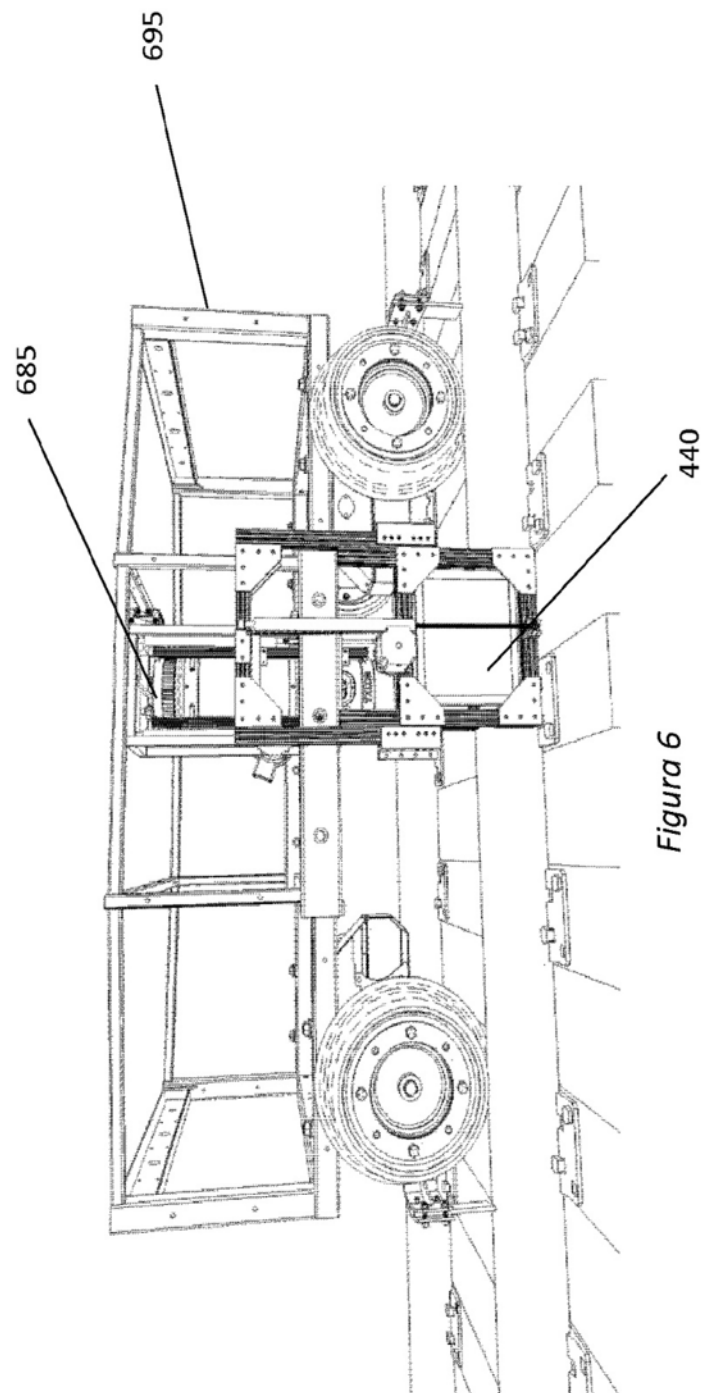


Figura 6

