

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 161**

51 Int. Cl.:

G01N 27/20 (2006.01)

G01N 27/24 (2006.01)

G01M 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.05.2011 PCT/US2011/036190**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.11.2011 WO11143384**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2011 E 11723788 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2569620**

54 Título: **Manguito de sensor para monitorizar la salud de un artículo**

30 Prioridad:

12.05.2010 US 333828 P

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

18.07.2019

73 Titular/es:

**PARKER-HANNIFIN CORPORATION (50.0%)
6035 Parkland Boulevard
Cleveland, Ohio 44124-4141, US y
UNIVERSITY OF CINCINNATI (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ZHU, XIANGDONG;
BUCA, PETER V.;
LEE, JAY;
SCHULZ, MARK;
SUNDARAMURTHY, SURYA y
SHANOV, VESSELIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 720 161 T3

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

DESCRIPCIÓN

Manguito de sensor para monitorizar la salud de un artículo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un manguito de sensor para detectar daños en un artículo presurizado (por ejemplo, una manguera hidráulica).

Antecedentes

10 Una manguera de conexión hidráulica es un tubo que transfiere fluidos a presión de un lugar a otro. Una manguera hidráulica es una estructura compuesta fabricada principalmente de caucho o termoplástico y refuerzo de acero. El refuerzo de acero puede incluir un alambre que se enrolla firmemente en espiral a lo largo de la longitud de la manguera para formar un armazón de acero o podría estar trenzado a lo largo de la longitud de la manguera para una mayor resistencia. La cubierta más externa generalmente está fabricada de material polimérico que ayuda a proteger las capas internas de los ambientes hostiles. Las mangueras hidráulicas operan desde una presión muy baja hasta una presión extremadamente alta dependiendo de las aplicaciones. Las mangueras hidráulicas se usan en una variedad de industrias como maquinaria pesada, electrodomésticos, etc. y entornos. En ciertas situaciones, especialmente en maquinaria pesada, el estado de una manguera es crítico.

15 Una manguera hidráulica tiene una vida útil limitada y eventualmente todas las mangueras fallan debido a diversos factores como daños externos, flexión de múltiples planos, condiciones operativas, etc. El daño a una manguera que lleva presiones tan altas puede provocar lesiones graves o la muerte de un operario. Por lo tanto, la monitorización del estado de la manguera se vuelve crítico.

20 La tecnología convencional, representada por la patente de Estados Unidos N.º 7.555.936 para la Fundación de Investigación Purdue y por la publicación PCT N.º WO 2010/004418 para Eaton Corporation, generalmente usa la manguera hidráulica como sensor. Por ejemplo, las referencias enumeradas anteriormente usan el principio de medición de capacitancia en el que la capacitancia de la manguera se mide y se usa como indicador de estado de la manguera. Los problemas con tales procedimientos incluyen: las capas metálicas de las mangueras pueden entrar en contacto entre sí debido al engaste, por ejemplo; no considera una manguera con otras dos capas metálicas; y descuenta los daños a la manguera causados por un objeto extraño.

25 La patente de Estados Unidos N.º 2010/0007325, también para Eaton Corporation y de la misma familia que el documento WO 2010/004418, desvela un conjunto de manguera y un detector de fallos conectado eléctricamente al conjunto de manguera. El conjunto de manguera incluye una manguera generalmente flexible que tiene una construcción multicapa, que incluye una primera capa conductora, una segunda capa conductora y una capa intermedia que está dispuesta entre las capas conductoras primera y segunda. Cada una de las capas conductoras primera y segunda tiene una característica eléctrica. El detector de fallos está configurado para detectar un cambio eléctrico basado en la característica eléctrica para indicar un posible fallo inminente de al menos una de las capas conductoras primera y segunda de la manguera. El detector de fallos incluye un dispositivo de detección, un dispositivo de grabación y un procesador digital. El dispositivo de detección está en comunicación eléctrica con las capas conductoras primera y segunda para medir la característica eléctrica. El dispositivo de grabación está configurado para almacenar la característica eléctrica medida.

Sumario

30 La presente invención está dirigida a una variedad de manguitos de sensor para uso en la detección de un fallo en un artículo (por ejemplo, una manguera hidráulica). Los manguitos de sensor generalmente incluyen una capa aislante que separa dos capas de electrodo. Como tal, las capas de electrodo se deforman para entrar en contacto entre sí. En general, pero no en todos los casos, las capas de electrodo son más gruesas y flexibles en relación con la capa aislante (dieléctrica).

35 El manguito de sensor está diseñado para cambiar la impedancia eléctrica debido a la presión de un fluido o de un objeto extraño que empuja contra o atraviesa el propio sensor. El manguito de sensor detectará una fuga de aceite u objeto extraño a través de la manguera cuando se forme un orificio por presión de fluido o de objeto extraño, que deforma y/o penetra en el sensor y hace que los dos electrodos elásticos entren en contacto entre sí. La flexibilidad, el espesor y la geometría de los electrodos pueden diseñarse basándose en el material que el recubrimiento del sensor está monitorizando. Como ejemplo, para monitorizar un material compuesto en busca de daños por impacto, el recubrimiento del sensor tendría electrodos más delgados y más rígidos para adaptarse a la impedancia (rigidez) del material compuesto base. La frase "material compuesto" se usa en el presente documento para describir materiales compuestos elastoméricos (por ejemplo, mangueras) y también materiales compuestos de polímero reforzado con fibra (por ejemplo, un ala de avión compuesta). Una manguera compuesta es una combinación de material de caucho y alambre de acero. Un compuesto de polímero reforzado con fibra es una combinación de fibras fuertes incrustadas en una matriz polimérica (por ejemplo, fibras de carbono incrustadas en tela de carbono epoxi o preimpregnada en capas para formar un panel). También son posibles otros tipos de materiales compuestos. El manguito de sensor puede incluir electrodos y un dieléctrico específicamente diseñado para los diferentes tipos de

materiales compuestos que se pueden monitorizar.

La presente invención proporciona un manguito de sensor para detectar daños en una superficie de un artículo de acuerdo con la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes se definen características adicionales opcionales del manguito de sensor.

5 El manguito de sensor puede estar diseñado para cambiar la capacitancia debido a su propia deformación causada por una fuga de fluido o un daño causado por un objeto extraño. En tales realizaciones, la capa dieléctrica puede ser más gruesa que las capas de electrodo. Dicho sensor debe diseñarse con cuidado para que solo tenga en cuenta los daños críticos derivados de fugas de líquidos o el impacto de objetos extraños.

10 El manguito de sensor para detectar daños en una superficie de un artículo de acuerdo con la invención incluye: una primera capa de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie de un artículo; una capa dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa de electrodo; y una segunda capa de electrodo que cubre al menos una porción de la capa dieléctrica, en el que el daño a la superficie del artículo cubierta por la primera capa de electrodo, la capa dieléctrica y la segunda capa de electrodo hace que la primera capa de electrodo entre en contacto con la segunda capa de electrodo, disminuyendo así la impedancia entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

15 También se desvela un procedimiento para detectar el fallo de un artículo, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, incluyendo el procedimiento: monitorizar la impedancia de un artículo, en el que el artículo incluye un manguito de sensor que incluye una primera capa de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie del artículo; una capa dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa de electrodo; y una segunda capa de electrodo que cubre al menos una porción de la capa dieléctrica, en el que el daño a la superficie del artículo cubierta por la primera capa de electrodo, la capa dieléctrica y la segunda capa de electrodo hace que la primera capa de electrodo entre en contacto con la segunda capa de electrodo, en el que la impedancia se mide entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo; y detectar un fallo en el artículo basándose, al menos en parte, en la impedancia monitorizada a través de la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

20 También se desvela un procedimiento para fabricar un manguito de sensor sobre un artículo, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, incluyendo el procedimiento: aplicar una primera capa de electrodo sobre al menos una porción de un artículo; aplicar una capa dieléctrica sobre al menos una porción de la primera capa de electrodo; y aplicar una segunda capa de electrodo en al menos una porción de la capa dieléctrica.

30 La capa dieléctrica puede ser una capa dieléctrica porosa y no absorbente, en la que la fuga de fluido del artículo crea una trayectoria conductora a través de la capa dieléctrica y entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

35 También se desvela un procedimiento para detectar fugas de fluido conductor en un artículo, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, incluyendo el procedimiento: monitorizar la impedancia de un artículo, en el que el artículo incluye un manguito de sensor que incluye una primera capa de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie del artículo; una capa dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa de electrodo, en el que la capa dieléctrica es porosa y no conductora; y una segunda capa de electrodo que cubre al menos una porción de la capa dieléctrica, en el que una fuga de fluido conductor crea una trayectoria conductora a través de la capa dieléctrica y entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo, en el que la impedancia se mide entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo; y detectar la fuga de fluido conductor en el artículo basándose, al menos en parte, en la impedancia monitorizada a través de la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

45 El manguito de sensor puede estar diseñado para cambiar la capacitancia debido a la deformación del sensor, que puede estar causada por la presión del fluido (por ejemplo, una fuga de aceite) o el daño causado por un objeto extraño. En tales casos, la capa dieléctrica puede ser más gruesa que las dos capas de electrodo, por ejemplo. Dicho sensor debe diseñarse con cuidado para que pueda tener en cuenta los daños críticos causados por la presión del fluido y el impacto de objetos extraños, por ejemplo.

50 El manguito de sensor se coloca en la capa exterior del artículo, que puede ser el exterior de una manguera. En ejemplos alternativos que no están dentro del ámbito de la invención como se reivindica, el manguito de sensor puede colocarse en cualquier lugar dentro del artículo entre las capas del artículo (manguera). Cuando el manguito de sensor se forma dentro del artículo (manguera), una o más capas del artículo (manguera) pueden funcionar como una o más de las capas del manguito de sensor.

Otros sistemas, dispositivos, procedimientos, características y ventajas de la presente invención serán o se harán evidentes para un experto en la materia tras el examen de los siguientes dibujos y la descripción detallada.

55 Debe enfatizarse que el término "comprende/que comprende" cuando se usa en esta memoria descriptiva se toma para especificar la presencia de las características, enteros, etapas o componentes indicados, pero no excluye la

presencia o adición de una o más características, enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán con más detalle las realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 La figura 1 es un manguito de sensor a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
La figura 2 es una sección transversal del manguito de sensor de la figura 1 que cubre un artículo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
Las figuras 3-9 son mecanismos de sensor a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
- 10 Las figuras 10A-10B son manguitos de sensor para detectar fugas de fluido en un artículo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
La figura 11 es un sistema a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
Las figuras 12 y 13 son procedimientos a modo de ejemplo de uso del manguito de sensor de acuerdo con la presente invención.
- 15 La figura 14 es un gráfico que ilustra un cambio en una resistencia en un manguito de sensor cuando está en una condición normal y en una condición de fallo.
Las figuras 15A-15E ilustran el desarrollo del manguito de sensor de acuerdo con aspectos de la presente invención.
- 20 Las figuras 16A-16B ilustran un manguito de sensor en una superficie exterior de un artículo de acuerdo con aspectos de la presente invención.
Las figuras 17A-17B ilustran un manguito de sensor en una superficie interna de un artículo.
La figura 18 es un gráfico que ilustra un cambio en una resistencia en un manguito de sensor cuando está en una condición normal y en una condición de fallo.
- 25 La figura 19 es un gráfico que ilustra un cambio en una resistencia en un manguito de sensor cuando está en una condición normal y en una condición de fallo para indentadores de diferentes diámetros.

