

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 325**

51 Int. Cl.:

**H02G 1/08**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2015 PCT/EP2015/053293**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15121493**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2015 E 15705971 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 3108550**

54 Título: **Método para instalar un elemento alargado en un conducto doblado**

30 Prioridad:

**17.02.2014 CH 206142014**

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

**28.02.2020**

73 Titular/es:

**PLUMETTAZ HOLDING S.A. (100.0%)  
Route de la Gribannaz 12 Z. I. En Vannel C  
1880 Bex, CH**

72 Inventor/es:

**GRIFFIOEN, WILLEM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 745 325 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

Método para instalar un elemento alargado en un conducto doblado

La presente invención pertenece al campo técnico general relacionado con el tendido de cables a través de tubos. Esto incluye la introducción del cable en un tubo, así como la extracción del cable del tubo. Un caso particular se refiere a la introducción o extracción de un elemento alargado de un conducto doblado.

Es conocido el introducir elementos alargados en conductos con la ayuda de aire comprimido. Este método, denominado "soplado" (jetting), se describe en el documento US 5 197 715, así como el uso de una "cabeza sónica", donde "soplado" es una sinergia de empuje y soplado y donde en la "cabeza sónica" se crea un flujo sónico que genera una fuerza de tracción en el extremo anterior del cable. El soplado crea una fuerza de propulsión hacia delante distribuida sobre el cable, compensando localmente las fuerzas de fricción, limitando la acumulación de fuerzas axiales en el cable, limitando a su vez la acumulación de fricción exponencial adicional mediante el conocido "efecto de cabrestante" (efecto capstan) (ver, por ejemplo, [http://en.wikipedia.org/wiki/Capstan\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Capstan_equation)). Como el aire es un fluido compresible, se expande cuando la presión disminuye hacia el extremo del conducto, lo que hace que las fuerzas de propulsión del aire sean relativamente pequeñas en la primera sección del conducto (lado de inyección) y relativamente grandes en la última sección del conducto (lado de escape). Durante el soplado, normalmente hay una deficiencia de fuerzas de propulsión de aire para compensar la fricción en dicha primera sección, donde el empuje ayuda en la instalación de cables, y un exceso de fuerzas de propulsión de aire en dicha última sección. El denominado "punto crítico" es la ubicación en el conducto donde las fuerzas de propulsión de aire se igualan a las fuerzas de fricción. En una situación en la que el peso del cable es dominante para la fricción (como es el caso en el soplado), las fuerzas de fricción son principalmente constantes, y se entiende fácilmente que el "punto crítico" es el punto más difícil de alcanzar: aguas arriba de este punto, hay menos longitud para que la fuerza de empuje se acumule y aguas abajo de este punto, se acumulará primero una fuerza de tracción. Debe tenerse en cuenta que cuando el diámetro de cable se acerca al diámetro interno del conducto, este argumento ya no se mantiene, porque la caída de presión sobre la parte del conducto que contiene cable será mayor debido al aumento de resistencia hidráulica, ya que el diámetro hidráulico se reduce significativamente por la presencia del cable. Para este método de soplado, se puede usar de manera ventajosa la "cabeza sónica". El cálculo en el documento US 5 197 715 demostró que la mejora aumenta porque la "cabeza sónica" es como si estuviera "tirando" del cable sobre el "punto crítico".

Cuando el conducto se dobla con un radio continuo una gran longitud, desaparece la sinergia entre empujar y soplar antes mencionada: la acción de fuerzas axiales en el cable es mucho más corta aquí porque el efecto de cabrestante mencionado anteriormente es mucho más largo. En este caso, el aire tiene que hacer el trabajo por sí solo, y la instalación solo servirá para longitudes de conducto lo suficientemente cortas como para que el soplado genere suficientes fuerzas de propulsión de aire desde el principio, lo que hará que la longitud de instalación disminuya aproximadamente un 50 %. Sin embargo, para diámetros de cable relativos más grandes de hoy en día, la mayor resistencia hidráulica de la parte del conducto que contiene cable ayuda a "tirar" del cable a través de la primera sección más difícil, como en esta primera sección, el diámetro hidráulico se reduce (significativamente) por la presencia del cable.

Se conoce otro método para introducir un elemento alargado, con la ayuda de agua, donde el líquido compensa al menos en parte el peso del elemento alargado. Este método se denomina flotación (floating) y las condiciones de funcionamiento son bastante diferentes a las del método de soplado, especialmente con respecto al flujo y a la velocidad del líquido inyectado en el conducto. De hecho, la velocidad del líquido es bastante baja en comparación con el aire comprimido y no hay expansión a lo largo del tubo. En muchos casos, se pueden alcanzar longitudes de instalación de cable mucho más largas en conductos rectos mediante flotación que mediante soplado.

Sin embargo, todavía es difícil tender (es decir, introducir o extraer) elementos alargados en un conducto cuando este último está doblado una gran longitud con un radio continuo. Un caso típico es cuando el conducto está enrollado en un tambor una longitud de hasta más de mil metros en algunos casos. Otro caso típico es cuando el conducto está trenzado helicoidalmente con otro conducto o cable en toda su longitud, por ejemplo, más de mil metros. El soplado o flotación siempre termina en una longitud limitada por la fricción entre las paredes de conducto y el elemento alargado, creada por la flexión continua. Los cálculos mostraron que el método de soplado a menudo alcanza una longitud de instalación mayor que el método de flotación en tales conductos doblados, pero aún se necesitan algunas mejoras para lograr longitudes de instalación previstas cada vez mayores.

