

Comisión Nacional de Energía Atómica - 30546660210

Digitally signed by PORTALTRAMITES - INPI

Date: 2019.12.23 14:46:41 -0300

Reason: Firmado Digitalmente por el INPI

Location: Buenos Aires, Argentina

# **MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA PATENTE DE INVENCION**

denominada

## **“DISPOSITIVO PASA-CABLES PARA TUBOS CON MÚLTIPLES CURVATURAS”**

### **Solicitada por:**

Comisión Nacional de Energía Atómica

con domicilio en Av. Del Libertador 8250,

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

### **Inventores:**

Eduardo Matías ROBADOR

Alexandre SEMINE

Alejandro Tobías QUISPE MAMANÍ

Sol PEDRE

### **Por el plazo de:**

20 años

## **DISPOSITIVO PASA-CABLES PARA TUBOS CON MÚLTIPLES CURVATURAS**

### CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

- [1] La presente invención se refiere a un dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas. Se basa en reducir la fricción por deslizamiento entre los cables y el tubo mediante contactos de rodadura puntuales.
- [2] La presente invención puede ser utilizada en todo tipo de industria que necesite pasar cables a través de tubos con múltiples curvaturas, para realizar alguna operación en el interior del mismo. Por ejemplo, inspeccionar el tubo con algún tipo de sensor conectado a los cables, o bien simplemente dejar los cables ubicados en el interior del tubo.

### ESTADO DE LA TÉCNICA Y PROBLEMAS A SOLUCIONAR

- [3] En las industrias donde los tubos cumplen un rol muy importante en el proceso industrial, se necesita realizar inspecciones periódicas de los mismos. Tal como ocurre en la industria química con tubos que transportan fluidos para determinados procesos, o bien con los tubos de los intercambiadores de calor que se utilizan en las calderas de vapor, reactores nucleares, etc.
- [4] En todos estos casos una opción para realizar dicha inspección es introducir en el interior del tubo una sonda de corrientes inducidas, recorrer toda la longitud del tubo y luego extraerla del mismo. Con esta técnica se puede determinar si el tubo presenta defectos tales como fisuras, picaduras, disminución del espesor de la pared, etc. La sonda suele estar formada por un cabezal donde se aloja un sensor y un par de cables que alimentan el sensor y transportan los datos de las mediciones.
- [5] También existen otras aplicaciones que requieren el pasaje de cables por tuberías, pero no están relacionadas con inspecciones. Un ejemplo de ellas es el tendido de cables en las instalaciones eléctricas, donde los cables se insertan para quedarse permanentemente en el interior de los tubos.

- [6] En todos estos casos, se busca introducir uno o más cables a lo largo de un tubo (y eventualmente, extraerlos). Cuando los tubos son rectos o presentan pocas curvaturas (por lo general, una única curva en U o un codo de 90°), se utiliza un pasa-cables convencional. Este dispositivo suele estar formado por un cabezal flexible que sirve de guía, anexado a un alambre hecho de algún material que posea un bajo coeficiente de fricción (teflón o nylon típicamente) en su superficie, y un alma de acero para soportar la tracción al tirar del pasa-cables. En el extremo final del dispositivo se enganchan los cables y, por lo general, todo el conjunto se opera manualmente.
- [7] En cambio, cuando los tubos presentan múltiples curvaturas, surge un problema, debido a que la fuerza de fricción existente entre las paredes del tubo y los cables aumenta en función del ángulo de curva que recorren los cables. Un caso particular es el de los tubos helicoidales, en los cuales la fuerza de fricción crece exponencialmente con el número de vueltas de la hélice. Además, si el tubo posee un diámetro interior y un radio de curvatura (medido desde el centro de la hélice hasta el centro de la sección transversal) relativamente pequeños (por ejemplo: del orden de 10 mm y 130 mm, respectivamente) es aún más difícil pasar los cables y el dispositivo pasa-cables convencional no sirve como solución.
- [8] Como antecedente más relevante de la presente invención se tiene la patente [EP2423583B1](#). Allí se describe un cable para inspeccionar tubos helicoidales de generadores de vapor, similares a los descritos en la sección anterior. El cable se compone de un sensor configurado para detectar defectos en los tubos, cables de señal, una serie de piezas modulares con ruedas y un cable de acero para tirar de todo el conjunto. Todos los cables pasan en forma de hélice a través de las piezas modulares, que se conectan longitudinalmente entre ellas, giradas cada una con respecto a la subsiguiente. Dichos módulos poseen una rueda que sobresale de ambas partes de la pieza, orientada con su eje de rotación perpendicular al perfil del tubo, de forma tal que al hacer contacto con las paredes del tubo, las ruedas giren y todo el conjunto avance (o retroceda) a través de él.
- [9] La diferencia principal entre las invenciones es que en este dispositivo las ruedas son pasantes, mientras que en la presente invención no lo son. A modo general, cuanto menor es el diámetro interno del tubo, se necesita un conjunto de piezas

más compacto. Para un mismo tamaño y cantidad de cables, esto se puede lograr con la presente invención dado que es posible plantear ruedas más pequeñas que en el caso con rueda pasante. Esto permite que el módulo “carro” de la presente invención sea más corto que el módulo de la patente EP2423583B1, debido a que el largo del mencionado “carro” es de la misma dimensión que el diámetro de la rueda, como se verá más adelante en la descripción detallada. Mientras, el módulo equivalente al carro de dicha patente es necesariamente más largo que el diámetro de la rueda pasante, para darle integridad estructural al conjunto en los extremos. Al poseer módulos más cortos, la presente invención es más flexible que la de la patente EP2423583B1, esto hace que existan menos puntos eventuales de contacto entre el cuerpo del carro y el tubo, y por lo tanto menor fricción. Por todo esto, la presente invención resulta más eficiente cuando se aplica en tubos con radios de curvatura pequeños.

- [10] Además de este antecedente, también se encontraron otros que sirven para entender por qué se propone una solución con la presente invención. Se comentan a continuación.
- [11] La patente [US4757258A](#) describe un sistema y un procedimiento para inspeccionar tubos de generadores de vapor. El sistema se basa en el uso de ruedas para transportar los cables. Sin embargo, sirve solamente para tubos rectos con sólo dos curvas. Además de las ruedas, el sistema consta de un motor eléctrico, otro motor neumático y un tren de engranajes. Esto estaría destinado a tubos de mayor diámetro.
- [12] En la patente [US20110089937A1](#) también se describe un dispositivo para inspeccionar tubos con el método de corrientes parásitas. Esto está pensado solamente para inspeccionar tubos en U. Posee sólo un cabezal formado por distintos arreglos de rodillos o bolas, con resortes que hacen un mecanismo retráctil, para impulsar la sonda de inspección dentro del tubo.
- [13] En la patente [US5565633A](#) se detalla un aparato y un método para introducir sensores en el interior de un tubo recto. El aparato se basa en un mecanismo tipo tractor con una serie de ruedas para generar contactos por rodadura con las paredes del interior del tubo. Las dimensiones del dispositivo hacen que sea inviable para llevarlo a cabo en un tubo de dimensiones reducidas.
- [14] En la patente [US4050384A](#) se presenta un artefacto para inspeccionar o realizar operaciones dentro de un tubo o conducto relativamente grande (con un diámetro

interior de aproximadamente 25 mm). Se compone de un cabezal guía, conectado a una serie de mecanismos de tracción, separados entre ellos a una determinada distancia, que incluyen un tren de engranajes.

- [15] Por último, la patente [ES2182611A1](#) describe una sonda para la inspección de tubos. Específicamente se refiere a tubos verticales de gran diámetro que se utilizan en reactores nucleares de agua en ebullición (BWR). La invención se basa en un aparato con ruedas para detectar y determinar las posiciones axiales y angulares de los defectos detectados con el sensor de la sonda.
- [16] De manera similar a varias de las referencias mencionadas anteriormente, la invención se basa en utilizar contactos de rodadura puntuales para reducir la fricción por deslizamiento entre los cables y las paredes del tubo. Sin embargo, a diferencia de lo conocido hasta aquí, el mecanismo propuesto es un conjunto más compacto que el resto y que con la asistencia de un sistema neumático de impulsión/extracción logra solucionar el problema planteado.

#### OBJETO DE LA INVENCION

- [17] El objeto de la presente invención es un dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas que comprende un conjunto de carros con una rueda insertada en cada uno, intercalados por un separador a fin de proveerle flexibilidad, conformando la totalidad de estas piezas un tren en donde se enhebran los cables a pasar por el tubo deseado.

#### BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

- [18] Para mayor claridad y comprensión del objeto de la presente invención, se han realizado varias figuras esquemáticas, en donde:
- [19] La Figura 1 muestra una vista tridimensional en perspectiva de una variante del dispositivo pasa-cables propuesto.
- [20] La Figura 2 muestra una vista tridimensional en perspectiva de una variante del carro (1).
- [21] La Figura 3 muestra una vista lateral de una variante del carro (1).
- [22] La Figura 4 muestra una vista tridimensional en perspectiva de una variante de la rueda (3) y del eje (4) perteneciente a un carro (1).

- [23] La Figura 5 muestra una vista tridimensional en perspectiva de una variante del separador (2).
- [24] La Figura 6 muestra la vista frontal de una variante del dispositivo pasa-cables (6) en el interior de un tubo (7), con los parámetros fundamentales para determinar una expresión matemática que vincule a los mismos.
- [25] La Figura 7 muestra las relaciones geométricas existentes entre el dispositivo y el radio de curvatura del tubo (7).
- [26] La Figura 8 muestra un esquema simplificado del ejemplo de realización llevado a la práctica, donde se ilustra cómo podría usarse la presente invención en una aplicación concreta.
- [27] Las Figuras 9 y 10 muestran detalles del esquema de la Figura 8.
- [28] Referencias en las Figuras:
- (1) Carro
    - (10) Orificio longitudinal para cable
    - (11) Orificio longitudinal para cable
    - (12) Ranura longitudinal para rueda
    - (13) Orificio transversal para eje
    - (14) Cantos redondeados
    - (15) Cantos redondeados
  - (2) Separador
    - (20) Orificio longitudinal para cable
    - (21) Orificio longitudinal para cable
    - (22) Cantos redondeados
    - (23) Cantos redondeados
  - (3) Rueda
  - (4) Eje
  - (5) Impulsor
    - (50) Rodillos superiores
    - (51) Rodillos inferiores
  - (6) Dispositivo pasa-cables
  - (7) Tubo
    - (70) Extremo de ingreso en el tubo (7)
    - (71) Extremo final del tubo (7)

(8) Bomba de vacío

(80) Manguera que conecta el tubo (7) con la conexión en T (81)

(81) Conexión en T

(82) Línea de succión de aire

(83) Línea de succión de aire

(84) Válvula de paso línea de succión de aire

(85) Línea de presión de aire

(86) Línea de presión de aire

(87) Válvula de paso línea de presión de aire

(9) Cabezal guía

[29] Abreviaciones:

- $D_c$ : Diámetro del carro (1)
- $D_{sep}$ : Diámetro del separador (2)
- $D_e$ : Diámetro del eje (4)
- $D_r$ : Diámetro de la rueda (3)
- $D_t$ : Diámetro interno del tubo (7)
- $d$ : Distancia radial entre la pared interna del tubo (7) y la recta que une los dos puntos de contacto consecutivos
- $e_1$ : Espesor inferior de pared del carro (1)
- $e_2$ : Espesor superior de pared del carro (1)
- $e_3$ : Espesor de la rueda (3)
- $H_{cr}$ : Huelgo o distancia entre la base de la ranura longitudinal (12) y la rueda (3)
- $H_{tc}$ : Huelgo o distancia entre el  $D_t$  y el  $D_c$ .
- $H_{rp}$ : Huelgo o distancia entre la superficie externa de la rueda (3) y la pared de la ranura longitudinal (12).
- $L_c$ : Longitud del carro (1)
- $L_{pc}$ : Distancia entre los puntos de contacto de dos ruedas consecutivas que están orientadas de la misma forma
- $L_{sep}$ : Longitud del separador (2)
- $R$ : Radio de curvatura del tubo (7)
- $s$ : Longitud que sobresale la rueda (3) por sobre el carro (1)

- $\alpha$  (en radianes): Ángulo de giro del par “carro-separador” subsiguiente respecto al eje longitudinal

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- [30] Haciendo referencia a la Figura 1, se puede ver un diagrama en perspectiva una variante del dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas. Comprende un conjunto de una rueda y dos piezas cilíndricas de sección circular que se disponen en forma alternada una a continuación de la otra. Cada conjunto de piezas se rota un ángulo determinado respecto al conjunto anterior en el eje longitudinal. De acá en adelante, la pieza (1) se designa como “carro”, debido a que porta la rueda (3), mientras que la pieza intermedia (2) se denomina “separador”, ya que es la encargada de mantener la distancia entre dos carros consecutivos. El principal requerimiento para seleccionar el material de ambas piezas es el coeficiente de fricción. Es deseable un material que presente un valor bajo del mismo, en caso que llegasen a rozar las piezas con las paredes del tubo.
- [31] En la Figura 2 se muestra en detalle una variante del carro (1). Los cables pasan a través de los orificios longitudinales (10) y (11), que atraviesan de forma recta toda la longitud del carro (1) y se ubican a ambos lados de la ranura longitudinal (12), donde se aloja la rueda (3). Dicha rueda (3) posee además un orificio circular pasante en su centro. Cabe destacar que el número de cables y orificios en el carro (1) puede variar siempre que sus dimensiones sean compatibles con el resto de los componentes y no interrumpa su funcionamiento. La profundidad de la ranura longitudinal (12) es tal que permita un huelgo mínimo entre la rueda (3) y el carro (1), como se describe más adelante; el espesor de la ranura longitudinal (12) es igual al espesor de la rueda (3) más un huelgo, de aproximadamente entre un 5% y un 10% de este espesor, para evitar que la rueda roce con las paredes del carro (1). El agujero transversal (13) sirve para colocar un eje (4). Este último es el eje de rotación de la rueda (3), aunque no gira con la misma. Por otro lado, el largo total del carro (1) queda determinado por el diámetro de la rueda (3), no pudiendo ser menor que este último. Mientras que el diámetro del carro (1) se define por las dimensiones de los cables y el espesor de la pared existente entre los orificios longitudinales (10) y (11) y la

ranura longitudinal (12), aunque de todas formas se debe asegurar un huelgo mínimo entre carro y tubo como se ve más adelante. Por último, los cantos redondeados (14) y (15) en la cara frontal y posterior del carro (1) sirven para eliminar posibles rebabas de fabricación y para evitar que el dispositivo pasacables (6) se trabe con imperfecciones del tubo (7).

[32] La Figura 3 muestra una vista lateral de una variante del carro (1), el cual porta la rueda (3). Puede verse con mayor claridad el orificio transversal (13) en el cual se coloca el eje (4) a presión. El método de fijación es por simple inserción; si fuese necesario, se podría reforzar la unión con algún pegamento. Se observa que el centro de dicho orificio transversal (13) coincide con el centro de la rueda (3). En esta Figura 3 se muestran también los cantos redondeados (14) y (15). Con línea de trazo y punto se indica el centro de dicho orificio transversal (13) y también el eje de los orificios longitudinales (10) y (11), por donde se colocan los cables. En la imagen que se muestra, tanto eje como centro coinciden, pero no es estrictamente necesario. Puede observarse que el diámetro de la rueda (3) coincide con la longitud del carro (1). El requisito es que dicha longitud del carro (1) sea igual al diámetro de la rueda (3), o mayor con una tolerancia del 10% de dicho diámetro de la rueda (3). Por último, se observa que la rueda (3) sobresale del carro (1) entre un 5% y 10% del diámetro del tubo  $D_t$ .

[33] La Figura 4 muestra una variante de la disposición de la rueda (3) y el eje (4). Puede verse que el diámetro  $D_e$  del eje (4) es apenas menor (aproximadamente 10% más chico) que el diámetro interior de la rueda (3). Se observan también los extremos seccionados del eje (4) para que no sobresalgan del cuerpo del carro (1). Dichos extremos pueden ser rasantes a la superficie del carro (1) o rectos. El largo máximo del eje (4) es mayor que el espesor de la ranura longitudinal (12); y menor o igual que el largo de los orificios transversales (13), con una tolerancia del 2% respecto del diámetro del tubo  $D_t$ . Por otro lado, se observa el canto (3a) de la rueda (3), el cual puede ser recto, recto con vértices redondeados o en forma de arco.