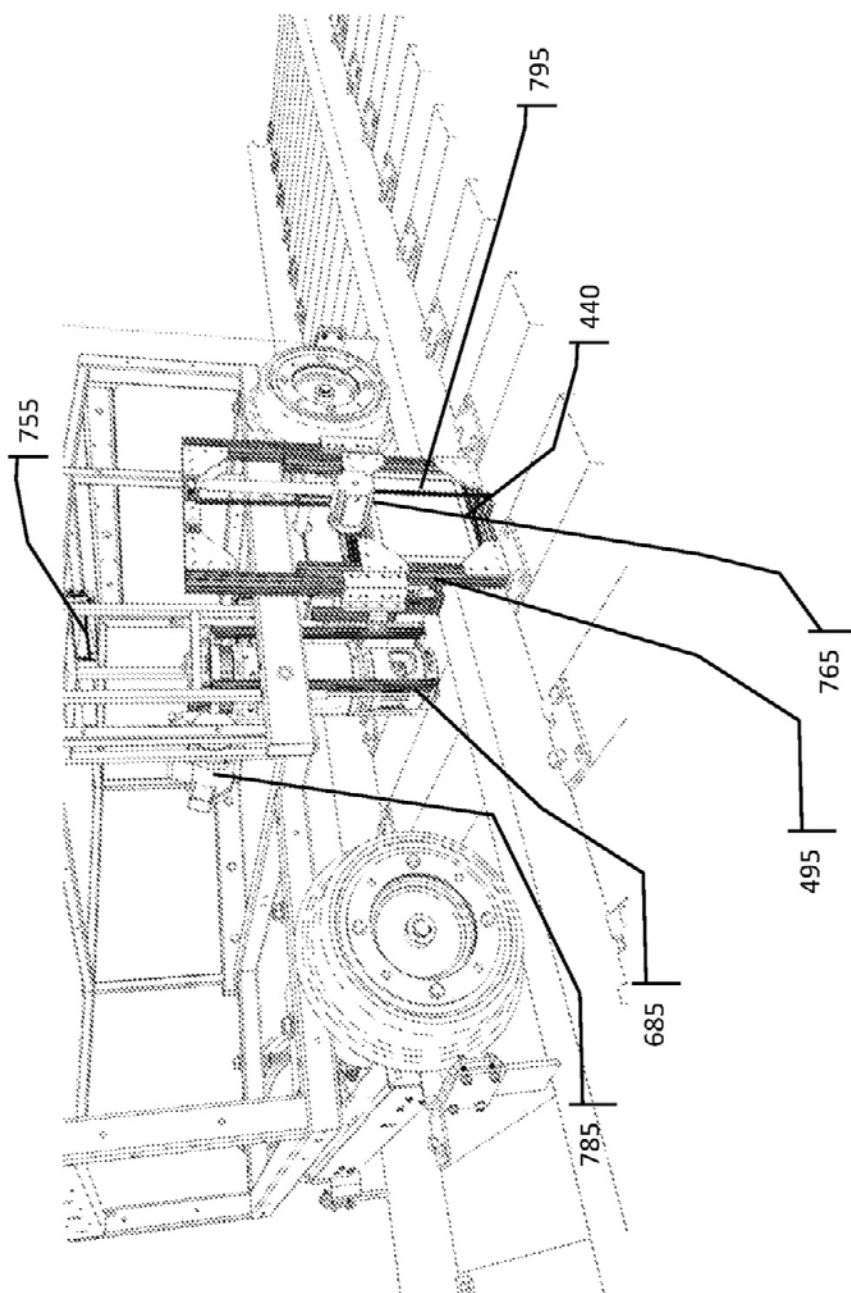
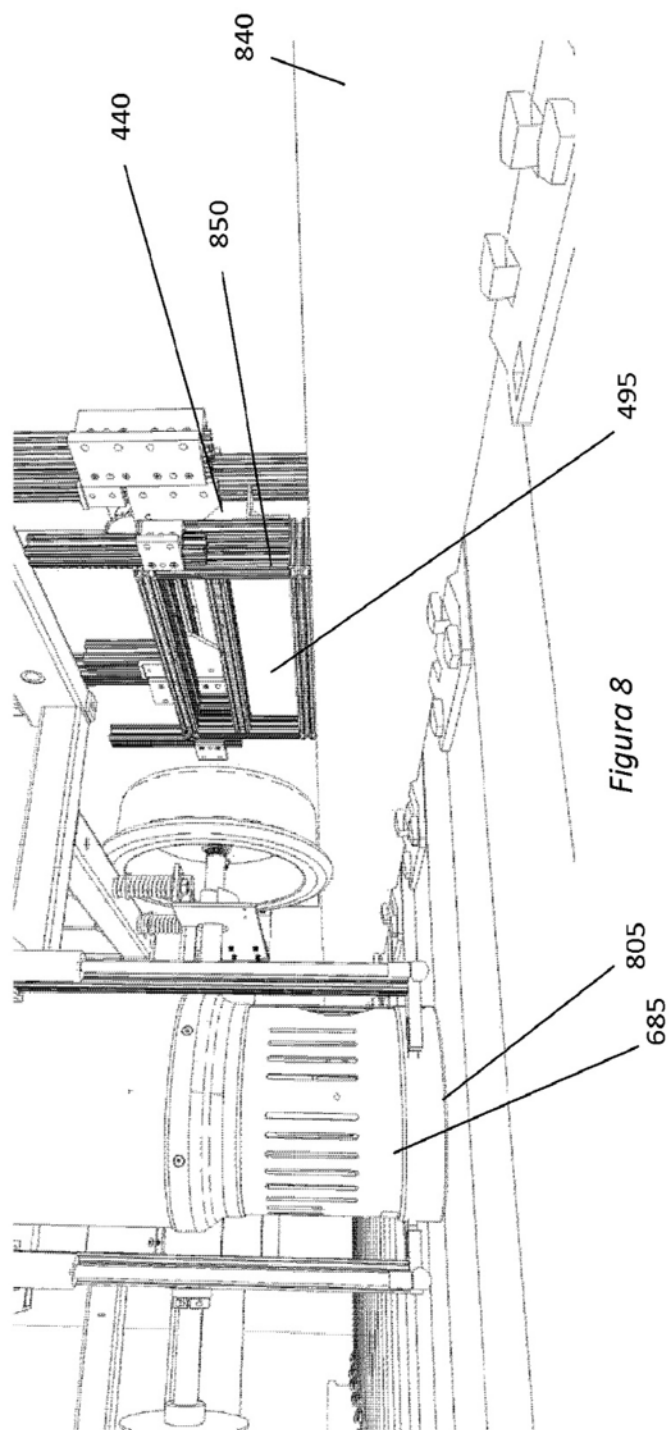