La presente invención pretende resolver los inconvenientes antes mencionados y tiene como objetivo en primer lugar proponer un método para tender (introducir o extraer) un elemento alargado hacia dentro o hacia fuera de un conducto doblado, a través de longitudes mayores que las logradas con los métodos conocidos.

Con este objetivo en mente, un primer aspecto de la invención es un método para tender un elemento alargado a través de una longitud completa de un conducto doblado por la mayor parte de su longitud, comprendiendo el método las etapas que consisten en:

- introducir un líquido en el conducto doblado y mantener condiciones de flujo y presión predeterminadas del líquido en el conducto doblado,

- compensar una fricción entre el conducto doblado y un extremo del elemento alargado que es doblado por el conducto doblado, aplicando al extremo del elemento alargado un esfuerzo predeterminado.

5 El método según la presente invención comprende una etapa que consiste en compensar la fricción entre el extremo del elemento alargado y la pared del conducto doblado. Esta compensación es una anulación de al menos una parte de las fuerzas de fricción y se obtiene aplicando un esfuerzo axial al extremo del elemento alargado. Este esfuerzo axial puede ser una fuerza de tracción aplicada en un extremo delantero si el elemento alargado se introduce en el conducto doblado, o una fuerza de empuje aplicada en un extremo posterior si el elemento alargado se extrae del conducto doblado. La primera etapa del método es la introducción de un líquido, como en el método de flotación, pero la segunda etapa propone aplicar una fuerza axial, y luego la longitud de la instalación se incrementa de manera imprevista. El esfuerzo aplicado al extremo del elemento alargado es axial, es decir, este esfuerzo aplicado es casi tangencial al conducto doblado, o casi perpendicular al radio del conducto doblado. El esfuerzo aplicado al extremo del elemento alargado se crea por el flujo del líquido inyectado sin dispositivo/aparato externo (tal como, por ejemplo, un cable de tracción).

Según una realización, el conducto doblado se dobla con un radio de flexión constante de más del 90 % de su longitud.

15 La etapa que consiste en aplicar el esfuerzo predeterminado se logra mediante las etapas que consisten en:

- fijar un tapón de fuga al extremo del elemento alargado,

- provocar una caída de presión en el flujo de líquido al nivel del tapón de fuga, mediante el establecimiento de una fuga calibrada de líquido a través del tapón de fuga.

20 El tapón está dispuesto para presentar una fuga, de modo que el líquido todavía fluye a una velocidad mayor que el elemento alargado, pero la invención aprovecha las características de flujo para crear una caída de presión al nivel del tapón, creando así el esfuerzo axial.

De manera ventajosa, el esfuerzo predeterminado se ajusta en relación con la flexión del conducto doblado y/o una resistencia a la flexión del elemento alargado.

25 De manera ventajosa, el esfuerzo predeterminado se ajusta en relación con una posición del extremo del elemento alargado en el conducto doblado.

De manera ventajosa, el flujo del líquido se establece para lograr una velocidad de flujo del líquido en el conducto doblado igual o mayor que una velocidad de desplazamiento del elemento alargado por el conducto doblado.

30 De manera ventajosa, el método es un método para introducir el elemento alargado en el conducto doblado, en el que el extremo del elemento alargado es un extremo delantero del elemento alargado, introducido primero por una entrada del conducto doblado, y en el que el esfuerzo predeterminado es un esfuerzo de tracción

35 De manera ventajosa, el esfuerzo de tracción predeterminado  $F_{\text{tracción}}$  se establece en un valor en relación con (generalmente un poco más grande que) la fuerza de fricción/repulsión  $F_{\text{cabeza de fricción}}$  en la cabeza de cable (provocada al doblar el cable rígido, inicialmente recto, en el conducto doblado) presentando un tapón de fuga una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la flexión del conducto y en relación con la resistencia a la flexión del elemento alargado, para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d}{4} \frac{\Delta p_{\text{conducto}}}{l} \leq 0 \quad (1);$$

donde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cabeza de fricción}} - F_{\text{tracción}}$  cuando  $F_{\text{tracción}} < F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  cuando  $F_{\text{tracción}} > F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2b);

$$F_{\text{cabeza de fricción}} = \frac{2Bf}{\sqrt{6(D_d - D_c)R_b^3}} + \frac{B}{2R_b^2} \quad (3a) ;$$

$$F_{\text{tracción}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (3b) ;$$

5 siendo  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado (por ejemplo, en un tambor).

Como alternativa, la fuerza de fricción/repulsión  $F_{\text{cabeza de fricción}}$  en la cabeza de cable puede medirse o determinarse experimentalmente para ajustar la caída de presión en el tapón de fuga  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  para obtener una fuerza de tracción en el valor más cercano posible de la fuerza de fricción/repulsión  $F_{\text{cabeza de fricción}}$ .

10 Si no hay fuerza que actúe sobre el elemento alargado, el movimiento de este último en un conducto (recto) se logra si:

$$\frac{\pi D_c D_d}{4} \frac{\Delta p_{\text{conducto}}}{l} \geq f W_e \quad (4).$$

15 De manera ventajosa, el método es un método para extraer el elemento alargado del conducto doblado, en el que el extremo del elemento alargado es un extremo posterior del elemento alargado, extraído el último del conducto doblado, y en el que el esfuerzo predeterminado es un esfuerzo de empuje.