[34] La Figura 5 muestra en detalle una variante de la pieza denominada separador (2). Sea dicha variante o cualquier otra, el diámetro  $D_{sep}$  es menor o igual al diámetro  $D_c$  de los carros (1). Los cables pasan a través de los orificios longitudinales (20) y (21), que atraviesan toda la longitud de la pieza en forma

helicoidal. La forma de esta curva no es necesariamente helicoidal, sino cualquiera que permita mantener el arreglo de orificios de la cara frontal y presentarlo en la cara posterior con un determinado ángulo de giro respecto del eje longitudinal. El largo y el paso de la hélice son tales que los orificios de la cara posterior se encuentran rotados  $90^\circ$  respecto de los orificios de la cara frontal; es decir que la longitud del separador (2) es igual a un cuarto del paso de la hélice; por lo tanto, cada cuatro secuencias de carro-separador, los cables giran una vuelta completa. Este giro se realiza para que a lo largo del pasa-cables completo el dispositivo tenga el mismo comportamiento al flexionarlo en cualquier dirección perpendicular al eje axial. Sin estos giros, los cables irían rectos a lo largo de todo el pasa-cables (6) y esto podría dificultar seguir las curvas en direcciones donde coincida más de un cable. Más adelante, se describe de forma detallada el rango de ángulos admisible entre carros consecutivos. En tal caso, se debe tener en cuenta dicho ángulo para el dimensionamiento del separador (2). En cuanto a dimensiones, el diámetro de la pieza completa es menor o igual que el del carro (1). Las posiciones de los orificios longitudinales (20) y (21) del separador (2) son tales que se corresponden con los orificios longitudinales (10) y (11) del carro (1), respectivamente, con la salvedad de que la distancia entre aquellos es 10% menor que en la del carro (1). Con esta leve reducción en la distancia entre orificios en el separador (2) se busca que, por la forma con la que se adapta un cable entre carro (1) y separador (2), exista inevitablemente un huelgo entre las piezas que en definitiva permite la curvatura del dispositivo pasa-cables (6). Por último, al igual que en el carro (1), los cantos redondeados (22) y (23) en la cara frontal y posterior del separador (2) sirven para eliminar posibles rebabas de fabricación y para evitar que el dispositivo pasa-cables (6) se trabe con imperfecciones del tubo.

- [35] Es importante recordar que las dimensiones tanto del carro (1) como del separador (2), se relacionan de forma directa con la rueda (3); y esta última depende de las medidas del tubo por el que se quiere pasar los cables, como se explica a continuación.
- [36] En la Figura 6 se muestra la vista frontal de una variante del dispositivo pasa-cables (6) colocado en el interior del tubo (7). Se observa la rueda (3) alojada en la ranura longitudinal (12). El espesor  $e_3$  de dicha rueda es preferentemente de

entre 10 % y 15 % del diámetro  $D_r$  de la rueda (3). Asimismo, se observa que el espesor de la ranura longitudinal (12) es la sumatoria del espesor  $e_3$  de la rueda (3) y de dos veces un huelgo  $H_{rp}$  de entre 5% y 10% del espesor  $e_3$  de la rueda (3).

[37] A partir de esta Figura 6 se establece la siguiente relación matemática que permite determinar el diámetro máximo de la rueda (3),  $D_r$ , en función del diámetro interno del tubo (7),  $D_t$ :

[38] Ecuación (1):  $D_r \leq D_t - H_{tc} - e_1 - H_{cr}$

[39] Donde  $H_{tc}$  es el huelgo entre el tubo y el carro (1),  $e_1$  es el espesor inferior de pared del carro (1) y  $H_{cr}$  es el huelgo entre el carro (1) y la rueda (3). Estos parámetros pueden expresarse como un porcentaje, que llamaremos  $\beta$ , del diámetro del tubo  $D_t$ . Para evitar posibles rozamientos entre el carro (1) y el tubo (7), o entre el carro (1) y la rueda (3), se recomienda que dichos porcentajes estén dentro del rango del 5% al 10%, es decir  $0,05 \leq \beta \leq 0,1$ . Por ejemplo, tomando el 5% de  $D_t$  como huelgo, se tiene la siguiente expresión.

[40] Ecuación (2):  $D_r \leq D_t(1 - 3 \cdot 0,05) = 0,85D_t$

[41] Dichos porcentajes del huelgo también definen el rango posible de valores para el diámetro del carro. Esto es:  $D_c = D_t - 2H_{tc} \Rightarrow 0,8D_t \leq D_c \leq 0,9D_t$ .

[42] De forma similar, se puede determinar el diámetro mínimo de la rueda (3),  $D_r$ , en función del diámetro interno del tubo (7),  $D_t$ :

[43] Ecuación (3):  $D_r \geq 2 \cdot (H_{tc} + e_2) + D_p$

[44] Donde  $D_e$  es el diámetro del eje (4) y  $e_2$  es el espesor superior de pared del carro (1). Por cuestiones de fabricación y ensamblaje, se recomienda que  $D_e$  sea igual a un porcentaje  $\beta$  de  $D_t$  y  $e_2$  sea el doble de ese valor. Por lo tanto, para  $\beta = 0,05$ , se tiene la siguiente expresión:

[45] Ecuación (4):  $D_r \geq 2 \cdot (0,05D_t + 2 \cdot 0,05D_t) + 0,05D_t = 0,35D_t$

[46] Entonces, queda establecido el rango de dimensiones recomendadas para el diámetro de la rueda (3), como se indica en la Ecuación (5):

[47] Ecuación (5):  $0,35D_t \leq D_r \leq 0,85D_t$

[48] Así también, para un correcto funcionamiento del dispositivo y para mantener la rigidez estructural de sus partes, se recomienda que el espesor de la rueda (3), indicado como  $e_3$  en la Figura 6, sea entre un 10% y un 15% de su diámetro. Como se dijo antes, debe haber un huelgo de entre un 5% y un 10% de este espesor  $e_3$ , para evitar que la rueda roce con las paredes del carro (1). Dicho huelgo se indica en la Figura 6 como  $H_{rp}$ .

[49] En la Figura 7 se muestra un esquema que sirve para establecer las relaciones geométricas entre el dispositivo pasa-cables (6) y el radio de curvatura del tubo (7),  $R$ . Se indica con la letra  $s$  la distancia que sobresale la rueda (3) del carro (1). Esta distancia es igual al huelgo existente entre el tubo (7) y el carro (1), como se indica en la Ecuación (6):

[50] Ecuación (6):  $s = H_{tc} = \beta D_t$

[51]  $L_{pc}$  indica la distancia entre los puntos de contacto de dos ruedas consecutivas que están orientadas de la misma forma, y se expresa mediante la Ecuación (7). Esta última establece que  $L_{pc}$  depende de la longitud del carro (1),  $L_c$ , de la longitud del separador (2),  $L_{sep}$ , y del ángulo de giro entre los pares subsiguientes,  $\alpha$  (en radianes). Se especifica un límite inferior dado que en la práctica existe un pequeño huelgo entre piezas necesario para la curvatura del conjunto, como se ha mencionado antes.

[52] Ecuación (7):  $L_{pc} > \frac{2\pi}{\alpha} (L_c + L_{sep})$

[53] Como se dijo antes, la longitud del carro (1) es como mínimo igual al diámetro de la rueda (3). Se recomienda que se tome este valor para obtener el conjunto más compacto posible. Así también, la longitud del separador (2) puede

expresarse como un porcentaje del diámetro de la rueda (3) ( $L_{sep} = \gamma \cdot D_r$ ). De esta forma se tiene:

[54] Ecuación (8):  $L_{pc} > \frac{2\pi}{\alpha} D_r(1 + \gamma)$

[55] Se recomienda que dicho porcentaje esté entre (40 y 80) % ( $0,4 \leq \gamma \leq 0,8$ ). Teniendo en cuenta la Ecuación 5, se obtiene:

[56] Ecuación (9):  $L_{pc} > \frac{2\pi}{\alpha} D_t \delta$ , con ( $0,5 \leq \delta \leq 1,5$ )

[57] El último parámetro que se indica en la Figura 7 es la distancia radial  $d$  entre la pared interna del tubo (7) con radio de curvatura  $R$  y la recta que une los dos puntos de contacto consecutivos, medida en el punto medio entre dichos puntos. La condición crítica se da cuando  $d = s$ . Esto se debe a que en esa situación, el carro (1) del dispositivo pasa-cables (6) estaría haciendo contacto con el tubo (7). Se genera entonces una fricción indeseada. Para evitarlo se establece el límite que se indica en la Ecuación (10).