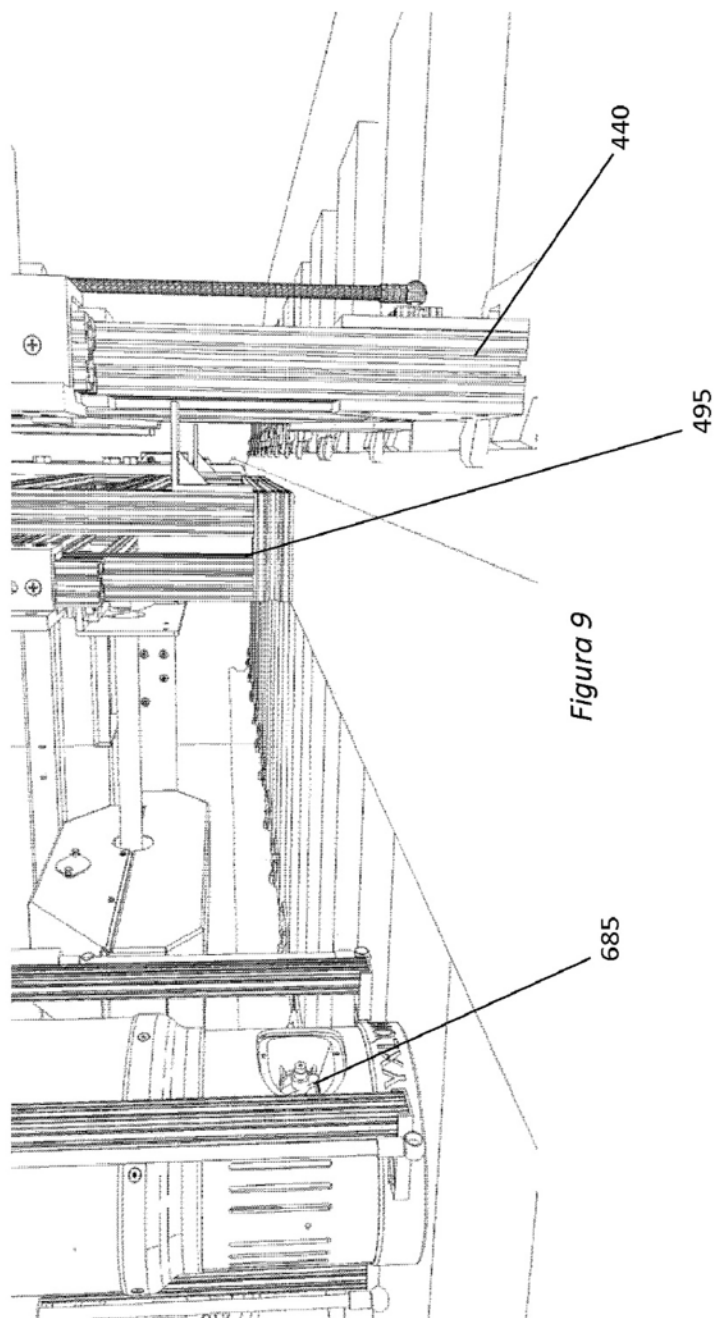
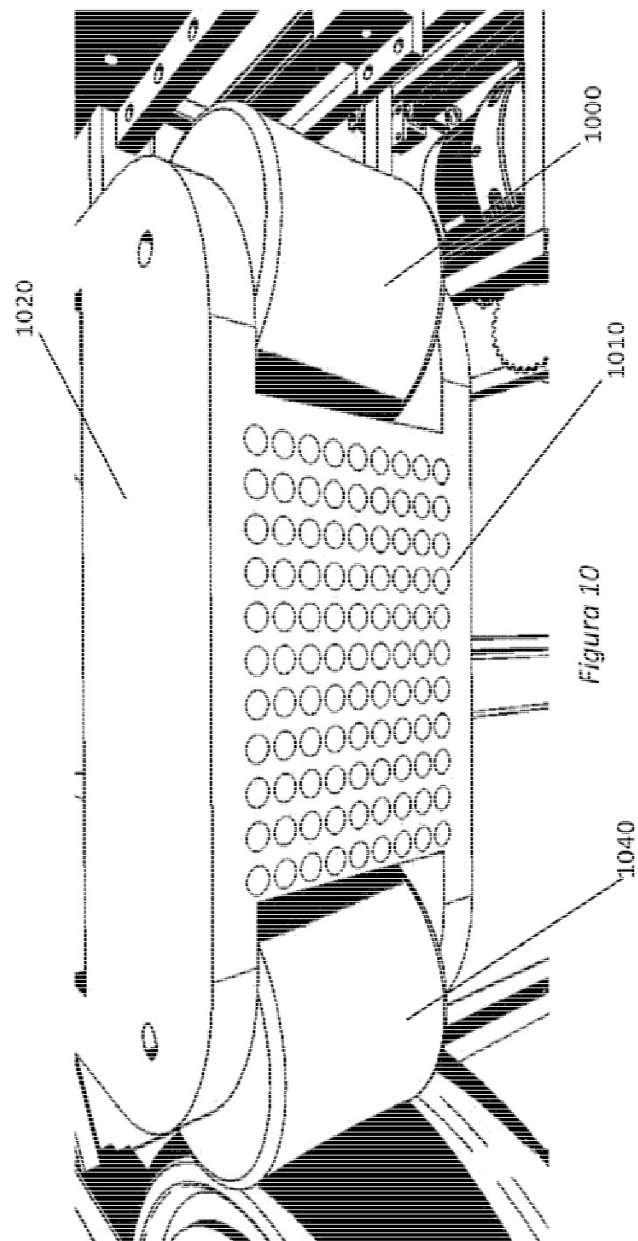