20 De manera ventajosa, el esfuerzo de empuje predeterminado se establece con un tapón de fuga que presenta una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la fuerza de fricción/propulsión en el extremo posterior de cable provocada por la flexión del cable rígido, inicialmente recto, a través del conducto doblado, (es decir, la caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  se establece en relación con el radio de flexión del conducto y en relación con la resistencia a la flexión del elemento alargado) para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d}{4} \frac{\Delta p_{\text{conducto}}}{l} \leq 0 \quad (10) ;$$

dónde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cola de fricción}} - F_{\text{empuje}}$  cuando  $F_{\text{empuje}} < F_{\text{cola de fricción}}$  (12a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  cuando  $F_{\text{empuje}} > F_{\text{cola de fricción}}$  (12b);

$$F_{\text{cola de fricción}} = \frac{2Bf}{\sqrt{6(D_d - D_c)R_b^3}} - \frac{B}{2R_b^2} \quad (13a);$$

$$F_{\text{empuje}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (13b)$$

5 siendo  $F_{\text{empuje}}$  el esfuerzo de empuje predeterminado,  $F_{\text{cola de fricción}}$  la fuerza de fricción/propulsión en el extremo posterior de cable,  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado.

De manera ventajosa, el método comprende una etapa inicial que consiste en enrollar el conducto doblado en un tambor para doblarlo por su longitud, antes de introducir el elemento alargado en el conducto doblado.

10 De manera ventajosa, el método comprende una etapa inicial que consiste en trenzar helicoidalmente el conducto doblado con un cable u otro conducto para formar un elemento trenzado, antes de introducir el elemento alargado en el conducto doblado.

15 El método comprende una etapa inicial que consiste en doblar el conducto doblado con un radio efectivo mayor de 5° por metro de conducto doblado (doblado al menos 5° por metro), y preferiblemente con un radio efectivo mayor de 20° por metro de conducto doblado (doblado al menos 20° por metro).

Un segundo aspecto de la invención es el uso de un tapón de fuga para aplicar el método de acuerdo con el primer aspecto.

20 De manera ventajosa, la fuga calibrada está definida por una vía de paso entre un extremo posterior y un extremo delantero del tapón de fuga, teniendo la vía de paso una sección transversal predeterminada para establecer un flujo predeterminado de líquido entre el extremo posterior y el extremo delantero del tapón de fuga.

De manera ventajosa, el tapón de fuga comprende:

- una vía de paso entre un extremo posterior y un extremo delantero del tapón de fuga, teniendo la vía de paso una sección transversal predeterminada
- 25 - un pistón móvil dispuesto para bloquear al menos parcialmente un flujo de líquido a través de la sección transversal predeterminada de la vía de paso,
- un elemento elástico dispuesto para mantener el pistón móvil en una posición en la vía de paso de modo que se cree una caída de presión mínima debido al flujo del líquido entre el extremo posterior y el extremo delantero del tapón de fuga.

30 Otras características y ventajas de la presente invención quedarán más claras en la siguiente descripción detallada de ejemplos particulares no limitativos de la invención, ilustrada mediante los dibujos adjuntos donde:

- la figura 1 representa la introducción de un elemento alargado en un conducto doblado mediante un proceso conocido de soplado;
- la figura 2 representa la introducción del elemento alargado de la figura 1 con el método de la presente invención;
- 35 - la figura 3 representa un gráfico comparativo de longitudes introducidas de un elemento alargado en un conducto doblado, utilizando los métodos conocidos de soplado y flotación aplicados a un primer ejemplo específico:

- la figura 4 representa un gráfico comparativo de las longitudes introducidas del elemento alargado en el conducto doblado del primer ejemplo específico, utilizando los métodos de soplado y flotación con una etapa de aplicación de un esfuerzo axial al extremo delantero del elemento alargado;

5 - la figura 5 representa un gráfico comparativo de longitudes introducidas de un elemento alargado en un conducto doblado, utilizando los métodos conocidos de soplado y flotación aplicados a un segundo ejemplo específico:

- la figura 6 representa un gráfico comparativo de longitudes introducidas del elemento alargado en el conducto doblado del segundo ejemplo específico, utilizando los métodos de soplado y flotación con una etapa de aplicación de un esfuerzo axial al extremo delantero del elemento alargado;

10 - las figuras 7a y 7b representan un tapón de fuga utilizado para aplicar el esfuerzo axial requerido por la presente invención.

En la presente solicitud, se hace referencia a elementos alargados que pueden ser, por ejemplo, cables, cables eléctricos, fibras o cables ópticos, fibras o cables ópticos de detección de temperatura. Todos estos elementos alargados pueden comprender, por ejemplo, un núcleo, un revestimiento o una cubierta. Sin embargo, el elemento alargado enunciado no se limita a ninguno de estos ejemplos específicos.

15 También se hace referencia a conductos que pueden ser, por ejemplo, tuberías, cilindros huecos, tubos, conductos: cualquier cosa que defina un canal en el que puede introducirse o extraerse un elemento alargado, desde una primera ubicación a una segunda ubicación.

La figura 1 representa un elemento alargado 10 que se introduce en un conducto doblado 20. Este conducto doblado 20 presenta un radio de flexión  $R_b$ , al enrollarse, por ejemplo, en un tambor.