Descripción detallada de las realizaciones

Los aspectos de la presente invención se dirigen a una variedad de manguitos de sensor. Como se usa en el presente documento, el término "manguito" incluye un recubrimiento, una envoltura y una cubierta exterior, por ejemplo.

- 30 Con referencia a la figura 1, se ilustra una sección transversal de un manguito 10 de sensor a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención. El manguito 10 de sensor generalmente incluye una capa 12 aislante que separa una primera capa 14 de electrodo y una segunda capa 16 de electrodo. Como se describe a continuación, en general, las capas 14, 16 de electrodo se deforman para entrar en contacto entre sí cuando se produce un fallo o condición de fallo. Por lo tanto, las capas 14, 16 de electrodo son generalmente más gruesas y flexibles en relación con la capa 12 aislante (dieléctrica).
- 35 Con referencia a la figura 2, el manguito 10 de sensor se ilustra cubriendo la superficie de un artículo 18. Por ejemplo, el artículo puede ser una manguera. El artículo 18 es representativo de varios tipos de mangueras que pueden usarse para contener un fluido dinámico o estático. Un ejemplo particular es una manguera hidráulica que contiene un fluido hidráulico cuya presión fluctúa. Como tal, el artículo 18 puede tener una superficie circunferencial y es operable para transferir fluidos de un lugar a otro. El artículo 18 tiene un tubo 20 interior que hace contacto con un fluido que fluye a través del artículo 18. El artículo 18 puede incluir una o más capas de refuerzo (no mostradas) que refuerzan el artículo 18, y una cubierta 19 exterior que protege el artículo 18 y sus componentes interiores. Debido a que el tubo 20 interior entra en contacto directo con el fluido, el material del que está formado el tubo 20 interior debe ser químicamente compatible con el fluido contenido en el artículo 18. Como resultado, pueden emplearse diversos materiales para el tubo 20 interior, incluyendo nitrilobutadieno, cloropreno, copolímero de etileno y propileno, politetrafluoroetileno (PTFE), etc. La capa de refuerzo generalmente promueve la resistencia del artículo 18. En el artículo 18 puede haber cualquier cantidad de capas de refuerzo, y las capas de refuerzo pueden construirse a partir de una variedad de materiales en una variedad de configuraciones. Los materiales típicos incluyen metales tales como aceros, bronce y aluminio, materiales sintéticos como rayón, nailon, fibra de tereftalato de polietileno (PET) y fibra de vidrio e hilos textiles como el algodón. Si se usan múltiples capas de refuerzo, pueden colocarse capas de separación de caucho entre las capas de refuerzo para reducir la abrasión y el desgaste entre
- 40
- 45
- 50

ellas. Los materiales adecuados para la cubierta 19 exterior dependerán del entorno operativo del artículo 18 con materiales típicos que incluyen cauchos sintéticos.

Como se ilustra en la figura 2, el manguito 10 de sensor incluye una primera capa 14 de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie de un artículo 18. Una capa aislante (dieléctrica) 12 cubre al menos una porción de la primera capa 14 de electrodo. Una segunda capa 16 de electrodo se ilustra cubriendo al menos una porción de la capa 12 dieléctrica. Cuando se produce daño en la superficie del artículo 18, la presión del fluido ejercida a través del tubo 20 interior y de las paredes laterales del artículo 18 hace que la primera capa 14 de electrodo entre en contacto con la segunda capa 16 de electrodo. Cuando las capas 14, 16 de electrodo hacen contacto, la impedancia medida entre las capas de electrodo disminuye del orden de megaohmios cuando las capas 14, 16 de electrodo no están en contacto (y están aisladas) casi a cero cuando las capas 14, 16 de electrodo están en contacto entre sí.

El manguito 10 de sensor también responde al daño causado por fuentes externas (por ejemplo, fuerza de impacto). Cuando se produce un daño en la capa 16 de electrodo, la fuerza externa hace que la capa 16 de electrodo penetre y entre en contacto con la primera capa 14 de electrodo. Cuando las capas 14, 16 de electrodo hacen contacto, la impedancia medida entre las capas de electrodo disminuye del orden de megaohmios cuando las capas 14, 16 de electrodo no están en contacto (y están aisladas) casi a cero cuando las capas 14, 16 de electrodo están en contacto entre sí.

De acuerdo con la presente invención, para facilitar el contacto entre las capas 14, 16 de electrodo, al menos la primera capa 14 de electrodo del manguito 10 de sensor mostrada en las figuras 1 y 2 incluye contactos 22 (también denominados protuberancias, penetradores, etc. en el presente documento) incrustados y/o formados a partir de la capa 14 de electrodo, 16. Por ejemplo, con referencia a las figuras 3 y 4, la capa 14 de electrodo puede incluir uno o más contactos 22 separados, en la que los contactos están configurados para perforar la capa 12 dieléctrica y hacer contacto con la segunda capa 16 de electrodo cuando se desarrolla una grieta y/o fuga en el artículo 18.

Puede usarse cualquier forma de contacto 22 de acuerdo con aspectos de la presente invención. Por ejemplo, como se muestra en la figura 3, los contactos 22 tienen forma de diente de sierra. Con respecto a la figura 4, los contactos 22 tienen forma de semicírculo. Un experto en la materia apreciará fácilmente que los contactos 22 pueden ser de cualquier tamaño y forma deseados y pueden depender de la aplicación. Del mismo modo, los contactos 22 pueden estar separados una distancia uniforme prescrita y/o una distancia no uniforme. Los contactos 22 facilitan el contacto entre las capas 14, 16 de electrodo al iniciarse una condición de daño asociada con el artículo 18. En otro ejemplo (que no entra dentro del ámbito de la invención como se reivindica) ilustrado en la figura 5, los contactos 22 pueden tomar la forma de un cable incrustado en la capa 12 dieléctrica, por ejemplo.

El manguito 10 de sensor puede estar diseñado para cambiar la impedancia eléctrica (o resistencia) debido a una presión del fluido (por ejemplo, presión del aceite) que inicia un poro a través del manguito 10 de sensor. El manguito 10 de sensor detectará la fuga de fluido cuando el poro penetre el manguito 10 de sensor y ponga las dos capas elásticas de electrodo 14, 16 en contacto entre sí. La flexibilidad, el espesor y la geometría de las capas 14, 16 de electrodo deben diseñarse basándose en el material que monitoriza el manguito de sensor, por ejemplo, un artículo en forma de manguera hidráulica. Como ejemplo, para monitorizar un material compuesto en busca de daños por impacto, el recubrimiento del sensor puede tener capas de electrodo más delgadas y más rígidas para adaptarse a la impedancia mecánica (rigidez) del material compuesto base (por ejemplo, los componentes que forman la manguera, el ala de avión de material compuesto, etc.).

Como se ha establecido anteriormente, el manguito 10 de sensor usa un enfoque de impedancia eléctrica para detectar pequeños daños de inicio sobre grandes superficies. Como se ha indicado anteriormente, el recubrimiento del sensor incluye dos capas 14, 16 de electrodo separadas por una capa 12 aislante (por ejemplo, un material dieléctrico), formando así un condensador. El manguito 10 de sensor es delgado (por ejemplo, 10-1000 micrómetros de espesor) y puede unirse, pulverizarse, extruirse y/o coextruirse sobre la superficie de un artículo 18. Artículos a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención incluyen: un conjunto de manguera, un conjunto de neumático, un conjunto de correa, etc. Las mediciones de impedancia eléctrica se usan para detectar daños en el manguito 10 de sensor debido al impacto o a la alta presión, o al agrietamiento del artículo por debajo del manguito. Dicho daño perforará la capa 12 dieléctrica, lo que dará lugar a que las capas 14, 16 de electrodo entren en contacto entre sí. Este contacto hará que la impedancia eléctrica del manguito 10 de sensor cambie inicialmente de un orden de alta impedancia (por ejemplo, megaohmios, kiloohmios, etc.) a cerca de cero, por ejemplo. Por lo tanto, el daño inicial puede identificarse pronto y el componente puede repararse o dejar fuera de servicio antes de que falle.

Las ventajas del manguito 10 de sensor incluyen que puede detectar una pequeña cantidad de daño en áreas muy grandes que pueden tener formas y características estructurales complejas, y solo se necesita uno o un pequeño número de canales de adquisición de datos para monitorizar la impedancia. El manguito 10 de sensor puede tener un coste muy bajo y adecuarse a cada aplicación. La carga externa no puede producirse daño en la estructura sin que se detecte primero por el cambio en la impedancia del manguito 10 de sensor o por el daño al manguito 10 de sensor.

El tipo de material para la capa dieléctrica puede incluir, por ejemplo, caucho de silicona, epoxi, elastómero de

nanotubos, plástico, materiales alveolares, nanocompuesto de polímero, etc. Dichos materiales permitirán el uso del manguito 10 de sensor para diferentes aplicaciones estructurales y de componentes, incluidos componentes flexibles como mangueras, neumáticos y correas, estructuras rígidas como el hormigón y estructuras y componentes compuestos rígidos como aviones y naves espaciales.

5 El tipo de material para la capa de electrodo puede incluir, por ejemplo, aluminio, acero, titanio o cualquier otro material conductor adecuado. Son posibles muchas variaciones del material del electrodo, el espesor, el tamaño de las protuberancias (por ejemplo, los contactos, los penetradores, etc.) y el material y el espesor dieléctrico. Una guía general es que la impedancia mecánica del manguito 10 de sensor debe adaptarse a la impedancia mecánica del artículo en el que se usa. Por ejemplo, cuando se monitorizan materiales compuestos, es apropiado un manguito de sensor más rígido y más delgado porque los desplazamientos y las deformaciones pueden ser pequeños y las cargas pueden ser grandes, por ejemplo, debido al impacto. Para el material de elastómero, el manguito de sensor debe ser más blando y más grueso porque los desplazamientos y las deformaciones son más grandes y las cargas son más bajas.

15 Pueden usarse diferentes configuraciones de electrodos con el manguito de sensor. La figura 6 ilustra una realización en la que el manguito 10 de sensor incluye metales deformables (por ejemplo, dúctiles como el aluminio) en los que el espesor del electrodo puede variar, de modo que el daño causaría que el electrodo externo se deforme y permanezca unido al electrodo interno, cortocircuitando así el sensor. Podrían construirse matrices de nanotubos de carbono en al menos la superficie de la primera capa 14 de electrodo y podrían construirse superficies de electrodos de diferentes formas usando la síntesis de nanotubos en diferentes sustratos, la dispersión de nanotubos en polímeros y elastómeros y la pulverización catódica por magnetron u otros sistemas de deposición de película delgada pueden usarse para poner patrones en los electrodos. En ejemplos que quedan fuera del ámbito de la invención como se reivindica, los nanotubos de carbono dispersos en el material dieléctrico o aislante también podrían construirse usando tales técnicas.