[58] Ecuación (10):  $d < s$

[59] Aplicando el teorema de Pitágoras, se tiene la Ecuación (11):

[60] Ecuación (11):  $(R - d)^2 + L_{pc}^2/4 = R^2$

[61] Finalmente, teniendo en cuenta la restricción dada por la Ecuación (10), reemplazando las Ecuaciones (6) y (9) en la (11), y despejando el ángulo  $\alpha$  se obtiene lo siguiente:

[62] Ecuación (12):  $\alpha > \frac{\pi\delta}{\beta \sqrt{\frac{2R}{\beta D_t} - 1}}$

[63] La expresión matemática anterior establece el rango de ángulos  $\alpha$  (en radianes) que se puede girar pares “carro-separador” contiguos, sin que se produzca

fricción por deslizamiento del dispositivo pasa-cables (6) en la pared del tubo (7). Puede verse que a mayor radio de curvatura  $R$ , es posible tomar valores de giro  $\alpha$  menores. Esto significa que se puede separar más las ruedas con puntos de contacto consecutivos ( $L_{pc}$  es mayor). Al contrario, para tubos con bajos valores de  $R$ , se necesita  $\alpha$  mayores. Es decir, se necesita reducir la distancia entre las ruedas con puntos de contacto consecutivos, para evitar la fricción del dispositivo. Se recomienda por cuestiones prácticas y de facilidad constructiva mantenerse aproximadamente en el rango  $\frac{\pi}{4} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$  radianes.

- [64] Finalmente, hay que mencionar que en el extremo inicial del dispositivo pasa-cables (6) se puede colocar un cabezal guía (9) que sujete los cables. Esta pieza se puede fabricar o conseguir en el mercado de muchas formas, tamaños, materiales, etc. Lo ideal para esta aplicación, es que tenga un bajo factor de rozamiento y que sea fácil de direccionar, ya que su función es ayudar a guiar al dispositivo pasa-cables (6) conforme avanza dentro del tubo (7). Sin embargo, no es primordial para su funcionamiento. Los cables que atraviesan el primer conjunto “carro-separador” también podrían unirse entre ellos en el extremo y cumplir el rol del cabezal guía (9). Asimismo, si se desea colocar algún sensor para inspeccionar el tubo (por ejemplo bobinas de corrientes parásitas) puede ubicárselo entre el cabezal guía (9) y el dispositivo pasa-cables (6).
- [65] Es necesario remarcar que dependiendo de la complejidad de la trayectoria de la tubería, o la resistencia que oponga la misma al pasaje del mecanismo pasa-cables, puede ser necesaria la asistencia de un sistema neumático al mecanismo de inserción/expulsión. Dicha asistencia puede provenir de un sistema de aire a presión o de una bomba generadora de vacío (8), dependiendo del interés en el sentido de avance y el acceso que se tenga en los extremos del tubo en cuestión. En el caso particular en el que se tiene acceso al extremo opuesto al de inserción del dispositivo pasa-cables (6), se recomienda acompañar la inserción con la generación de vacío en aquel extremo, así como facilitar la expulsión con aire a presión en el mismo extremo. Los valores de presión y caudal necesario en cualquier caso dependen del problema en particular.

## EJEMPLO DE REALIZACIÓN

[66] Para la presente invención, se han efectuado múltiples ensayos, obteniendo resultados exitosos para tubos de múltiples curvaturas. Entre ellos se destaca la aplicación en tubos helicoidales de diámetro interior  $D_t$  entre 10 a 20 mm y de radio de curvatura R entre 100 a 200 mm.

[67] Se elige como ejemplo de realización el siguiente ensayo:

[68] Se ha inspeccionado un tubo helicoidal (7) de Inconel 690, de 15,5 vueltas, de radio de curvatura de 130,5 mm, con un paso de 90 mm, diámetro exterior de 5/8" (15,875 mm) y con un espesor de 1,829 mm; insertando dos cables de 1,6 mm de sección y 13 m de longitud.

[69] El dispositivo pasa-cables (6) aplicado en dicha inspección comprende:

- 800 piezas cilíndricas de sección circular, denominadas en adelante "carros" (1). Cada una de ellas es de 8 mm de diámetro externo y 9,565 mm de longitud y comprende:
  - dos orificios longitudinales de 2,3 mm de diámetro (10) y (11), que atraviesan de manera recta toda la longitud de dicho carro (1),
  - una ranura longitudinal (12) de 9,565 mm de longitud, 8 mm de profundidad y 1,4 mm de ancho,
  - un orificio transversal (13) de 3,2 mm de diámetro,
  - cantos redondeados (14) y (15) en la cara frontal y en la cara posterior;
- 800 piezas cilíndricas de sección circular, denominadas en adelante "separadores" (2). Cada una de ellas es de 9 mm de diámetro externo y 7 mm de longitud y comprende:
  - dos orificios longitudinales de 2,5 mm de diámetro (20) y (21), que atraviesan de manera helicoidal toda la longitud de dicho separador (2),
  - cantos redondeados (22) y (23) en la cara frontal y en la cara posterior;
- una rueda (3) por cada uno de dichos carros (1), de bronce, de 10 mm de diámetro externo, 3,5 mm de diámetro interno y 1,25 mm de espesor;

- un eje (4) por cada uno de dichos carros (1), de plástico, de 3,2 mm de diámetro, colocado a presión en dicho orificio transversal (13), seccionado de manera tal que los extremos no sobresalen de la superficie externa del carro (1);
- un cabezal guía (9), que comprende un sensor;

donde dichas ruedas (3) se han ubicado dentro de las ranuras longitudinales (12) de dichos carros (1) de manera que el centro de dichas ruedas (3) coincidan axialmente con dichos orificios transversales (13);

donde dichos ejes (4) se han ubicado dentro de los orificios transversales (13) atravesando el centro de dichas ruedas (3);

donde cada uno de dichos separadores (2) se han ubicado a continuación de uno de dichos carros (1) conformando un par “carro-separador”;

donde cada par carro-separador se ha dispuesto a 90° del par carro-separador inmediato respecto al eje longitudinal, conforme lo establece la helicoide del separador;

donde los cables se han enhebrado por dichos orificios longitudinales (10) y (11) de dichos carros (1), y por los orificios helicoidales (20) y (21) de dichos separadores (2);

donde los cables se han conectado al sensor de dicho cabezal guía (9), quedando así sujetos.

[70] A fin de impulsar y extraer los cables se ha utilizado un sistema neumático, tal como se explica a continuación:

[71] En la parte superior de la Figura 8 se puede ver un impulsor a rodillos (5) que introduce el dispositivo pasa-cables (6) en el interior del tubo helicoidal (7). Se observa un detalle de la inserción, que se muestra en la Figura 9. Luego, en la parte inferior de la Figura 8 se puede ver el extremo final del tubo helicoidal (71) conectado a un circuito neumático que consta de mangueras, válvulas y una bomba de vacío (8). Este circuito se detalla en la Figura 10.

[72] Existen muchos tipos de impulsores comerciales, que varían de forma, tamaño, principio de funcionamiento, etc., según la aplicación para la que se lo use. En particular, el impulsor (5) mostrado en la Figura 8 corresponde al equipo MIZ®-80iD fabricado por la empresa Zetec. Cabe aclarar que si bien el ensayo realizado se llevó a cabo con un impulsor similar, se eligió el modelo de Zetec sólo a modo ilustrativo, ya que sería el dispositivo óptimo para esta aplicación.

- [73] El pasa-cables (6) es la invención propiamente dicha. Es decir, es el conjunto de pares carro-separador, explicado en la sección anterior. En referencia a la Figura 8, el pasa-cables (6) se enrolla en el tambor del impulsor (5).
- [74] En la Figura 9 se muestra en detalle la inserción del pasa-cables (6). Con el identificador (70) se indica el extremo de ingreso en el tubo helicoidal (7). Los rodillos superiores (50) aprietan el pasa-cables (6) contra los rodillos inferiores (51). Según el sentido de giro de los rodillos, el pasa-cables (6) avanza o retrocede. Pueden verse con claridad las piezas carro (1) y separador (2) que se ubican de forma alternada lo largo de todo el pasa-cables. Las mismas se fabrican con tecnología de impresión 3D en material plástico PLA.
- [75] Por último, en la Figura 10 se indica en detalle el extremo final del tubo helicoidal (71) por el cual sale el pasa-cables (6); también se muestra el circuito neumático que asiste al impulsor a rodillos (5) en la inserción/extracción de los cables. Se indica con el número de referencia (9) el cabezal guía del pasa-cables (6).
- [76] El circuito neumático se compone de la manguera (80) que conecta el tubo helicoidal (7) con la conexión (81) en forma de T. En un extremo de esta conexión se acopla la línea de succión de aire, compuesta por las mangueras (82) y (83), la válvula de paso (84) y la bomba de vacío (8). En el otro extremo de la conexión (81) en forma de T se ensambla la línea de presión de aire, formada por las mangueras (85) y (86), la válvula de paso (87) y una línea de aire a presión (que por simplicidad no se muestra en el esquema). La bomba de vacío (8) mostrada en el esquema es sólo ilustrativa. Podría usarse cualquier bomba que sea capaz de operar en un circuito abierto.
- [77] El procedimiento para pasar los cables a través del tubo con ayuda del circuito neumático es el siguiente. Para la inserción del pasa-cables (6), la configuración es tal como se muestra en la Figura 8. La válvula (84) está abierta y la válvula (87) está cerrada. Al encender la bomba de vacío (8) se genera una succión del aire que está en el circuito abierto, conformado por el tubo helicoidal (7), las mangueras (80), (82) y (83), la conexión (81) en forma de T y la válvula (84). El sentido de este flujo de aire se indica en la Figura 8 con líneas de trazos. Mientras tanto, desde la entrada del tubo helicoidal (70), se introduce el pasa-cables (6) con ayuda del impulsor a rodillos (5). El caudal de aire produce una fuerza de arrastre sobre las piezas del mecanismo. Además, tiende a alinear las ruedas (3) del pasa-cables (6), logrando que se establezcan contactos puntuales de

rodadura, evitando rozamientos indeseados con la pared del tubo. Se continúa introduciendo el pasa-cables (6) hasta observar que sale por el extremo inferior del tubo helicoidal (71).