20 El elemento alargado 10 tiene una resistencia a la flexión específica, su extremo delantero toca la pared del conducto doblado 20 en (dos o) tres puntos de contacto diferentes. En cada uno de estos puntos de contacto, el extremo delantero del elemento alargado 10 aplica fuerzas normales  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  sobre la pared del conducto doblado 20. Debido a estos contactos, hay fuerzas de fricción  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  en cada uno de los puntos de contacto, que actúan contra el movimiento del elemento alargado. Incluso aunque el elemento alargado se introduzca en el conducto doblado 20 con la ayuda de aire comprimido, las fuerzas de fricción  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  afectarán negativamente a la longitud máxima que se puede alcanzar, en comparación con el tendido del mismo elemento alargado 10 en un conducto recto. La fuerza de fricción  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  puede ser tan grande como las fuerzas de fricción debido al peso de cable de aquel que tiene una longitud significativa de cable (decenas de metros). En trayectorias rectas, el exceso de fuerzas de propulsión de aire acumuladas en una sección más grande del cable ayudará a compensar esto. Pero, en el caso de un conducto enrollado, donde ya se han acumulado muchos grados de ángulo, las fuerzas  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  "explorarán" debido a que el efecto de cabrestante va aumentando (exponencialmente) a medida que el elemento alargado avanza hacia la bobina.

25 La figura 2 representa la introducción del elemento alargado 10 en el conducto doblado 20 de la figura 1, aunque utilizando el método de la presente invención. El conducto doblado 20 se llena con un líquido, agua 40, inyectado a presión en el conducto doblado 20. El agua 40 fluye hacia el conducto doblado 20 de modo que su velocidad es mayor que la velocidad del elemento alargado 10, creando así fuerzas de arrastre en el elemento alargado 10.

30 Además del proceso de flotación conocido, la invención propone aplicar una fuerza de tracción axial  $F_p$  en el extremo delantero del elemento alargado 10. La fuerza de tracción axial  $F_p$  significa que, en un plano de proyección perpendicular al eje de la hélice del conducto doblado 20, la fuerza de tracción  $F_p$  es casi tangente a la trayectoria del extremo del elemento alargado 10, o casi perpendicular al radio que une el centro del conducto doblado 20 con el extremo del elemento alargado 10.

Un tapón de fuga 30 (simplificado para que quede clara la figura 2, para detalles del tapón de fuga 30, ver figuras 7a y 7b) está fijado al extremo delantero del elemento alargado 10 y comprende un orificio 31, por lo que se crea una caída de presión al nivel del tapón de fuga 30, de modo que el esfuerzo axial  $F_p$  se aplica al elemento alargado 10.

35 Esta fuerza de tracción axial  $F_p$  aplicada al extremo delantero del elemento alargado 10 compensa la fricción entre el extremo delantero del elemento alargado 10 y la pared del conducto doblado 20. Ahora, como efecto adicional a la compensación de las fuerzas de fricción de extremo delantero, el "efecto de cabrestante" ya no hace que las fuerzas de fricción  $F_1$  y  $F_2$  ( $F_3$  desaparece porque el cable ya no estará bajo la fuerza de empuje) exploten, permitiendo así la introducción del elemento alargado en una mayor longitud del conducto doblado 20.

40 Ejemplo específico 1: un cable óptico (el elemento alargado) con un diámetro de 5,4 mm, un peso de 0,25 N/m, una resistencia a la flexión de 0,03 Nm<sup>2</sup> y una curvatura intrínseca de 0,4 m debe instalarse en un microconducto de 10/7,6 mm, que está trenzado helicoidalmente con un radio de enrollado de 25 mm y un paso de 0,75 m alrededor de un cable de energía tendido en línea recta. El radio de flexión efectivo de la hélice es de 0,59 m, por lo que la curvatura intrínseca del cable es la más crítica para la fuerza de fricción en el extremo anterior del cable. El coeficiente de fricción (COF) entre el cable y el microconducto se establece en 0,1, por lo que la fuerza de fricción en el extremo anterior del cable será de 0,28 N (una longitud de 11,2 m de cable proporcionaría la misma fricción debido al peso solamente, pero en ese caso el cable ya ha formado un ángulo acumulativo de 1088°). La longitud de instalación prevista es de

1200 m con una presión de 12 bar. El cálculo se realiza con un software basado en la teoría del libro publicado de W. Griffioen: "Instalación de cables ópticos en conductos" (Plumettaz, Bex, CH 1993) y un factor de llenado inverso (de "Microduct cabling: Fiber to the Home", W. Griffioen, A. van Wingerden, C. van't Hul, M. Keijzer, Proceedings at 52. ° IWCS - 2003, 431-437) de 0,1. Para una longitud dada del microconducto (abierto por su extremo), la fuerza de empuje (en el lado de inserción de cable) se calcula en función de la longitud instalada del cable. Cuando el microconducto está abierto a 900 m, el cable puede instalarse simplemente por soplado, como se puede ver en la figura 3, curva J. La flotación, que en trayectorias normales proporciona una mayor longitud de instalación, no llegará hasta el extremo en este caso. Con la flotación, solo se alcanzan 836 m, ver figura 3, curva F. Este sorprendente resultado puede explicarse por el hecho de que, para la flotación, llegar al extremo es la parte más difícil. No se beneficia del exceso de fuerzas de fluido expandido, como es el caso con el soplado, por lo que tampoco ayuda que en la primera sección instalada las fuerzas de propulsión de fluido sean mayores debido a la mayor resistencia hidráulica de la sección de conducto con cable. Y, ya no existe la ventaja de menor peso efectivo del cable en el agua: la "explosión de cabrestante" es dominante sobre el efecto del peso.