20 En las figuras 6-9 se ilustran algunos diseños a modo de ejemplo de un manguito 10 de sensor de acuerdo con aspectos de la presente invención. Con respecto a la figura 6, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, se ilustra en la capa 12 aislante un elastómero o polímero piezoresistivo que cambia la resistencia con la presión y la tensión. Un elastómero de nanotubos puede ser un ejemplo de dicho material. Por ejemplo, los nanotubos se dispersan en la capa aislante (por ejemplo, dentro del elastómero/polímero) para proporcionar la piezoresistividad. Si la carga de nanotubos está en el nivel de percolación, se producirá un cambio a gran escala de la impedancia eléctrica (o resistencia) con la tensión. Esto permite que el recubrimiento del sensor se use como un sensor de presión o de tensión, en lugar de un sensor de daño binario (por ejemplo, condición de fallo o condición de ausencia de fallo).

25 La figura 7 ilustra los contactos 22 de punta formados en una capa de electrodo (al menos la primera capa 14 de electrodo). Cuando surge una condición de fallo, los contactos permanecen unidos a la capa de electrodo opuesta (por ejemplo, la capa 16 de electrodo).

30 Las figuras 8A-8B ilustran el uso de un material 30 auxético, similar a un material alveolar, que tiene una relación de Poisson negativa y un elastómero 32 situado entre el material auxético para lograr una rigidez deseada de la capa 12 aislante. En una realización, el material auxético puede usarse para proporcionar una capa dieléctrica de rigidez no lineal. En otra realización, el material 30 auxético puede usarse para facilitar el colapso del sensor si se usa como una capa aislante. La figura 8B ilustra el colapso del material auxético debido a una fuerza de impacto externa impartida en una porción del manguito 10 de sensor. La fuerza de impacto externa imparte suficiente fuerza para colapsar el material auxético y permite que las capas 14, 16 de electrodo hagan contacto entre sí, lo que cambia la impedancia medida entre las capas 14, 16 de electrodo.

35 La figura 9 ilustra un fusible 34 o una alarma en serie con una batería (no mostrada). Una vez que los electrodos entran en contacto entre sí, el fusible se funde, lo que interrumpe algún procedimiento o detiene el sistema hidráulico, o puede sonar una alarma en lugar de o con el fusible. La implementación adicional de un sistema que usa aspectos de esta realización se tratará a continuación.

40 Las figuras 10A y 10B ilustran características adicionales opcionales de un manguito de sensor de acuerdo con la presente invención. En las figuras 10A y 10B, el manguito 10 de sensor es idéntico al manguito de sensor ilustrado en las figuras 1 y 2 (incluyendo los contactos discutidos en relación con las figuras 3 y 4), excepto que la capa 12 dieléctrica está fabricada de un material poroso y no absorbente. Dicho material puede incluir, por ejemplo, un tejido de malla fabricado con nailon, acrílico, poliéster o acetato, dicho material también puede incluir polímeros porosos. Dicha capa 12 dieléctrica permite que el fluido que se escapa del artículo (por ejemplo, una manguera hidráulica) cree una trayectoria conductora a través de la capa dieléctrica y entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo, que cambiará la impedancia medida a través de la capa 14, 16 de electrodo, de un orden de alta impedancia (por ejemplo, megaohmios, kiloohmios, etc.) hasta casi cero ohmios. La capa 12 dieléctrica tiene un revestimiento conductor (por ejemplo, capas 14, 16 de electrodo) recubiertas en ambos lados de la superficie de la capa 12. Dado que el tejido es no conductor, poroso y no absorbente, la fuga de fluido (fluido conductor) se atraparán en los poros y creará una trayectoria conductora entre las capas de revestimiento 14, 16. Por lo tanto, la impedancia (por ejemplo, la resistencia) entre las capas 14, 16 cae. Los beneficios de dicho manguito de sensor incluyen la

detección de fugas de fluido. Dichos manguitos son duraderos, sensibles, resistivos a los falsos positivos, de bajo coste, fáciles de implementar, delgados y livianos.

Si se desea la ubicación de la fuga, la capa conductora puede tener una pequeña resistencia. Cuando hay una fuga en una ubicación, la resistencia medida puede correlacionarse con la distancia desde el punto de fuga de la capa resistiva hasta el punto de medición, como se ilustra en la figura 10B (por ejemplo, distancia=(1/2)xResistencia/(Resistencia/ft)).

En la figura 11 se ilustra un sistema 100 a modo de ejemplo de acuerdo con aspectos de la presente invención. En el sistema 100, se ilustran tres manguitos 10 de sensor. El artículo 18-A incluye manguitos 10-A y 10-B de sensor, que cubren una porción del artículo 18A. En el artículo 18-B, el manguito 10-B de sensor cubre sustancialmente todo el artículo 18B. En el artículo 18-C, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, el manguito 10-C de sensor es un manguito de sensor interno formado integralmente en al menos una porción del artículo 18-C, por ejemplo. El manguito 10 de sensor tiene uno o más acopladores 102 que están acoplados conductivamente a las capas 14, 16 de electrodo del manguito de sensor. El uno o más acopladores 102 puede(n) emitir sus señales respectivas a un dispositivo 104 de adquisición de datos. Además o alternativamente, el uno o más acopladores puede(n) estar acoplados a manguitos de sensor externos o internos que envían sus señales respectivas al dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos.

La información recibida por el dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos puede almacenarse en la memoria (no mostrada). La información de adquisición de datos también puede compararse con los parámetros 106 de operación asociados con el artículo 18 en el que está unido el manguito 10 de sensor. Los parámetros 106 de operación pueden almacenarse localmente, por ejemplo, mediante un dispositivo de almacenamiento acoplado al dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos y/o recibirse desde un servidor 108 acoplado al sistema 100. Preferentemente, los parámetros 106 de operación se almacenan localmente. Los parámetros 106 de operación pueden variar según el tipo de artículo, el entorno en el que se usa el artículo, la aplicación del artículo, etc. Dichos parámetros incluyen la temperatura de funcionamiento, la presión del fluido, la tasa de flexión, etc. y puede proporcionarse un dispositivo 110 de almacenamiento separado, por ejemplo.

El dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos y el servidor 108 establecen un enlace de comunicación por cable o inalámbrico. Dependiendo de la configuración del sistema, preferentemente, los datos se procesan localmente a través del dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos, y solo se envía al servidor 108 la información resultante. Alternativamente, el procesamiento de datos puede realizarse en el servidor central y el dispositivo 104 puede funcionar únicamente como dispositivo de adquisición de datos, por ejemplo.

El servidor 108 puede incluir una base de datos de información relevante asociada con el artículo 18. El servidor 108 puede actualizarse y usarse para proporcionar información con respecto a los parámetros 106 de operación, y establecer informes y ayudar en la toma de decisiones con respecto a las acciones de mantenimiento adecuadas. Además, la información adquirida a través del dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos puede almacenarse en el servidor 108.

En la figura 12 se ilustra un procedimiento 120 a modo de ejemplo para detectar el fallo de un artículo. En el bloque 122, el procedimiento incluye monitorizar la impedancia de un artículo 18, en el que el artículo incluye un manguito 10 de sensor que incluye una primera capa 14 de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie del artículo; una capa 12 dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa 14 de electrodo; y una segunda capa 16 de electrodo que cubre al menos una porción de la capa 12 dieléctrica, en la que el daño a la superficie del artículo cubierta por la primera capa 14 de electrodo, a la capa 12 dieléctrica y a la segunda capa 16 de electrodo hace que la primera capa 14 de electrodo entre en contacto con la segunda capa 16 de electrodo, en el que se mide la impedancia entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

En el bloque 124, el procedimiento incluye detectar un fallo en el artículo 18 basándose al menos en parte en la impedancia monitorizada a través de la primera capa 14 de electrodo y de la segunda capa 16 de electrodo. Un fallo en el artículo puede definirse como cualquier característica de rendimiento no deseable del artículo. En una realización, se detecta un fallo comparando la impedancia medida a través de la primera capa de electrodo y de la segunda capa de electrodo y cuando se detecta una diferencia prescrita en la impedancia, puede decirse que se produce un fallo. Una diferencia prescrita puede ser un cambio en el valor de impedancia del 10 % o más, por ejemplo. Tal diferencia en la impedancia puede producirse si uno o más contactos en la primera capa de electrodo están en contacto con la segunda capa de electrodo, por ejemplo.

En otra realización, se detecta un fallo comparando la impedancia medida a través de la primera capa de electrodo y de la segunda capa de electrodo con una base de datos de información que incluye parámetros de operación asociados con el artículo, por ejemplo, el servidor 108.

En el bloque 126, tras determinar una condición de fallo, es deseable interrumpir la entrada de fluido al artículo y/o interrumpir la operación de la maquinaria a la que está unido el artículo. Por lo tanto, tras un fallo de la manguera, un procesador en el dispositivo 104 de adquisición y procesamiento de datos puede generar una señal de control, por ejemplo, para apagar la maquinaria y/o el flujo de fluido asociado con el artículo defectuoso. Por lo tanto, el manguito

10 de sensor puede usarse en un bucle de retroalimentación para controlar uno o más procedimientos en los que se usa el artículo 18. Además o alternativamente, puede desearse enviar una notificación audible y/o una notificación electrónica de que el artículo ha fallado al detectar la fallo del artículo.

5 En la figura 13 se ilustra un procedimiento 130 a modo de ejemplo para detectar fugas de fluido conductor en un artículo. En el bloque 132, el procedimiento incluye: monitorizar la impedancia de un artículo 18, en el que el artículo incluye un manguito 10 de sensor que incluye una primera capa 14 de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie del artículo; una capa 12 dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa de electrodo, en el que la capa dieléctrica es porosa y no conductora; y una segunda capa 16 de electrodo que cubre al menos una porción de la capa dieléctrica, en el que una fuga de fluido conductor crea una trayectoria conductora a través de la capa 12 dieléctrica y entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo, en el que se mide la impedancia entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.

10 En el bloque 134, el procedimiento incluye detectar la fuga de fluido conductor en el artículo basándose al menos en parte en la impedancia monitorizada a través de la primera capa de electrodo y de la segunda capa de electrodo. En una realización, la fuga de fluido conductor se detecta comparando la impedancia medida a través de la primera capa de electrodo y de la segunda capa de electrodo y cuando se detecta una diferencia prescrita en la impedancia, puede decirse que se produce un fallo. Una diferencia prescrita puede ser un cambio en el valor de la impedancia del 10 % o más, por ejemplo. Tal diferencia en la impedancia puede producirse si uno o más contactos en la primera capa de electrodo están en contacto con la segunda capa de electrodo, por ejemplo.

15 En el bloque 136, tras determinar una fuga de fluido, es deseable interrumpir la entrada de fluido al artículo y/o interrumpir la operación de la maquinaria a la que está unido el artículo. Por lo tanto, tras determinar un fallo de la manguera, puede generarse una señal de control mediante un procesador acoplado al dispositivo 104 de adquisición de datos, por ejemplo, para apagar la maquinaria y/o el flujo de fluido asociado con el artículo defectuoso. Por lo tanto, el manguito 10 de sensor puede usarse en un bucle de retroalimentación para controlar o más procedimientos en los que se usa el artículo 18. Además o alternativamente, puede desearse enviar una notificación audible y/o una notificación electrónica de que el artículo ha fallado al detectar la fallo del artículo.