- [78] Para la extracción del pasa-cables (6), la configuración es la siguiente: se apaga la bomba de vacío (8), se cierra la válvula (84), se conecta la manguera (86) a una línea de aire a presión externa y se abre la válvula (87). Al activar esta línea de presión, el aire es forzado a recorrer el tubo helicoidal (7) en sentido contrario a la inserción. Nuevamente, se indica con línea de trazos el sentido del flujo del aire a presión que entraría por la manguera (86) al abrir la válvula (87). De esta forma, el aire ayuda a evitar atascos. La velocidad de salida del aparato se regula por medio del impulsor (5). En este caso, los rodillos del impulsor (5) deben girar en el sentido contrario al de la inserción, para ir enrollando el dispositivo pasa-cables (6) en el tambor, hasta que salga por completo.
- [79] De esta manera, se cuenta con un dispositivo basado en contactos de rodadura puntual que mediante la asistencia del sistema neumático de inserción/extracción permite pasar los cables a través de un tubo con múltiples curvaturas.

A continuación, siguen 10 reivindicaciones.

Habiendo descripto y determinado la naturaleza y alcance de la presente invención, y la manera en que la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara lo que se reivindica como invención y de propiedad exclusiva:

1) Un dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas caracterizado porque comprende:

- al menos una pieza cilíndrica de sección circular, denominada “carro” (1), que comprende:
  - uno o más orificios longitudinales;
  - una ranura longitudinal (12);
  - un orificio transversal (13);
- al menos una pieza cilíndrica de sección circular, denominada “separador” (2), que comprende uno o más orificios longitudinales;
- una rueda con un orificio central (3) por cada uno de dichos carros (1);
- un eje (4) por cada uno de dichos carros (1);

donde dichos carros (1) portan dichas ruedas (3) alojadas en dichas ranuras longitudinales (12);

donde dichas ruedas (3) sobresalen de dichos carros (1) entre un 5 y 10 % del diámetro de tubo  $D_t$ ;

donde el espesor  $e_3$  de dichas ruedas (3) es menor que el espesor de dichas ranuras longitudinales (12);

donde el diámetro  $D_c$  de dichos carros (1) está comprendido en el rango  $0,8D_t \leq D_c \leq 0,9D_t$ ;

donde la longitud  $L_c$  de dichos carros (1) es igual al diámetro de dicha rueda (3), o mayor con una tolerancia del 10% de dicho diámetro de la rueda (3);

donde el diámetro  $D_{sep}$  de dichos separadores (2) es menor o igual al diámetro  $D_c$  de dichos carros (1);

donde el diámetro  $D_r$  de dichas ruedas (3) está comprendido en el rango  $0,35D_t \leq D_r \leq 0,85 D_t$ ;

donde la longitud  $L_{sep}$  de dichos separadores (2) está comprendida en el rango  $0,4D_r \leq L_{sep} \leq 0,8D_r$ ;

donde cada uno de dichos separadores (2) se ubica a continuación de uno de dichos carros (1), denominados en conjunto “par carro-separador”;

donde cada par carro-separador se dispone uno a continuación del otro de forma tal que dichos carros (1) se ubican alternados;

donde los cables a pasar por dicho tubo atraviesan dichos orificios longitudinales de dichos carros (1) y de dichos separadores (2);

donde cada par carro-separador se dispone a un ángulo  $\alpha$  del par carro-separador subsiguiente respecto al eje longitudinal;

donde dicho ángulo  $\alpha$  en radianes es mayor que  $\frac{\pi\delta}{\beta\sqrt{\frac{2R}{\beta D_t}-1}}$ ;

donde  $\delta$  es un factor de multiplicación comprendido en el rango  $0,5 \leq \delta \leq 1,5$ ;

donde  $\beta$  es un factor de multiplicación de entre 0,05 y 0,1;

donde  $R$  es el radio de curvatura del tubo;

donde  $D_t$  es el diámetro interno del tubo;

donde el diámetro  $D_r$  de dichas ruedas (3) está comprendido en el rango  $0,35D_t \leq D_r \leq 0,85 D_t$  ;

donde dichos ejes (4) se fijan dentro de dichos orificios transversales (13) de dichos carros (1) atravesando dichos orificios centrales de dichas ruedas (3);

donde el largo máximo de dichos ejes (4) es mayor que el espesor de dichas ranuras longitudinales (12); y

donde el largo máximo de dichos ejes (4) es menor o igual que el largo de dichos orificios transversales (13), con una tolerancia del 2% respecto del diámetro del tubo  $D_t$ .

- 2) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque la cara frontal y la cara posterior de cada uno de dichos carros (1) y de cada uno de dichos separadores (2) comprenden preferentemente cantos redondeados (14) (15) (22) (23).
- 3) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos orificios longitudinales de dichos separadores (2) son preferentemente curvos.

- 4) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque cada uno de dichos carros (1) y cada uno de dichos separadores (2) comprenden preferentemente dos orificios longitudinales (10) (11) (20) (21).
- 5) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque el rango de dicho ángulo  $\alpha$  es preferentemente entre  $\frac{\pi}{4} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$  radianes.
- 6) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque la distancia entre el diámetro interno del tubo  $D_t$  y el diámetro  $D_c$  de dicho carro (1) es un huelgo  $H_{tc}$  preferentemente de entre 5% y 10% de  $D_t$ .
- 7) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque la distancia entre la base de dicha ranura longitudinal (12) y dicha rueda (3) es un huelgo  $H_{cr}$  de entre 5% y 10% del diámetro interno del tubo  $D_t$ .
- 8) El dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque:
- el espesor  $e_3$  de dicha rueda (3) es preferentemente de entre 10% y 15% del diámetro  $D_r$  de dicha rueda (3); y
  - el espesor de dicha ranura longitudinal (12) es la sumatoria del espesor  $e_3$  de dicha rueda (3) y de dos veces un huelgo  $H_{rp}$  de entre 5% y 10% del espesor  $e_3$  de dicha rueda (3).
- 9) El dispositivo pasa-cables según la reivindicación 1, caracterizado porque:
- dichos ejes (4) se fijan a dichos carros (1) preferentemente a presión o con pegamento; y
  - dicho diámetro  $D_e$  de dichos ejes (4) es preferentemente un 10% de dicho diámetro interno del tubo  $D_t$ ; y

- los extremos de cada uno de dichos ejes (4) son preferentemente rasantes a la superficie de cada uno de dichos carros (1) o son preferentemente rectos.

10) El dispositivo pasa-cables según la reivindicación 1, caracterizado porque dichas ruedas (3) tienen preferentemente cantos rectos (3a) o cantos rectos con vértices redondeados (3a) o cantos en forma de arco (3a).