Ahora se realiza la misma instalación utilizando un tapón de aire o agua parcialmente con fugas, con una diferencia de presión de 0,3 bar con respecto a la misma, equivalente a una fuerza de tracción local de 1,39 N, lo suficientemente amplia como para compensar la fricción en el extremo anterior del cable. Es decir, hay un caso que usa un método de soplado (aire comprimido) con una etapa de aplicación de una fuerza de tracción en el extremo delantero del elemento alargado, y un segundo caso que usa el método de la presente invención. Soplado + Tracción no mejora para la longitud de 900 m, ver curva J + P en la figura 4. Este sorprendente resultado se explica por el hecho de que en la posición que podría alcanzarse mediante soplado ayudado con la ventaja de mayor resistencia hidráulica de la sección de conducto con cable, ya hay tanto exceso de flujo de aire debido a la expansión del fluido, que el flujo de aire puede compensar la "explosión de cabrestante" a cero. Pero ahora es posible Flotación + Tracción (el método de acuerdo con la presente invención), ver figura 4, curva F + P. El método de acuerdo con la presente invención ahora permite un tendido de hasta 5400 m, ver figura 4, curva F + P. En la práctica, no se alcanzará esta longitud extremadamente larga, porque también se produce el efecto de cambiar la curvatura del cable (rígido) (no es lo mismo que cuando el conducto está enrollado en un tambor o trenzado en una hélice, donde la curvatura permanece constante por la longitud) al pasar por curvas y ondulaciones en la trayectoria de conducto, lo que se añade a la fricción debido al peso (efectivo) del cable, ver "Floating Cable into Duct: Recent Developments" (W. Griffioen, L. Gapany, S. Grobety, C. Gutberlet, G. Plumettaz, R. van der Sluis, A. Pijpers, Th. Weigel, Proceedings at 62. ° IWCS -2013, 11-20), pero en la práctica ya se han alcanzado longitudes de flotación de más de 3 km en microconductos de tamaño similar. Por lo tanto, se puede alcanzar fácilmente la longitud prevista de 1200 metros, incluso serán posibles múltiples longitudes (en cascada).

Ejemplo específico 2: un cable óptico con un diámetro de 1,2 mm, un peso de 0,015 N/m (peso efectivo  $W_e$  en agua de 0,0039 N/m), una rigidez de 0,001 Nm<sup>2</sup> y una curvatura intrínseca de 0,4 m debe instalarse en uno de microconductos de 5/3,5 mm que forman un haz, que se enrolla en un tambor con un diámetro de núcleo de 400 mm, es decir, un radio de flexión de 0,2 m. Esta vez, el radio de flexión del microconducto enrollado en el tambor es el más crítico. El coeficiente de fricción (COF) ahora es de 0,15. A partir de la fórmula (3) escrita en la descripción general, se alcanzaría una longitud de flotación de 6767 m en un conducto recto para una presión de 12 bar. Pero, a partir de la fórmula (2), la fuerza  $F_{\text{cabeza}}$  para empujar la cabeza de cable a través de la flexión continua será de 0,041 N (una longitud de 70 m de cable proporcionaría la misma fricción debido al peso solamente, pero en ese caso el cable ya ha formado un ángulo acumulativo de  $> 20000^\circ$ ). Esto significa que  $F_{\text{cabeza}} R_b$ , que alcanza un valor de 0,21 N/m, supera con creces  $W_e$ . Por tanto, a partir de la fórmula (1) seguiría una distancia de solo 129 m. La longitud de instalación prevista es de 1000 m, de nuevo con una presión de 12 bar ( $\Delta p_{\text{conducto}}$ ). En la figura 5 se muestra el resultado para el microconducto abierto a 390 m, curva J, que se alcanza solo para soplado, pero (con diferencia) no para flotación (129 m, curva F).

Ahora se realiza la misma instalación utilizando un tapón de aire o agua parcialmente con fugas, con una diferencia de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  de 0,3 bar con respecto a la misma, equivalente a una fuerza de tracción local de 0,29 N, lo suficientemente amplia como para compensar la fricción en el extremo anterior del cable. Soplado + Tracción también mejora ahora (debido a que la ventaja de mayor resistencia hidráulica introdujo solo una pequeña sección de cable en el conducto) y se pueden alcanzar 950 m, ver figura 6, curva J + P. Para Flotación + Tracción (la presente invención), la longitud de 6597 m (se deduce de la fórmula (3), con 0,3 bar restados de la presión de instalación de 12 bar) cumple ampliamente el objetivo de 1000 m, ver figura 6, curva F + P. Se muestra entonces que el método de la presente invención mejora la introducción o extracción de un elemento alargado de un conducto doblado.

La figura 7a representa un tapón de fuga 30 dispuesto para aplicar una fuerza axial a un extremo delantero del elemento alargado 10. El tapón de fuga 30 comprende una carcasa 32 con un sello de labio 35 y un orificio 31, y una varilla axialmente deslizante 34 está dispuesta en la carcasa 32, con un resorte 33 dispuesto para empujar la varilla axialmente deslizante 34 para cerrar el orificio 31. La varilla axialmente deslizante 34 presenta una interfaz de fijación en su extremo izquierdo, para fijar un elemento alargado.

Como se muestra en la figura 7b, el tapón de fuga 30 está fijado a un elemento alargado 10 e introducido en un conducto doblado 20 que se muestra en líneas de puntos. Se introduce un líquido a presión en el conducto doblado 20 y el sello de labio 35 fuerza la carcasa 32 para que se mueva bajo la acción de la presión del líquido. Como hay un elemento alargado 10 fijado a la varilla axialmente deslizante 34, esta última queda retenida y fuerza el resorte 33 para

que sea comprimido, de modo que se abre el orificio 31 para permitir que pase el líquido por el mismo, como se muestra con la flecha. Este flujo de líquido a través del orificio 31 crea una caída de presión, de modo que, en combinación con la rigidez de resorte, se aplica una fuerza de tracción  $F_p$  al elemento alargado 10.