20 Para ensayar los conceptos anteriores, se seleccionó y se probó una configuración simple de materiales para el manguito de sensor para validar la prueba de concepto. Se eligió una lámina de caucho como la estructura que el recubrimiento del sensor monitorizaría para detectar daños. El caucho simula el material de una manguera hidráulica y el sensor se coloca cerca de la capa interna de la manguera. La capa del sensor tendría una capa protectora de caucho sobre ella, por lo que el recubrimiento del sensor no está en contacto con el fluido hidráulico. El manguito de sensor en este experimento incluye dos electrodos de aluminio delgados y un medio dieléctrico (papel en este caso para formar un condensador). Las abrazaderas de cocodrilo eléctricas se unieron a los dos electrodos de aluminio y también se conectaron al dispositivo de medición (un multímetro).

25 Como se esperaba, la resistencia eléctrica inicial del manguito 10 de sensor era infinita, ya que no había contacto entre los dos electrodos. Una sonda en forma de varilla que tiene aproximadamente 1/10 pulgadas de diámetro con una punta redondeada que estaba aislada eléctricamente por una película de polímero se usó como herramienta para producir daños en el recubrimiento del sensor.

30 Cuando se aplicó la carga y el daño al electrodo externo, la resistencia eléctrica y la capacitancia cambiaron a medida que la distancia entre los dos electrodos se estrechaba. Por lo tanto, cuanto más se acercaban los electrodos, disminuía la impedancia. La carga se aplicó de forma continua hasta que se produjo un daño (similar a un poro) en el electrodo externo. Este daño penetró el medio dieléctrico y dio lugar al contacto de los dos electrodos de aluminio. Esto provocó que las propiedades de impedancia eléctrica (resistencia y capacitancia) del recubrimiento del sensor pasaran inmediatamente de infinito a cero.

35 Se realizaron diferentes pruebas para ensayar la repetibilidad y se observó que cada vez que el daño penetraba a través de los electrodos, la resistencia iba de infinita a cero. Se usó un módulo de adquisición de datos NI NI-9219 y un software LabVIEW para monitorizar los datos en línea y el cambio en la resistencia eléctrica debido a la aplicación de carga sobre la superficie del electrodo externo. Los datos obtenidos del software LabVIEW se trazaron usando Microsoft Excel y se muestran en la figura 14. La figura 14 muestra claramente la caída de resistencia de infinito (por ejemplo, 10 kilohmios) a cero en aproximadamente 14,5 segundos, que es cuando se produjo el daño. Un experto en la materia apreciará fácilmente que la referencia a una impedancia de infinito significa que la impedancia es al menos un orden de magnitud mayor cuando está en un estado de circuito abierto que en un estado de cortocircuito, cuando se dice que la impedancia es de cerca de cero ohmios, por ejemplo.

40 Téngase en cuenta que tan pronto como se penetra el manguito de sensor, el manguito de sensor informa del daño. Aún así, el daño es solo en el manguito de sensor, no hay daño en la capa de caucho subyacente. Por lo tanto, el daño se detecta antes de que la estructura se dañe realmente y esto proporciona tiempo para que el operario repare a estructura (por ejemplo, la manguera hidráulica) o la ponga fuera de servicio.

El concepto de manguito de sensor se probó usando la impedancia eléctrica, por ejemplo, principalmente la resistencia eléctrica, del manguito de sensor. Los experimentos iniciales se realizaron para determinar la viabilidad

de tener un manguito de sensor externo en la manguera que pudiera indicar el daño en la manguera, como los poros, la fuga de aceite, etc. Se usó aluminio como material conductor y se usaron película Kapton y papel encerado como diferentes materiales dieléctricos/aislantes para el manguito de sensor. Se conceptualizaron dos diseños diferentes para la aplicación de la manguera.

5 Diseño 1: Manguito de sensor en la capa exterior de la manguera.

Diseño 2: Manguito del sensor entre la capa de caucho más interna y la capa de acero (dentro de la manguera).

La siguiente sección describe el procedimiento involucrado en el desarrollo del recubrimiento del sensor en la manguera. Para fines de demostración, se cortó una sección de la manguera (aproximadamente 15 cm de longitud) y se desarrolló una capa de recubrimiento del sensor en ella. Primero, se cortó la capa de caucho más interna, como se muestra en la figura 15A. A continuación, se pegó una capa aislante a la capa de acero más interna con un adhesivo. Sobre la parte superior de la capa aislante, se unió una primera capa de aluminio conductor a lo largo de la longitud de la manguera, como se muestra en la figura 15B. A continuación, se colocó una capa aislante (papel encerado o película de Kapton) sobre la parte superior de la primera capa conductora, como se muestra en la figura 15C. Luego se agregó una segunda capa conductora sobre la parte superior de la capa aislante, formando así el recubrimiento del sensor como se muestra en la figura 15D. Finalmente, la capa de caucho más interna se unió sobre la parte superior del recubrimiento del sensor como se muestra en la figura 15E. Los cables conductores se unieron a las capas conductoras para las mediciones de impedancia.

Este diseño usa el concepto de desarrollar una capa de manguito de sensor en el exterior de la manguera. Este concepto también puede visualizarse como colocar un sensor externo en la manguera como manguito de sensor. El manguito de sensor puede fabricarse como un producto separado y puede colocarse en la parte superior de la capa exterior de la manguera. La ventaja significativa es la simplicidad de este diseño, ya que es probable que no haya ninguna modificación en la manguera. El recubrimiento del sensor puede protegerse del ambiente exterior cubriendo el recubrimiento del sensor con una capa protectora de caucho que probablemente sea del mismo material de polímero que la capa exterior de la manguera. Mediante esta capa protectora, es posible evitar cualquier daño al recubrimiento del sensor por cualquier condición ambiental y podría evitar falsas alarmas positivas desde el recubrimiento del sensor.

Es posible que este diseño no evite que se produzcan daños en la manguera porque el manguito de sensor identificará el daño solo después de que la manguera haya fallado. Pero este diseño evitará que los daños penetren desde la manguera hacia el ambiente exterior. Puede modelarse todo el sistema de tal manera que en el momento en que la señal del manguito de sensor se desvíe del valor nominal, pueda activarse una alarma o pueda apagarse todo el sistema y pueda reemplazarse la manguera. Este diseño evita así cualquier daño significativo al ambiente exterior.

Se construyó y se ensayó un prototipo de este concepto. El prototipo usó aluminio como material conductor y película de Kapton o papel encerado como material aislante. Como se describe en la sección anterior, se unió una primera capa de aluminio a la capa exterior de la manguera seguida por la capa aislante y otra capa de aluminio conductora sobre la parte superior de la capa aislante. Todas las capas se unieron entre sí usando un adhesivo disponible comercialmente. Los cables conductores se sacaron de las capas conductoras primera y segunda. Entonces se podría medir la impedancia eléctrica entre las dos capas. Se ensayaron dos orientaciones diferentes del recubrimiento del sensor; el recubrimiento del sensor colocado a lo largo de la longitud de la manguera (figura 16A) y la otra colocado circunferencialmente (figura 16B). Para el segundo caso, puede visualizarse como que tiene una cinta de manguito de sensor que puede unirse circunferencialmente a lo largo de toda la longitud de la manguera.

Otro diseño, que no está dentro del ámbito de la invención como se reivindica, es formar el manguito de sensor dentro del conjunto de manguera. Este diseño usa el concepto de colocar una capa de manguito de sensor en el interior de la manguera. Por ejemplo, el manguito de sensor puede construirse entre la capa de caucho más interna y la primera capa de refuerzo. La ventaja significativa de este diseño es que evita daños en la manguera, ya que cualquier daño a la manguera tendrá que penetrar en el manguito de sensor. Dicha penetración provocará el fallo del manguito de sensor. Por lo tanto, puede evitarse que se produzcan daños como poros, fugas de aceite, etc., más allá de la capa de caucho más interna y la manguera puede inspeccionarse y reemplazarse, si es necesario.

Para probar el concepto, se desarrolló y se ensayó un prototipo. En este experimento, se cortó una porción de la capa de caucho interior (aproximadamente 15 cm de longitud) exponiendo así la capa de refuerzo de acero. Luego, como se ha descrito anteriormente, las capas del recubrimiento del sensor se unieron en la secuencia adecuada usando el adhesivo, como se muestra en la figura 17A. El espesor de todo el recubrimiento del sensor que comprende dos capas conductoras y una capa aislante fue solo entre 10 y 1000 micrómetros. Finalmente, la capa de caucho se pegó de nuevo en su posición inicial como se muestra en la figura 17B. Los cables conductores se sacaron de las capas conductoras primera y segunda y se midió la impedancia eléctrica entre las dos capas. El manguito de sensor se colocó en la orientación longitudinal. Para este experimento, no hubo un extremo que encajara en la manguera que se estaba probando. Por lo tanto, no hubo ningún problema con las capas de electrodo del manguito de sensor que entraron en contacto entre sí debido al engaste.

Los resultados de los ensayos se obtuvieron en LabVIEW para almacenar automáticamente los datos del manguito de sensor e indicar el daño que se produce en el recubrimiento del sensor activando una señal LED. Se realizaron dos experimentos; el primero fue simular el daño del poro y el segundo simular una fuga de fluido (por ejemplo, una fuga de aceite). En el primer experimento, se simuló un poro usando una herramienta de punta afilada y se monitorizó continuamente la resistencia eléctrica. En el momento en que el daño del poro penetró a través de la capa de caucho interna y golpeó el recubrimiento del sensor, la resistencia cayó de infinito (10,5 k Ω -capacidad de resistencia máxima para NI-DAQ 9219) a cero y se activó la señal LED, que indicaba daño a la manguera. Puede observarse que el daño no penetró en la capa de refuerzo de acero. Esto valida aún más una ventaja del manguito de sensor para predecir y prevenir el daño a la manguera.

En el segundo experimento, se simuló una fuga de aceite inyectando aceite con una jeringa en la manguera hasta que se produjo el daño. Aproximadamente, se inyectaron de 0,5 a 1 cc de aceite a la manguera. Al igual que en el experimento anterior, la resistencia cayó de infinito a cero y se activó la señal LED, que indicaba daño a la manguera. Sin embargo, fue difícil medir la cantidad exacta de aceite inyectado en la capa de caucho interior. Los experimentos se repitieron varias veces y la respuesta fue repetible. El cambio en la resistencia del manguito de sensor se muestra en la figura 18. Puede verse que la resistencia del manguito de sensor es consistente cuando la manguera está en buenas condiciones. La fuerte caída de la resistencia puede verse cuando se produce el daño en la manguera. Se observó un resultado similar tanto para situaciones de poro como de fuga de aceite.

El manguito de sensor también puede usarse en una amplia gama de estructuras. Por ejemplo, el manguito de sensor puede usarse en conexión con estructuras aeroespaciales como aeronaves, satélites, vehículos no tripulados, misiles, etc. Puede detectarse el daño a estas estructuras procedente de fuentes externas como rayos, escombros y una gran carga de presión. La delgadez del manguito de sensor lo hace adecuado para tales aplicaciones. El manguito de sensor puede estar fabricado de diferentes materiales para satisfacer las demandas de la aplicación, como alta o baja temperatura, abrasión, conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, por ejemplo.