Figura 7







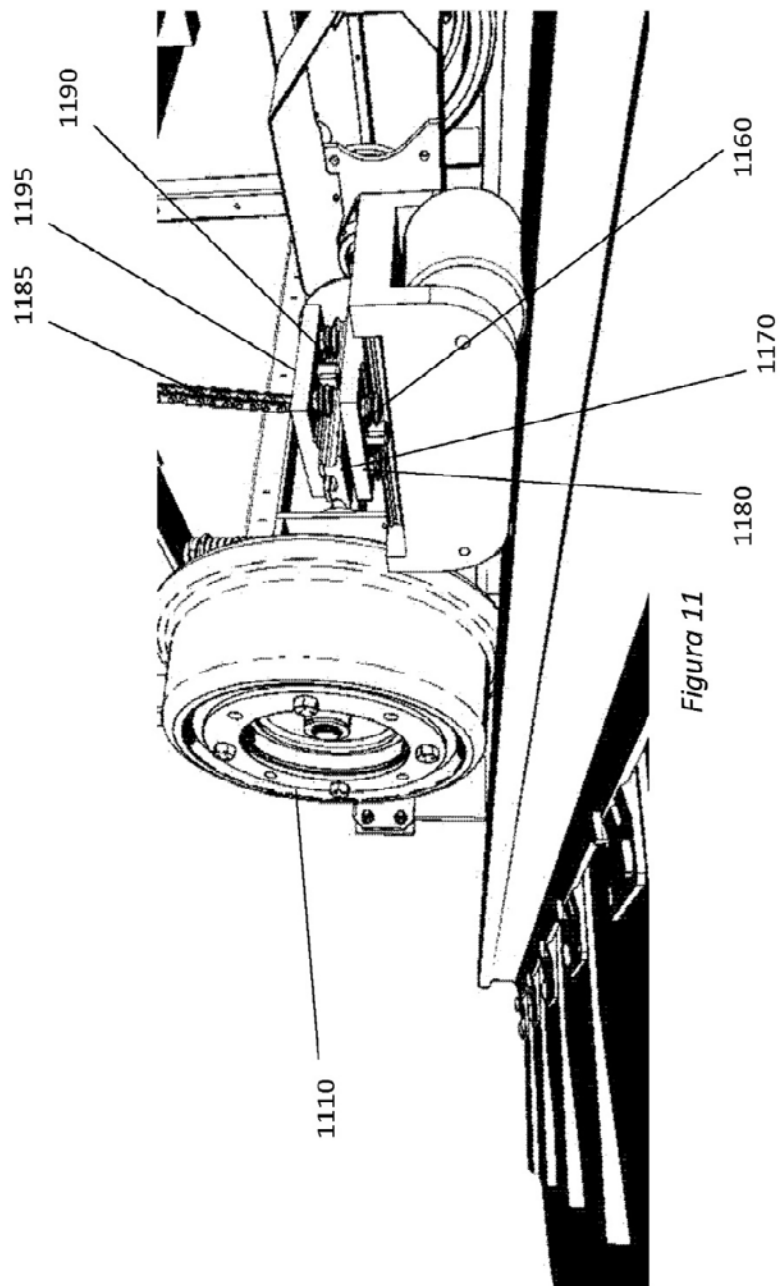