Ejemplo específico 3

- 5 Un cable de alimentación de 82 mm con 3 núcleos sólidos, con una masa de 6,42 kg/m, flotando en una solución de NaCl concentrada al 26 % de densidad 1,2 g/cm<sup>3</sup> (casi totalmente igualando la densidad del cable, lo que da como resultado un peso efectivo  $W_e$  del cable de únicamente 0,81 N/m) y una rigidez  $B$  de 12000 Nm<sup>2</sup> se hace flotar en un conducto con un diámetro interno  $D_d$  de 102,2 mm, con una diferencia de presión de  $\Delta p_{\text{conducto}}$  de 12 bar a lo largo de todo el conducto. El coeficiente de fricción  $f$  entre cable y conducto es igual a 0,08. El conducto se enrolla en un tambor
- 10 Jumbo con un radio de flexión mínimo  $R_b$  de 1,41 m (el peor de los casos). A partir de la fórmula (3) una longitud de flotación de 121 km seguiría un conducto recto. Pero, la fuerza  $F_{\text{cabeza}}$  para empujar la cabeza de cable a través de la flexión continua será de 6312 N. Esto significa que  $F_{\text{cabeza}}/R_b$ , que alcanza un valor de 4477 N/m, supera con creces  $W_e$ . Por tanto, a partir de la fórmula (1) seguiría una distancia de solo 22 m. Debido a que el efecto de cabrestante no elimina completamente las fuerzas de empuje en longitudes relativamente tan cortas, esto será un poco más largo.
- 15 Cuando se utiliza un tapón de agua parcialmente con fugas en el extremo del cable, con una diferencia de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  de 8 bar con respecto al mismo, equivalente a una fuerza de tracción local que supera ampliamente 6312 N, se suministra la fuerza para empujar la cabeza de cable a través de la flexión continua. Ahora podemos usar nuevamente la fórmula (3) para calcular la longitud de flotación, con 8 bar restados de la presión de instalación de 12 bar, lo que da como resultado una longitud de flotación de 40 km todavía. La longitud máxima del conducto en el
- 20 tambor Jumbo es de 1,9 km, de manera que este cable de alimentación de 82 mm debe introducirse completamente en el conducto.



**REIVINDICACIONES**

1. Método para tender un elemento alargado (10) a través de una longitud completa de un conducto doblado (20), que está doblado al menos 5° por metro la mayor parte de su longitud, comprendiendo el método las etapas que consisten en:

5 - introducir un líquido en el conducto doblado (20) y mantener condiciones de flujo y presión predeterminados del líquido en el conducto doblado (20),

- compensar una fricción entre el conducto doblado (20) y un extremo del elemento alargado (10) que es doblado por el conducto doblado (20), aplicando al extremo del elemento alargado (10) un esfuerzo predeterminado generado por el flujo y la presión predeterminados del líquido,

10 en donde la etapa que consiste en aplicar el esfuerzo predeterminado se logra mediante las etapas que consisten en:

- fijar un tapón de fuga (30) al extremo del elemento alargado (10),

- provocar una caída de presión en el flujo de líquido al nivel del tapón de fuga (30), mediante el establecimiento de una fuga calibrada de líquido a través del tapón de fuga (30).

15 2. Método según la reivindicación anterior, en el que el esfuerzo predeterminado se ajusta en relación con la flexión del conducto doblado (20) y/o una resistencia a la flexión del elemento alargado (10).

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el esfuerzo predeterminado se ajusta en relación con una posición del extremo del elemento alargado (10) en el conducto doblado (20).

20 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el flujo del líquido se establece para lograr una velocidad de flujo del líquido en el conducto doblado (20) igual o mayor que una velocidad de desplazamiento del elemento alargado (10) en el conducto doblado (20).

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método es un método de introducción del elemento alargado (10) en el conducto doblado (20), en el que el extremo del elemento alargado (10) es un extremo delantero del elemento alargado (10), introducido primero en una entrada del conducto doblado (20), y en el que el esfuerzo predeterminado es un esfuerzo de tracción.

25 6. Método según la reivindicación anterior, en el que el esfuerzo de tracción predeterminado se establece con un tapón de fuga que presenta una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la fuerza de fricción/repulsión en la cabeza de cable provocada por la flexión del cable rígido, inicialmente recto, en el conducto doblado, para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d \Delta p_{\text{conducto}}}{4 l} \leq 0 \quad (1);$$

30 donde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cabeza de fricción}} - F_{\text{tracción}}$  cuando  $F_{\text{tracción}} < F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  cuando  $F_{\text{tracción}} > F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2b);

$$F_{\text{tracción}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (3);$$

5 siendo  $F_{\text{tracción}}$  el esfuerzo de tracción predeterminado,  $F_{\text{cabeza de fricción}}$  la fuerza de fricción/repulsión en la cabeza de cable,  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado.

7. Método según la reivindicación 5, en el que el esfuerzo de tracción predeterminado se establece con un tapón de fuga que presenta una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la flexión del conducto y en relación con la resistencia a la flexión del elemento alargado, para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d}{4} \frac{\Delta p_{\text{conducto}}}{l} \leq 0 \quad (1);$$

10

donde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cabeza de fricción}} - F_{\text{tracción}}$  cuando  $F_{\text{tracción}} < F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  cuando  $F_{\text{tracción}} > F_{\text{cabeza de fricción}}$  (2b);

$$F_{\text{cabeza de fricción}} = \frac{2Bf}{\sqrt{6(D_d - D_c)R_b^3}} + \frac{B}{2R_b^2} \quad (3a);$$

$$F_{\text{tracción}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (3b);$$

15 siendo  $F_{\text{tracción}}$  el esfuerzo de tracción predeterminado,  $F_{\text{cabeza de fricción}}$  una fuerza de fricción/repulsión en la cabeza de cable,  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado.