Se fabricó un manguito de sensor para su uso en materiales compuestos usando una película de película de Kapton entre dos electrodos de película de aluminio (0,016 mm de espesor), que es una de las maneras en que se forma un condensador seco. Además, se utilizó papel de cera como material dieléctrico y se colocó entre los dos electrodos de aluminio. El ensayo inicial se realizó para validar la prueba de concepto del recubrimiento del sensor usando una prensa hidráulica. Se usaron tres indentadores esféricos diferentes en el experimento para crear daños en el manguito de sensor que cubre el material compuesto. En este experimento, el manguito de sensor se colocó en una estación de carga en la prensa hidráulica. El indentador esférico estaba unido a la parte superior de la estación de carga. La carga se aplicó gradualmente hasta que el manguito de sensor se dañó. Se midió la impedancia eléctrica del manguito de sensor usando un multímetro a medida que se aplicaba la carga. Se observó que la resistencia eléctrica del manguito de sensor cambió de infinito a cero a medida que el daño penetraba en el medio dieléctrico y daba lugar al contacto de los dos electrodos en el recubrimiento del sensor. En el manguito de sensor, la placa compuesta mostró daños de indentación con un diámetro de indentación medido de 8,382 mm (0,33 ").

En la figura 19 se muestra la respuesta del recubrimiento del sensor frente a la carga para tres tamaños de indentador diferentes. La gráfica muestra el cambio en la resistencia del manguito de sensor debido a la carga con la carga aplicada mostrada en el eje x y la resistencia del manguito mostrada en el eje y. En la representación puede verse que la resistencia eléctrica del manguito era grande al principio y la resistencia cayó repentinamente a cero cuando el manguito se dañó debido a la carga, debido al contacto de los dos electrodos. También se observa que a medida que se incrementó el diámetro del indentador esférico (4,750 mm, 9,500 mm, 13,970 mm-0,187 ", 0,374 ", 0,55 "), la carga a la que la resistencia del manguito de sensor cambió de infinito a cero también se incrementó de 568 kg a 1814 kg a 3856 kg (1,250 klb a 4,0 klb a 8,5 klb.) Por lo tanto, puede concluirse que el manguito de sensor es sensible a cualquier daño. Por ejemplo, el manguito de sensor será sensible a pequeños daños como poros o a grandes daños por impacto con partículas grandes. La sensibilidad a diferentes tamaños de daño se explica considerando la tensión aplicada al manguito de sensor. Se mide el diámetro de la indentación en el compuesto y se descubrió que era de 3,251 mm, 5,842 mm, 8,382 mm (0,128 ", 0,23 " y 0,33 ") para los indentadores esféricos de 4,750 mm, 9,500 mm, 13,970 mm (0,187 ", 0,374 " y 0,55 ") respectivamente. Posteriormente, se calculó la tensión aplicada al manguito sabiendo el área de indentación y la fuerza aplicada al manguito. Se descubrió que la tensión aplicada en el manguito debido al daño era de alrededor de 680 MPa para los tres indentadores esféricos. Con una esfera de diámetro pequeño, el área de indentación es pequeña y el manguito falla en una carga pequeña. Con una esfera de mayor diámetro, el área de indentación es más grande y se requiere una carga mayor para hacer que el manguito falle. Sin embargo, se observó que la tensión es similar en todos los casos. La superficie del panel de fibra de vidrio también sufrió daños menores localizados en forma esférica, pero el área dañada era más pequeña que el área de indentación en el manguito de sensor.

A partir de este experimento, puede concluirse que el manguito de sensor se usó como una capa protectora para evitar daños excesivos en la placa compuesta debido a la carga continua, ya que el daño en la placa compuesta se limitó a solo 0,3404 mm (0,0134 ") incluso a un nivel de tensión muy alto.

También se llevó a cabo un experimento para estudiar la viabilidad del manguito de sensor para detectar daños por impacto. Un panel de fibra de vidrio se apoyaba simplemente en dos secciones angulares. Se dejó caer un

5 indentador esférico (bola de acero) desde una cierta altura sobre el recubrimiento del sensor y se monitorizó en línea la variación en la resistencia del manguito usando un dispositivo de adquisición de datos y el software LabVIEW. Se observó que la resistencia del manguito cayó desde el orden de megaohmios a cero, ya que el impacto dio lugar al contacto de los dos electrodos. Este experimento muestra que el recubrimiento del sensor puede detectar cargas dinámicas y daños por impacto.

10 Aunque los principios, las realizaciones y la operación de la presente invención se han descrito con detalle en el presente documento, esto no debe considerarse limitado a las formas ilustrativas particulares desveladas. Será evidente para los expertos en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones de las realizaciones del presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un manguito (10) de sensor para detectar daños en una superficie de un artículo (18), estando el manguito de sensor adaptado para colocarse en una capa exterior del artículo y deslizarse sobre el artículo, en el que el manguito de sensor comprende:
 - 5 una primera capa (14) de electrodo que cubre al menos una porción de una superficie del artículo, incluyendo la primera capa de electrodo uno o más contactos (22);
 - una capa (12) dieléctrica que cubre al menos una porción de la primera capa de electrodo; y
 - una segunda capa (16) de electrodo que cubre al menos una porción de la capa dieléctrica, en el que el daño a la superficie del artículo cubierta por la primera capa de electrodo, la capa dieléctrica y la segunda capa de electrodo hace que la primera capa de electrodo entre en contacto con la segunda capa de electrodo, disminuyendo así la impedancia entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo,
 - 10 en el que, antes de dañarse el artículo, los contactos no están en contacto con la segunda capa de electrodo; y
 - en el que los contactos están configurados de tal manera que el daño a la superficie del artículo cubierta por la primera capa de electrodo, la capa dieléctrica y la segunda capa de electrodo hace que los contactos se perforen a través de la capa dieléctrica y hagan contacto con la segunda capa de electrodo.
 - 15
2. El manguito de sensor de la reivindicación 1, en el que los contactos comprenden una forma de diente de sierra o una forma semicircular.
3. El manguito de sensor de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los contactos están separados entre sí una distancia prescrita.
- 20 4. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el artículo es una manguera presurizada que tiene al menos una capa (19) de manguera operable para transferir fluidos de un lugar a otro, en el que la capa de manguera tiene una superficie circunferencial; y la primera capa de electrodo cubre al menos una parte de la superficie circunferencial de la capa de manguera.
5. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos una de la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo es flexible.
- 25 6. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la capa dieléctrica contiene uno o más huecos formados entre la primera capa de electrodo y la segunda capa de electrodo.
7. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la capa dieléctrica contiene un material (30) auxético y un material (32) no conductor, en el que el material auxético está espaciado a lo largo de la capa dieléctrica.
- 30 8. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la capa dieléctrica es una capa de tejido.
9. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera capa de electrodo, la segunda capa de electrodo y la capa dieléctrica tienen una impedancia mecánica combinada que coincide con la impedancia mecánica del artículo.
- 35 10. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el uno o más contactos están separados una distancia uniforme o una distancia no uniforme a lo largo de la primera capa de electrodo.
11. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los contactos están configurados para fijarse permanentemente a la segunda capa de electrodo cuando se produce una condición de daño.
- 40 12. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un acoplador (102) que tiene un primer extremo acoplado a la primera capa de electrodo y un segundo extremo acoplado a la segunda capa de electrodo, en el que el acoplador está configurado para acoplar un dispositivo (104) de medición asociado al manguito de sensor, en el que el dispositivo de medición asociado está configurado para medir la impedancia a través de la primera capa de electrodo y de la segunda capa de electrodo.
- 45 13. El manguito de sensor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una capa protectora que protege al menos la segunda capa de electrodo de un entorno en el que se usa el artículo.