Figura 11

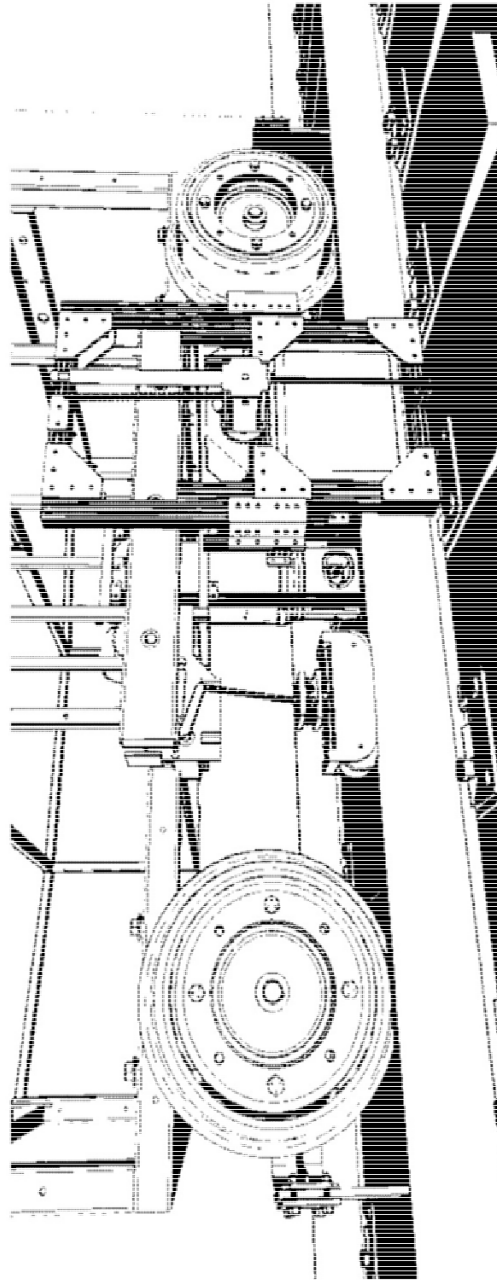


Figura 12