20

8. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el método es un método para extraer el elemento alargado (10) del conducto doblado (20), en el que el extremo del elemento alargado (10) es un extremo posterior del elemento alargado (10), extraído el último del conducto doblado (20), y en el que el esfuerzo predeterminado es un esfuerzo de empuje.

25 9. Método según la reivindicación anterior, en el que el esfuerzo de empuje predeterminado se establece con un tapón de fuga que presenta una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la fuerza de fricción/propulsión en el extremo posterior de cable provocada por la flexión del cable rígido, inicialmente recto, a través del conducto doblado, para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d \Delta p_{\text{conducto}}}{4 l} \leq 0 \quad (10);$$

donde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cola de fricción}} - F_{\text{empuje}}$  cuando  $F_{\text{empuje}} < F_{\text{cola de fricción}}$  (12a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  cuando  $F_{\text{empuje}} > F_{\text{cola de fricción}}$  (12b);

$$F_{\text{tracción}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (13);$$

5

siendo  $F_{\text{empuje}}$  el esfuerzo de empuje predeterminado,  $F_{\text{cola de fricción}}$  la fuerza de fricción/propulsión en el extremo posterior de cable,  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado.

10

10. Método según la reivindicación 8, en el que el esfuerzo de empuje predeterminado se establece con un tapón de fuga que presenta una caída de presión  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  establecida en relación con la flexión del conducto y en relación con la resistencia a la flexión del elemento alargado, para respetar la siguiente fórmula:

$$f \sqrt{W_e^2 + \frac{F_{\text{cabeza}}^2}{R_b^2}} - \frac{\pi D_c D_d \Delta p_{\text{conducto}}}{4 l} \leq 0 \quad (10);$$

15

donde:

$F_{\text{cabeza}} = F_{\text{cola de fricción}} - F_{\text{empuje}}$  cuando  $F_{\text{empuje}} < F_{\text{cola de fricción}}$  (12a);

$F_{\text{cabeza}} = 0$  Cuando  $F_{\text{empuje}} > F_{\text{cola de fricción}}$  (12b);

$$F_{\text{cola de fricción}} = \frac{2Bf}{\sqrt{6(D_d - D_c)R_b^3}} - \frac{B}{2R_b^2} \quad (13a);$$

$$F_{\text{empuje}} = \frac{\pi D_d^2}{4} \Delta p_{\text{cabeza}} \quad (13b)$$

siendo  $F_{\text{empuje}}$  el esfuerzo de empuje predeterminado,  $F_{\text{cola de fricción}}$  la fuerza de fricción/propulsión en el extremo posterior de cable,  $D_d$  el diámetro interno del conducto doblado,  $D_c$  el diámetro del elemento alargado,  $l$  la longitud del conducto doblado,  $\Delta p_{\text{conducto}}$  la caída de presión sobre la longitud total del conducto,  $W_e$  el peso efectivo del elemento alargado (en el líquido) por unidad de longitud,  $f$  el coeficiente de fricción entre el elemento alargado y el conducto doblado,  $\Delta p_{\text{cabeza}}$  la caída de presión en el tapón de fuga,  $B$  la rigidez del elemento alargado y  $R_b$  el radio de flexión del conducto doblado.

- 5
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa que consiste en trenzar helicoidalmente el conducto doblado (20) con un cable u otro conducto para formar un elemento trenzado, antes de introducir el elemento alargado (10) en el conducto doblado (20).
- 10
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa que consiste en enrollar el conducto doblado (20) en un tambor para doblarlo sobre su longitud, antes de introducir el elemento alargado (10) en el conducto doblado (20).
- 15
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa inicial que consiste en doblar el conducto doblado (20) al menos  $5^\circ$  por metro de conducto doblado (20) y preferiblemente al menos  $20^\circ$  por metro de conducto doblado (20).