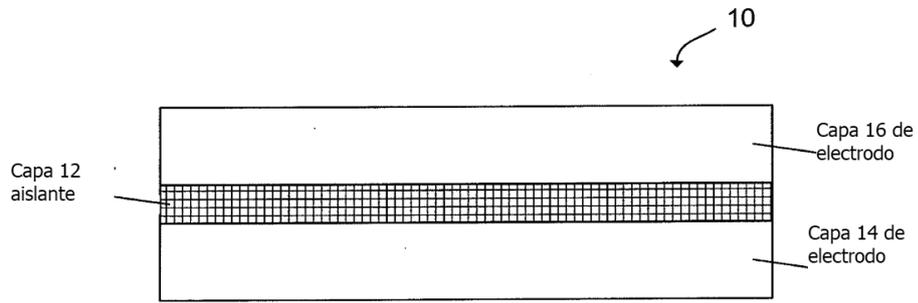


FIG. 1

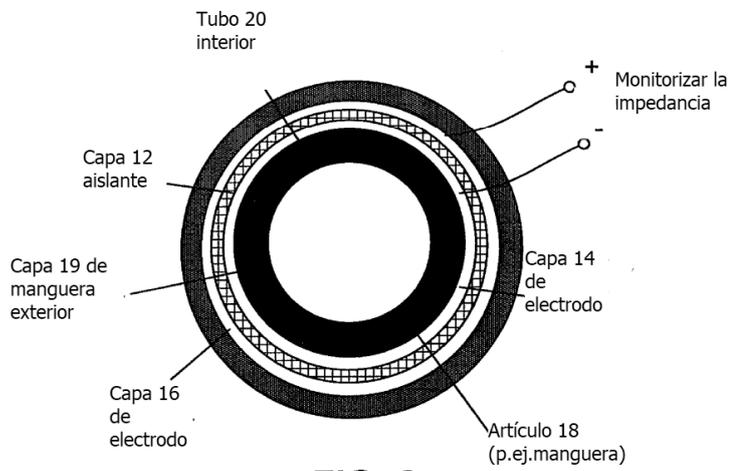


FIG. 2

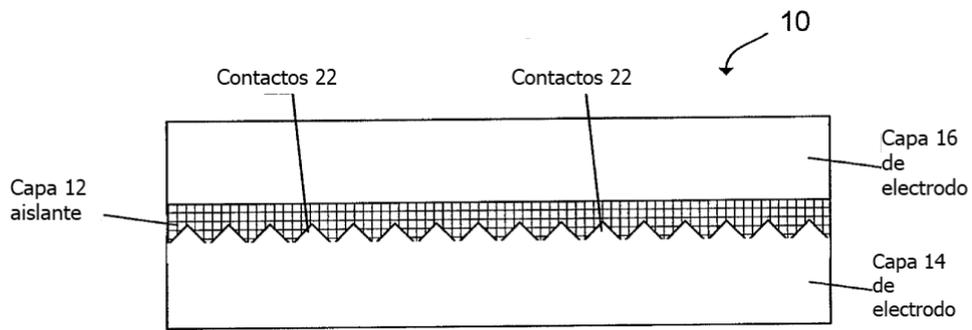


FIG. 3

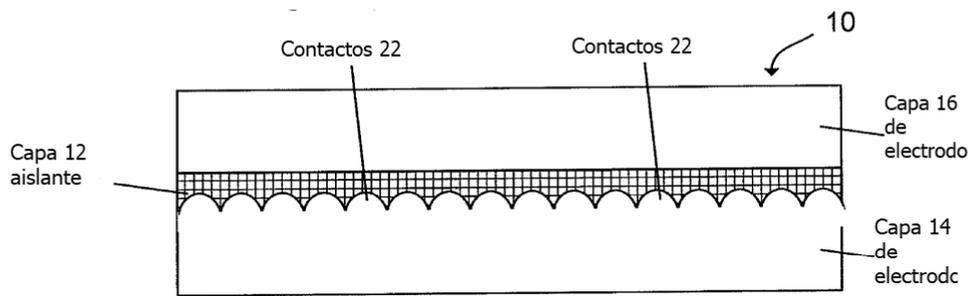


FIG. 4

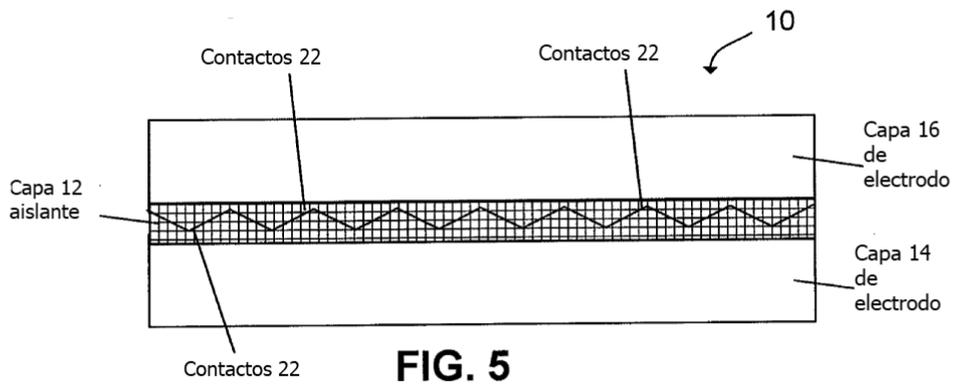


FIG. 5

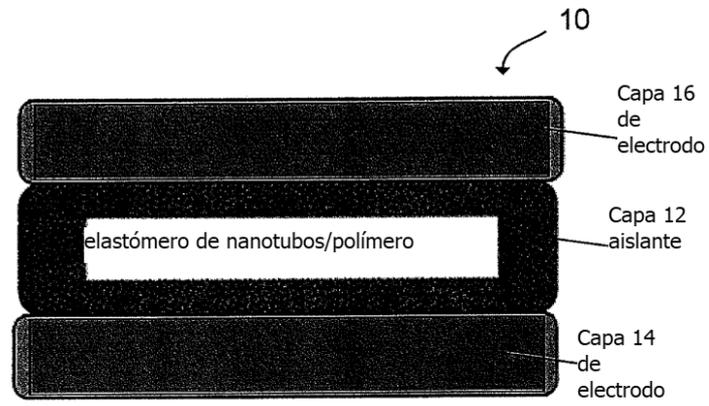


FIG. 6

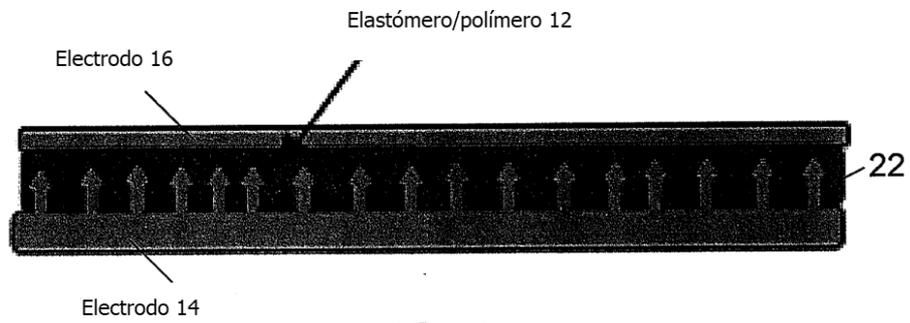


FIG. 7

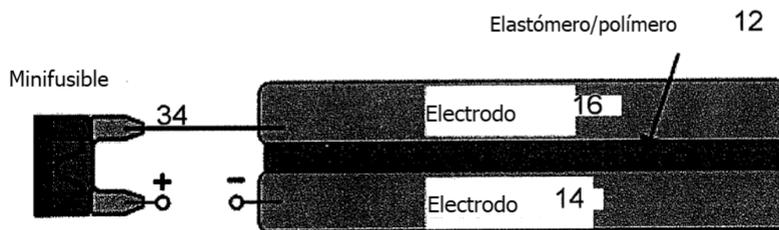
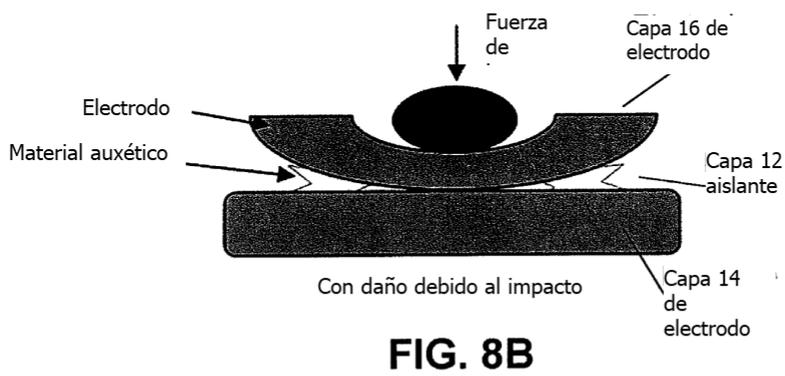
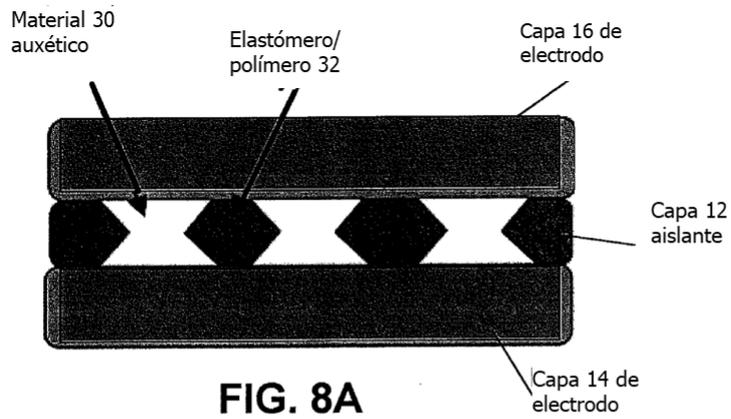