**Ing. Edgardo Sergio ALANIZ**  
Agente de la Propiedad Industrial  
Matrícula N° 2282

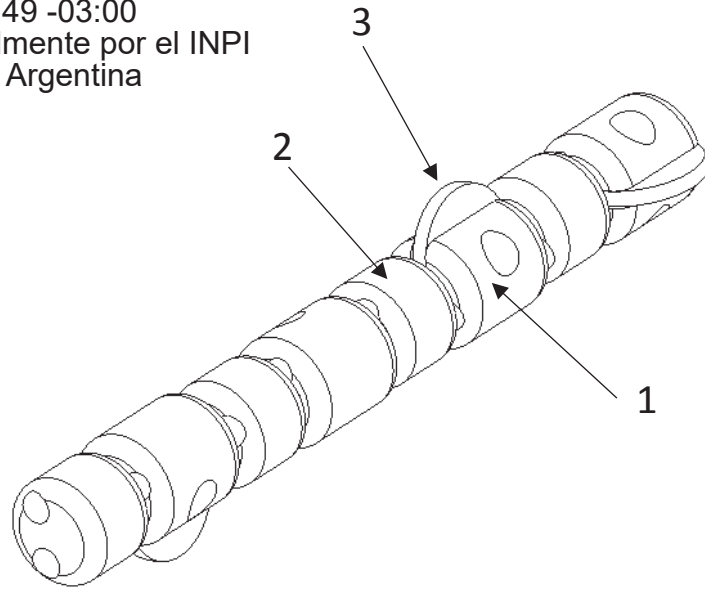


FIG. 1

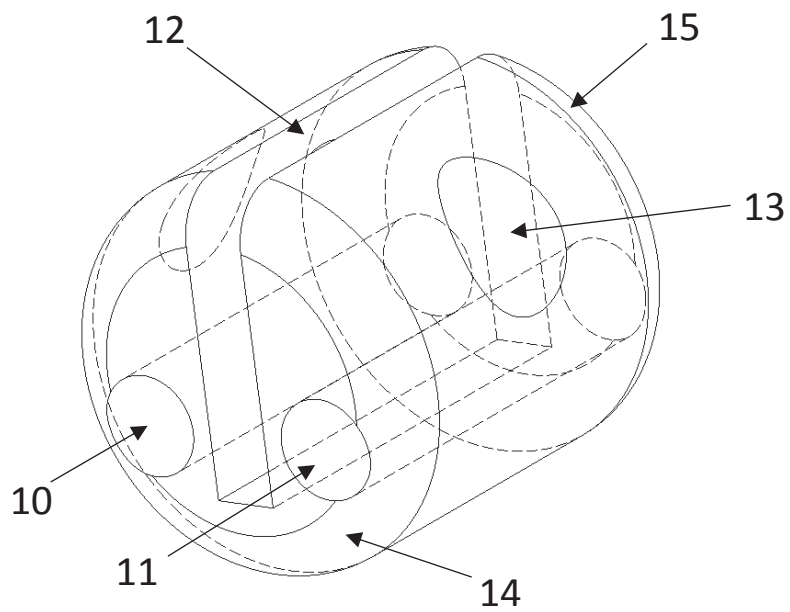


FIG. 2

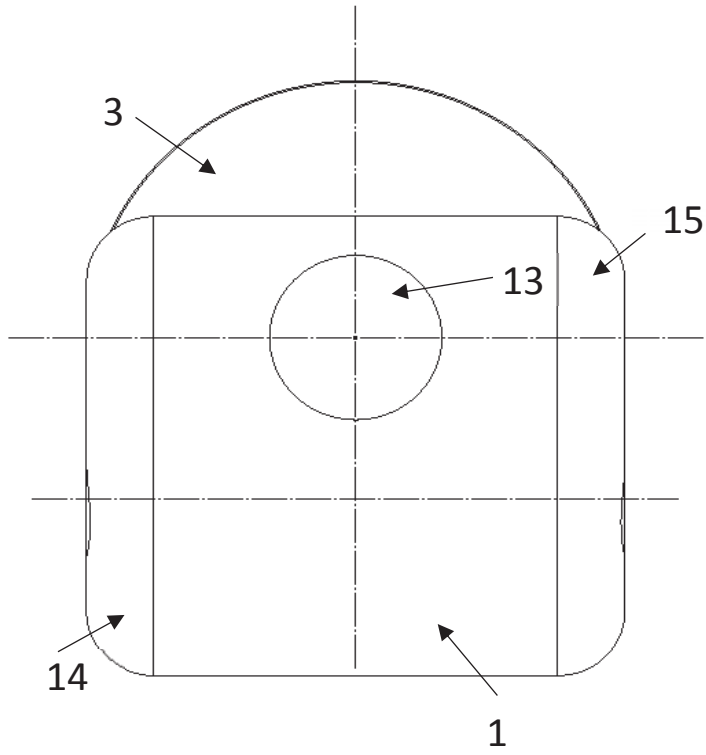


FIG. 3

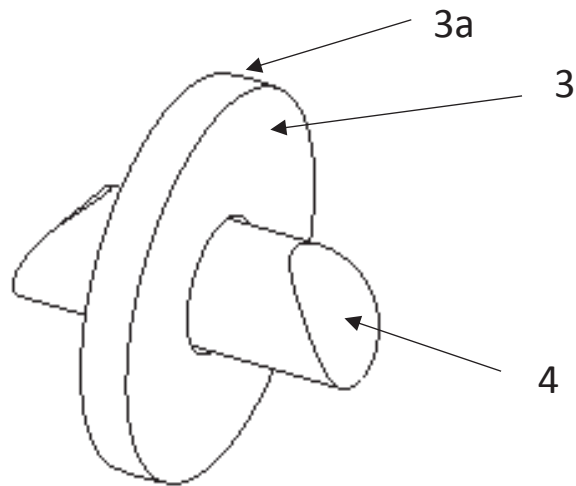
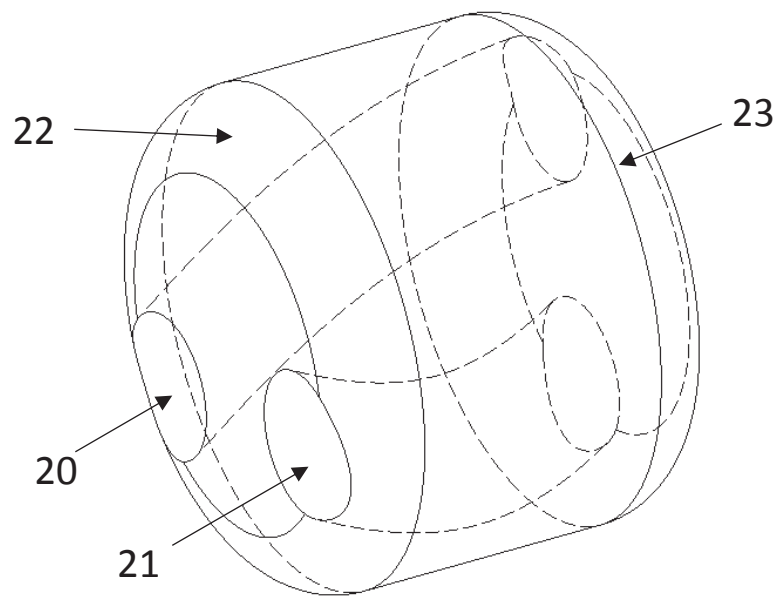