FIG. 9

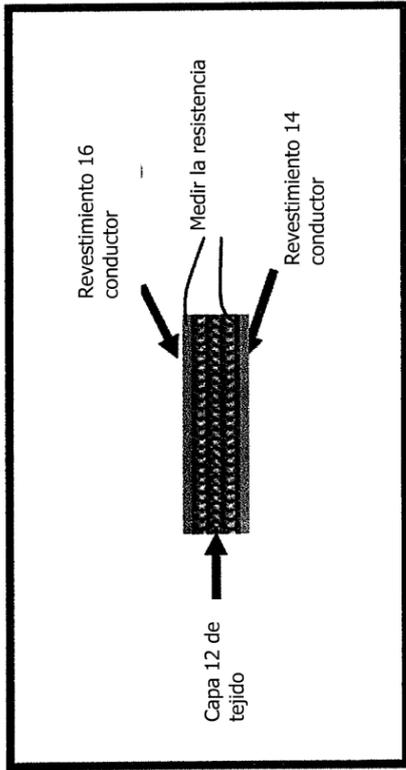


FIG. 10A

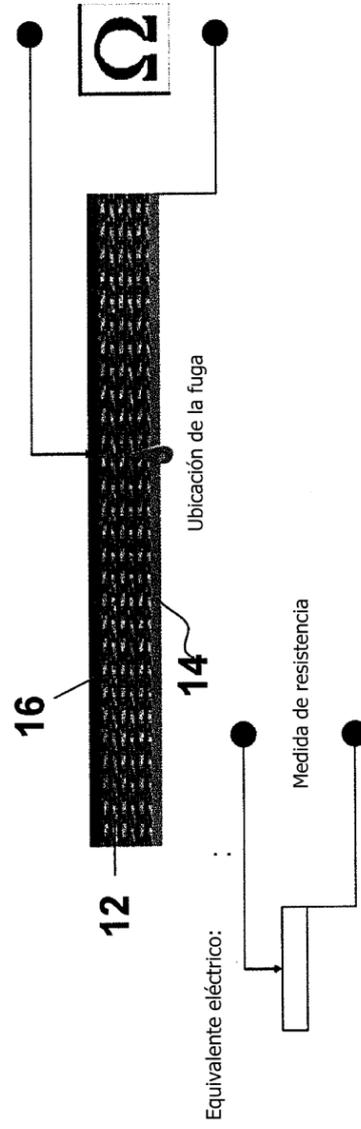


FIG. 10B

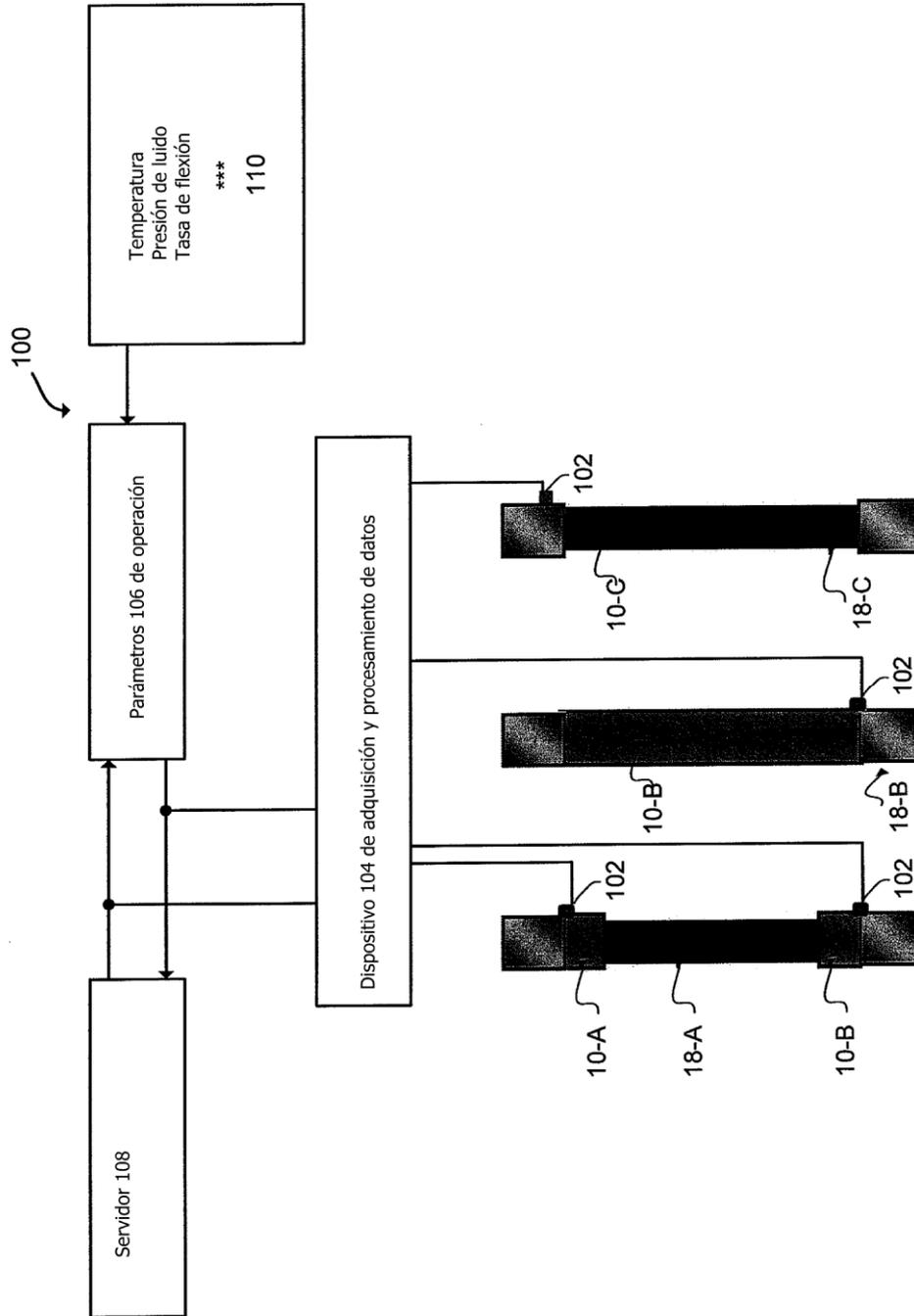


FIG. 11

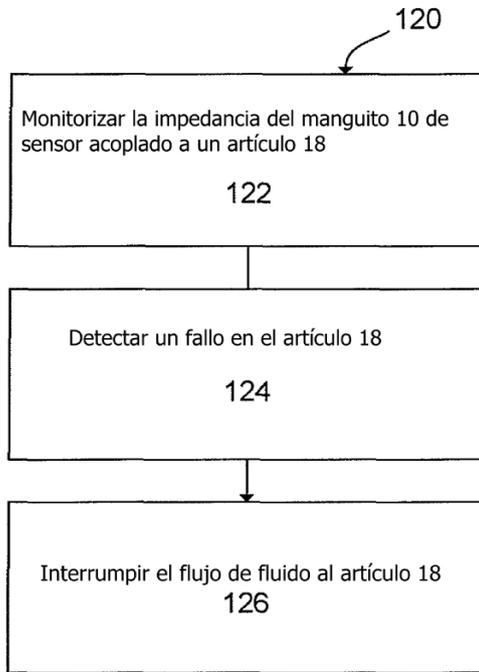


FIG. 12

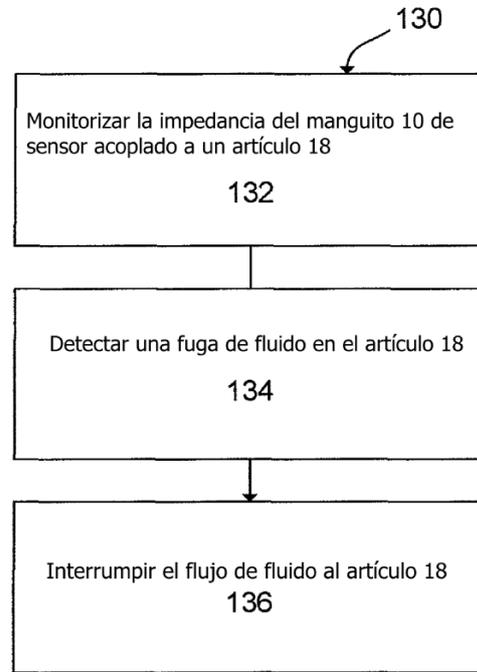


FIG. 13

Cambio en la resistencia del recubrimiento del sensor cuando se aplica carga y daño

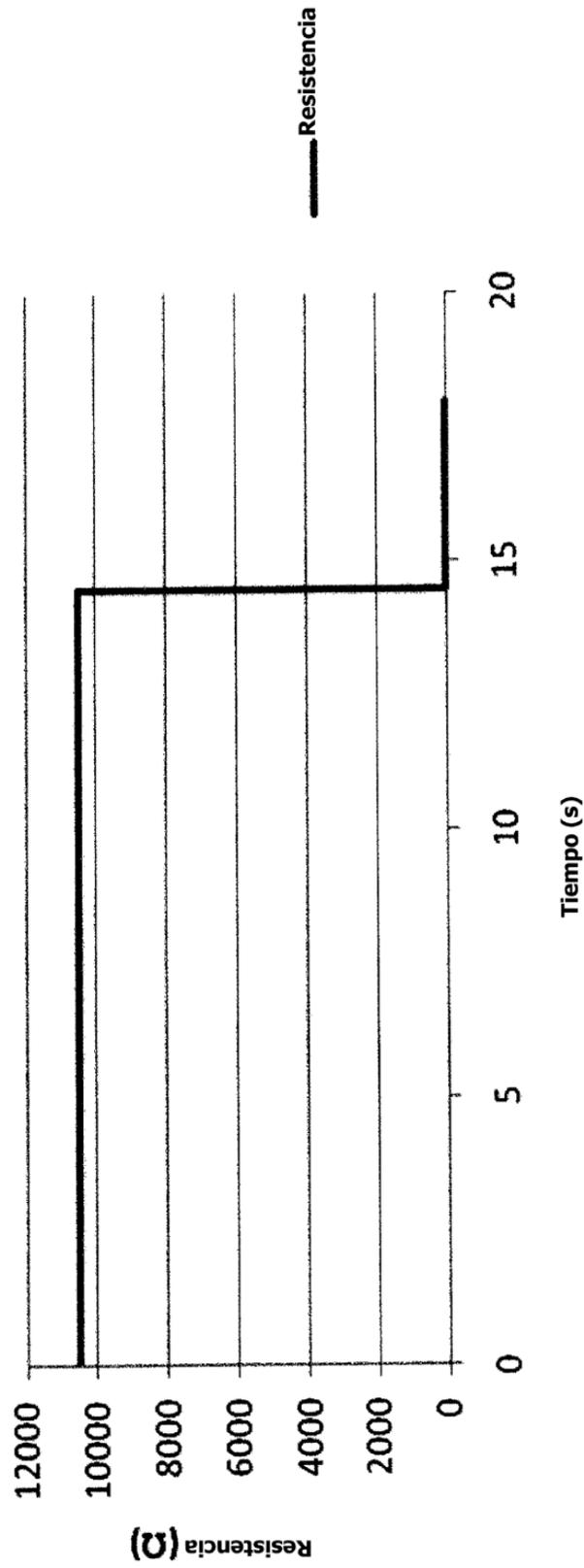


FIG. 14

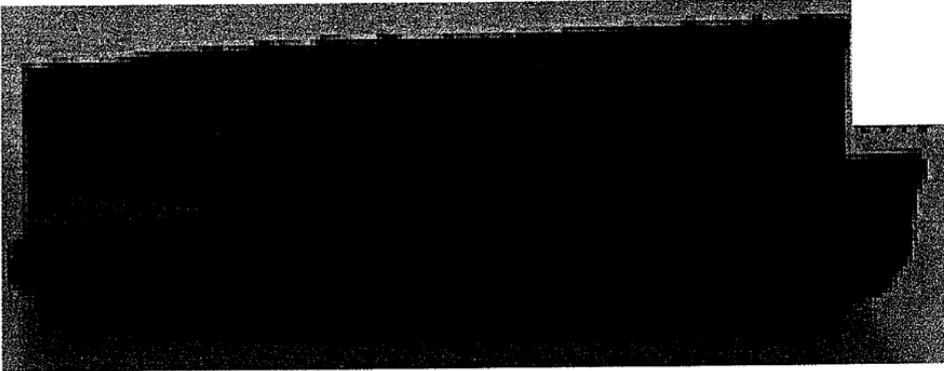


FIG. 15A

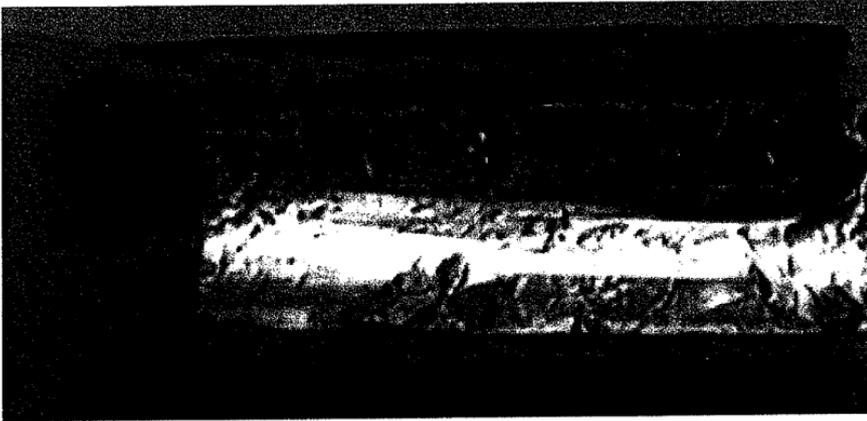


FIG. 15B



FIG. 15C



FIG. 15D

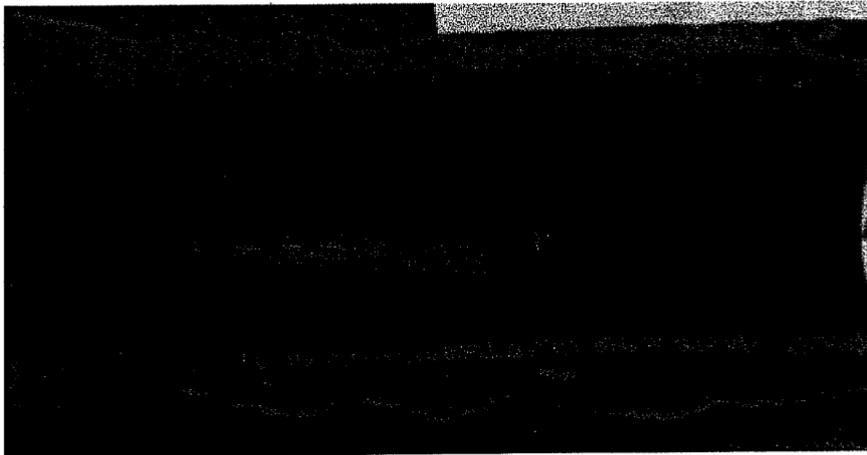


FIG. 15E

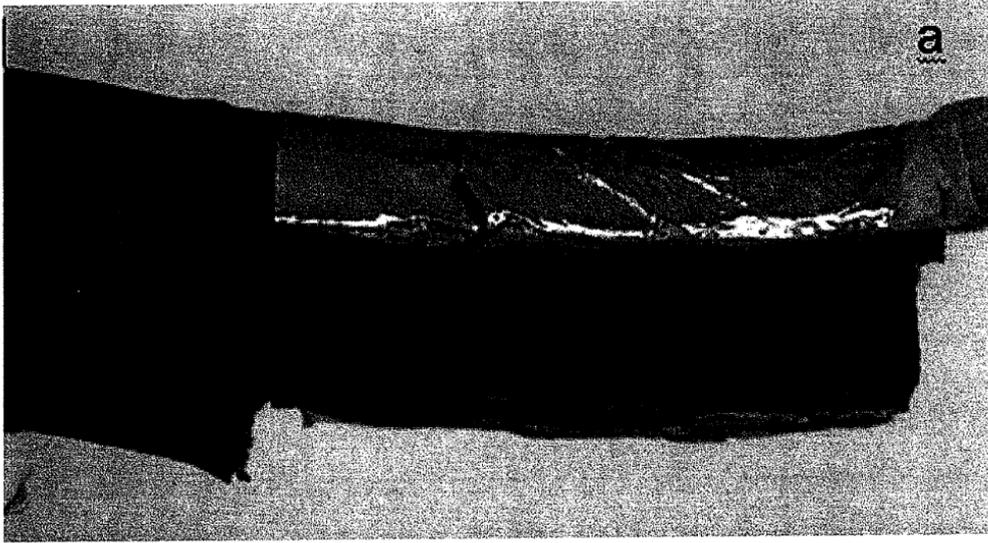


FIG. 16A

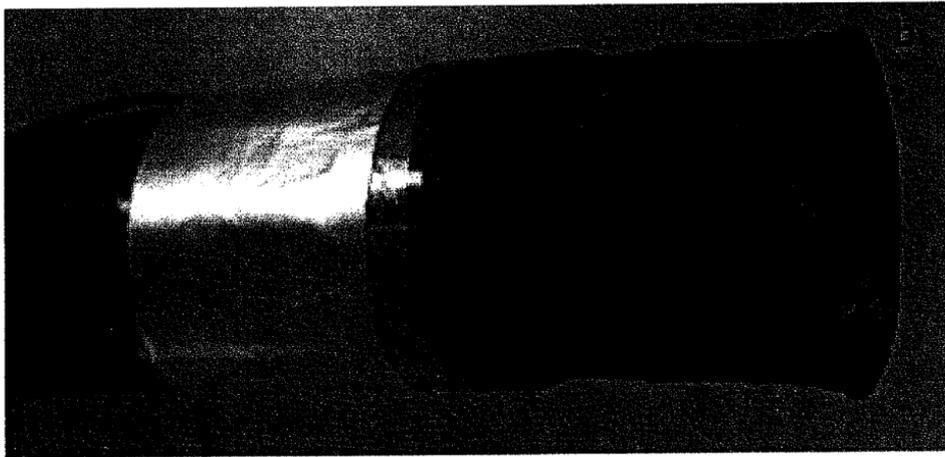


FIG. 16B

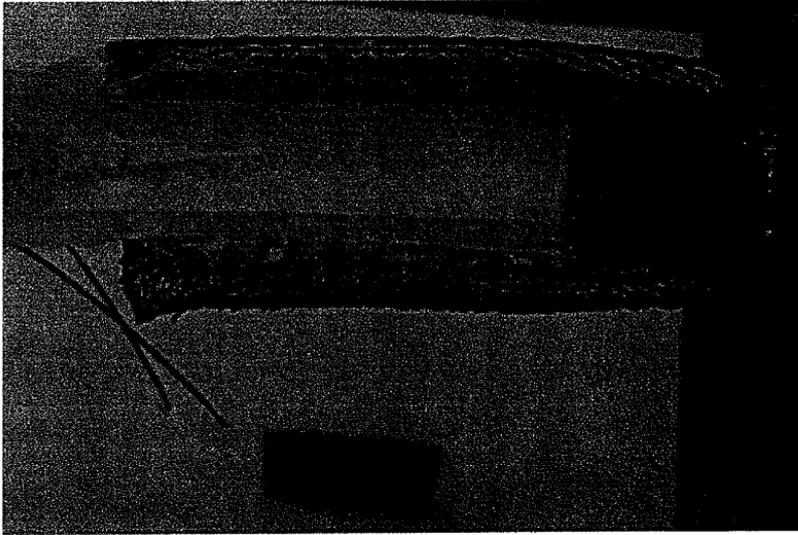


FIG. 17A

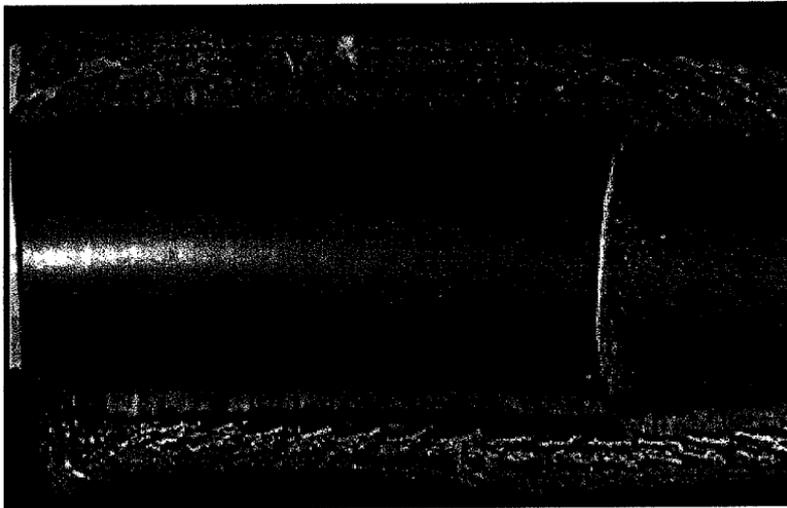


FIG. 17B

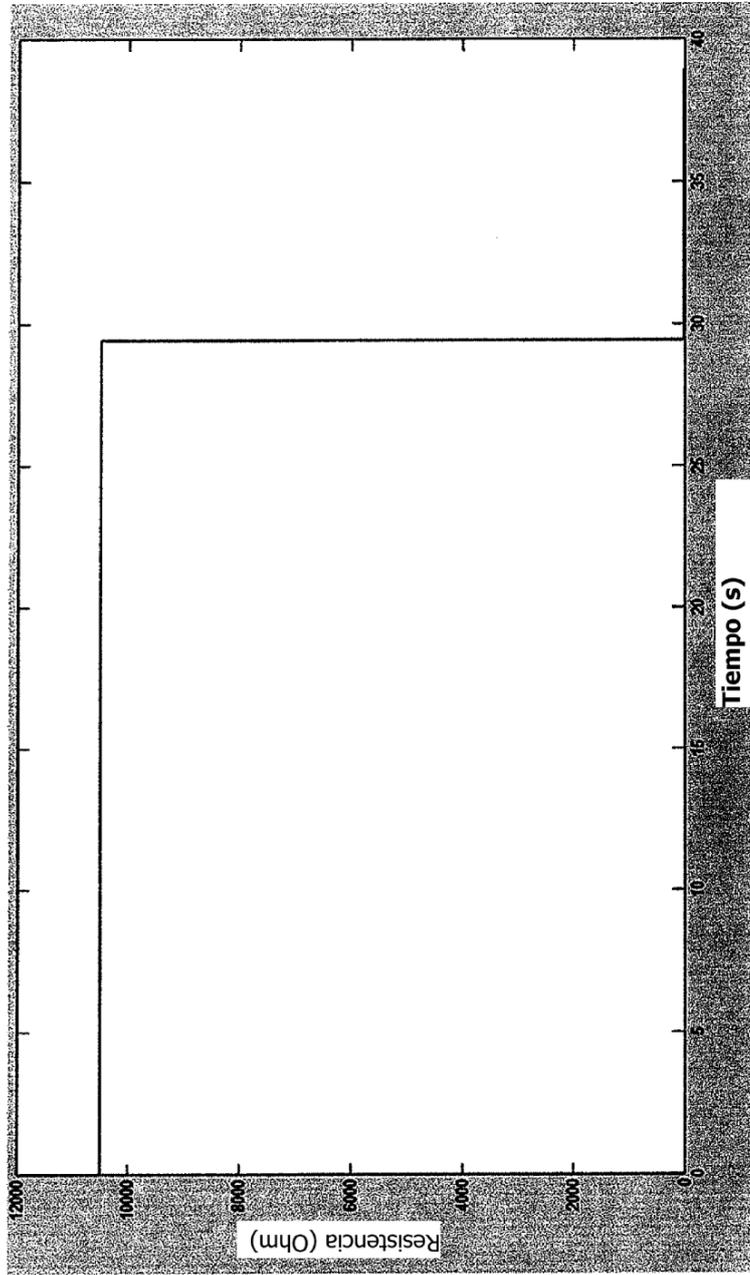


FIG. 18

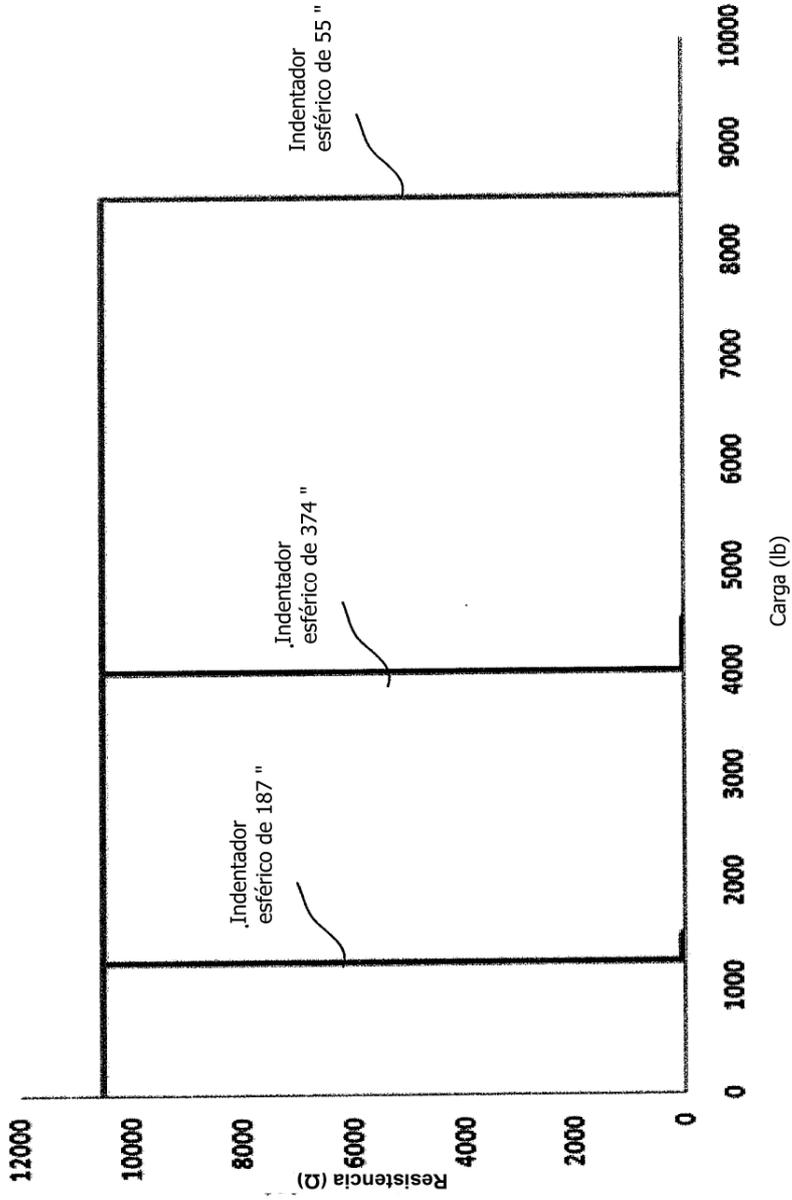


FIG. 19