FIG. 4



**FIG. 5**

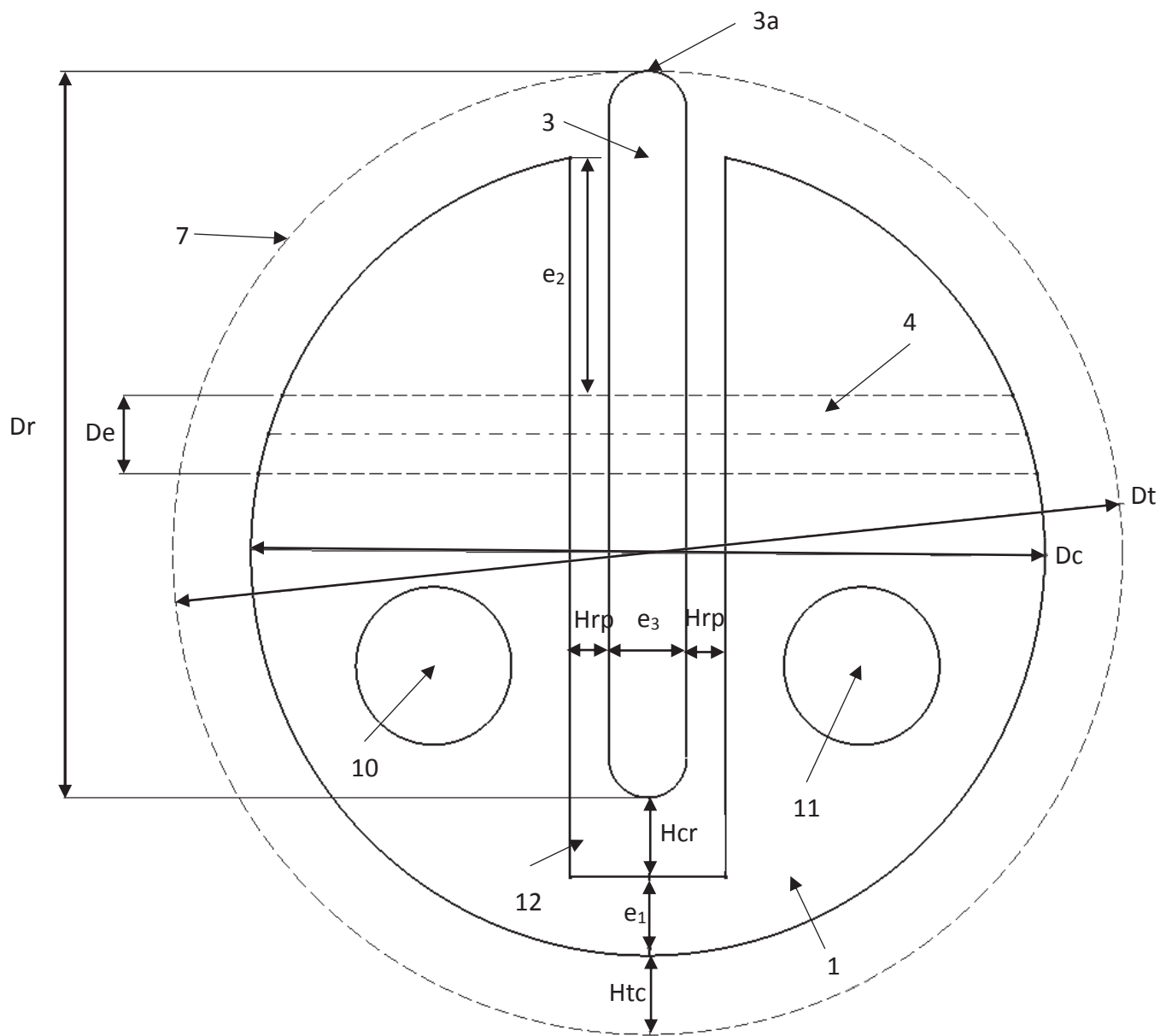


FIG. 6

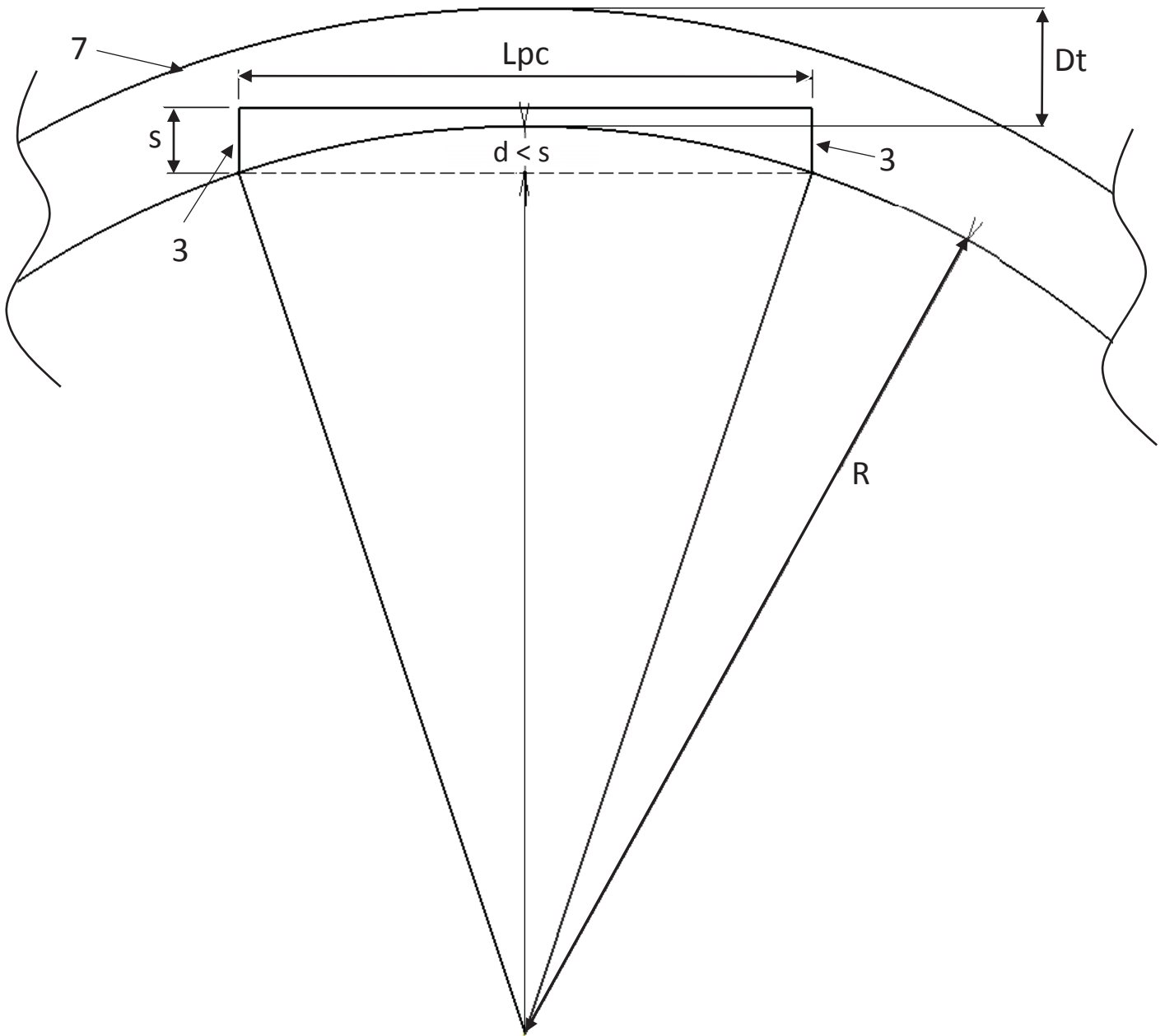


FIG. 7

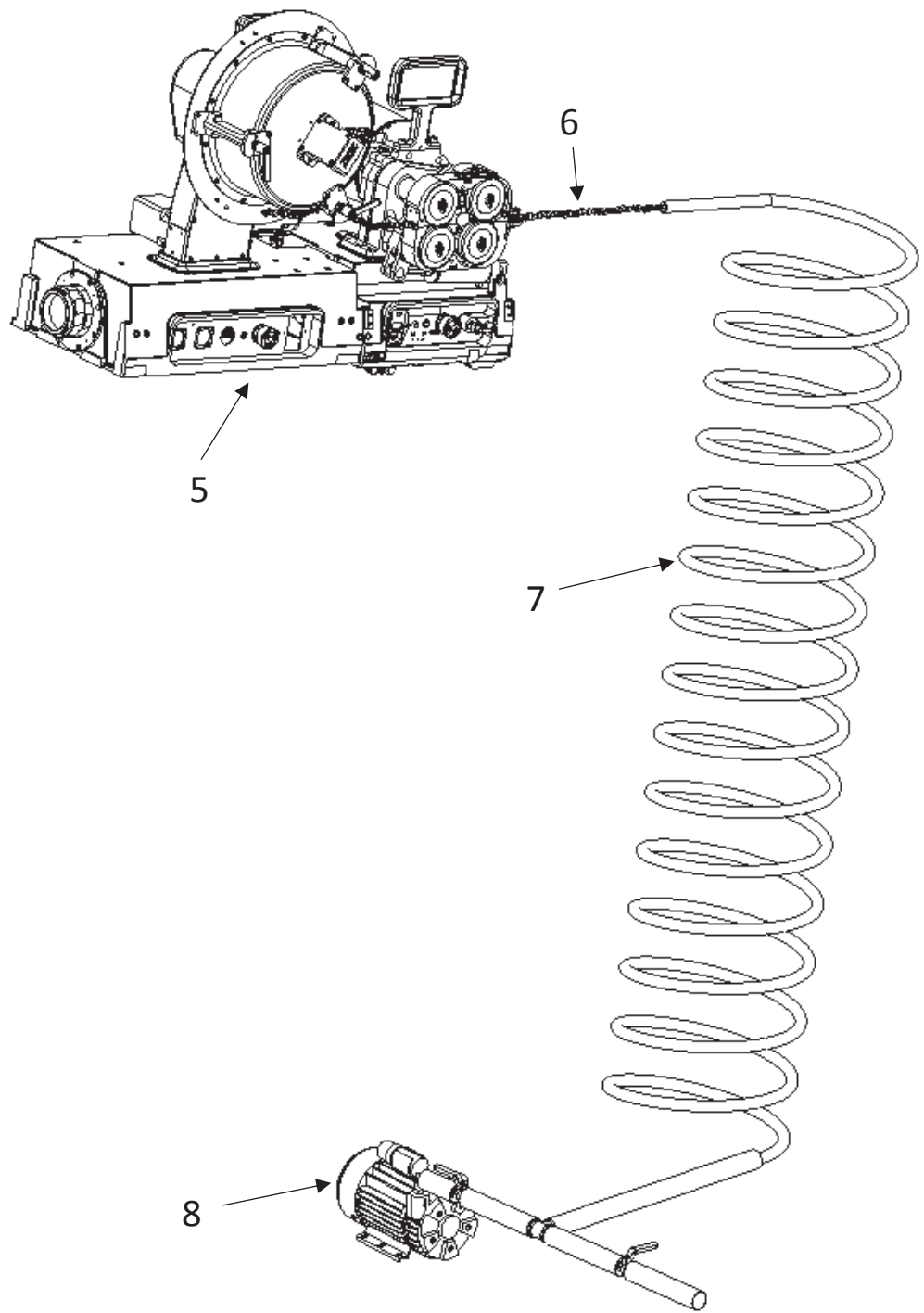


FIG. 8

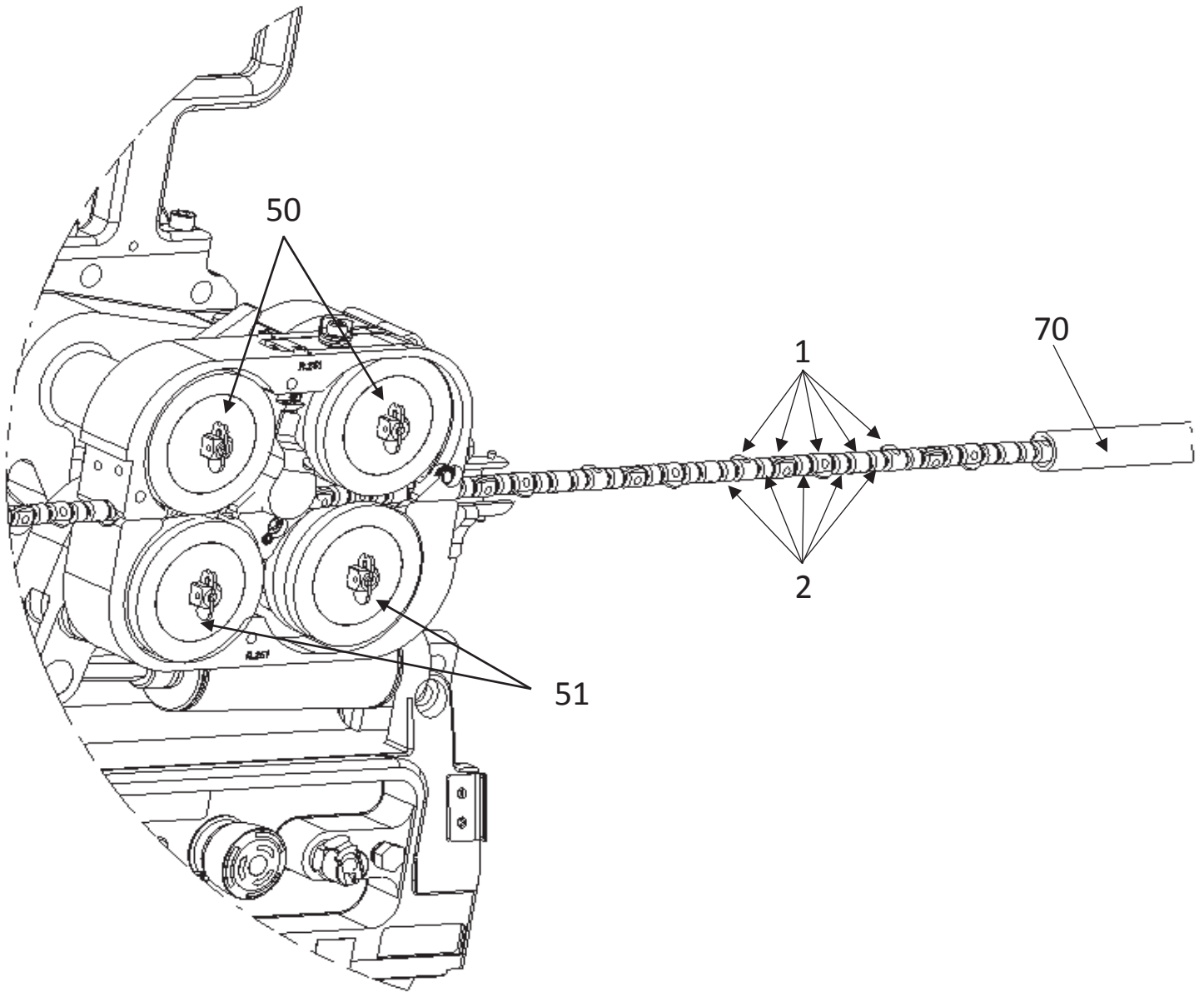


FIG. 9

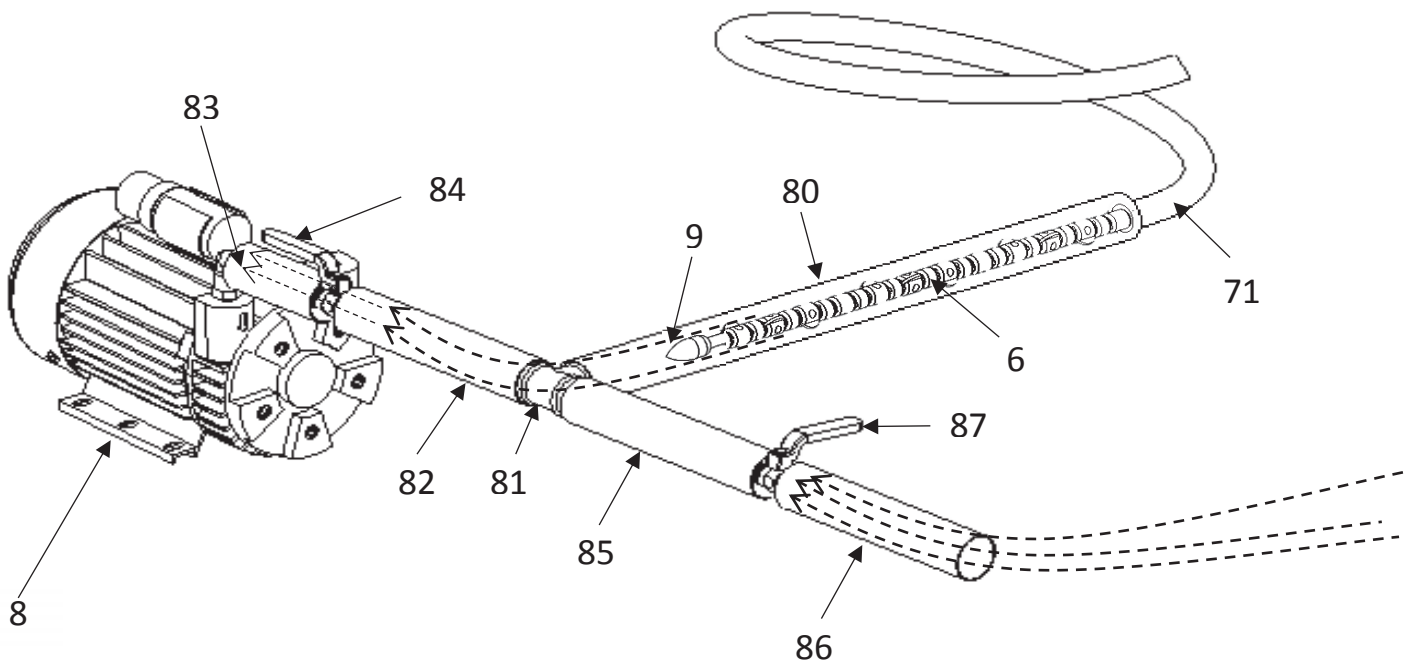


FIG. 10

Comisión Nacional de Energía Atómica - 30546660210

Digitally signed by PORTALTRAMITES - INPI

Date: 2019.12.23 14:05:49 -03:00

RESUMEN

Reason: Firmado Digitalmente por el INPI

Location: Buenos Aires, Argentina

Dispositivo pasa-cables para tubos con múltiples curvaturas que comprende un conjunto de carros con una rueda insertada en cada uno, intercalados por un separador a fin de proveerle flexibilidad, conformando la totalidad de estas piezas un tren en donde se enhebran los cables a pasar por el tubo deseado.