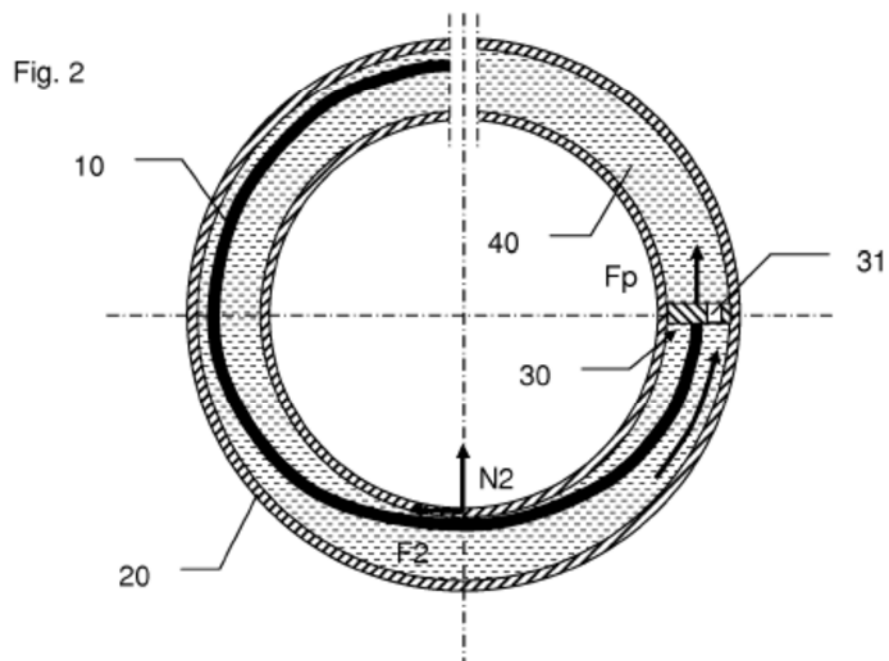
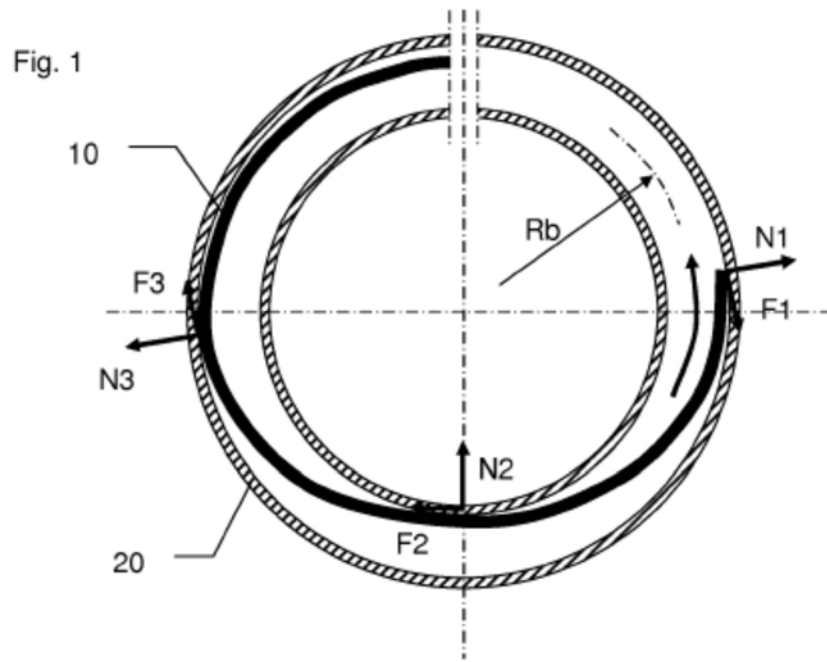


Fig. 3

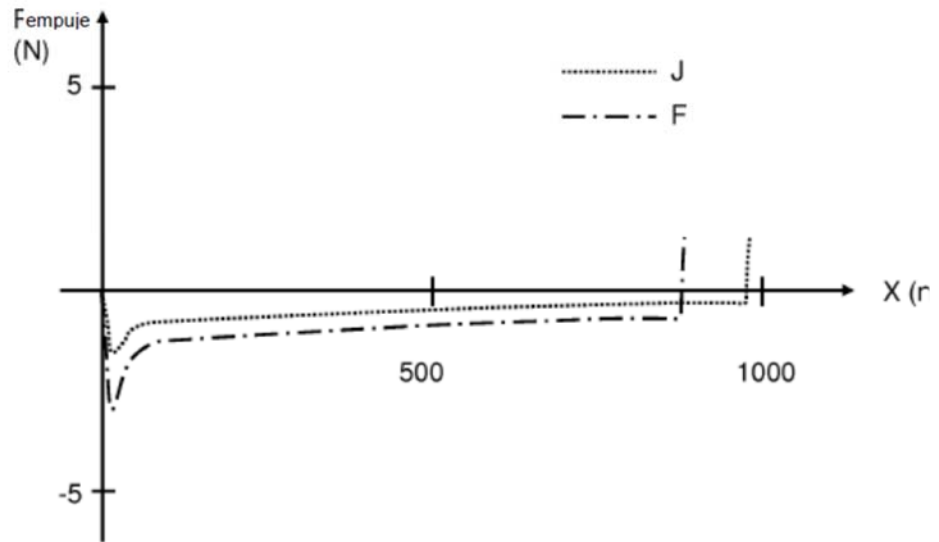


Fig. 4

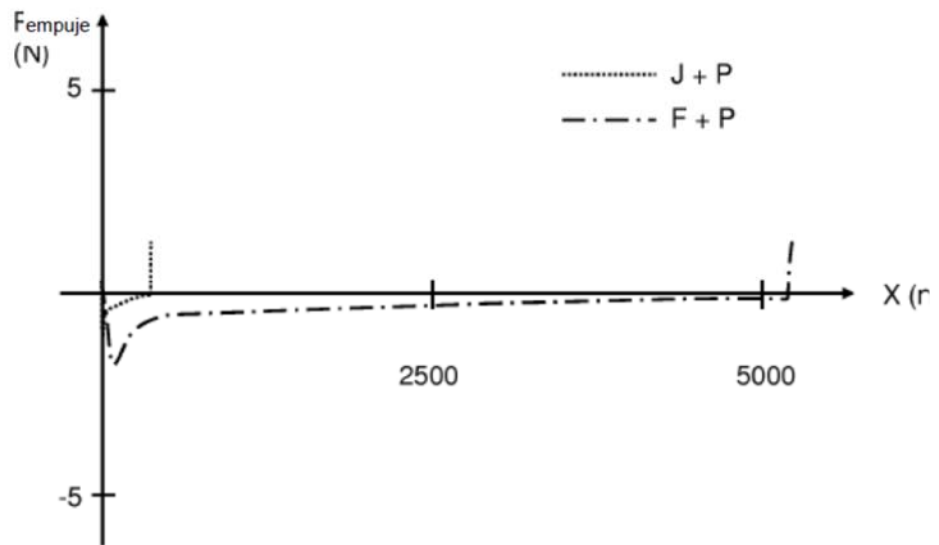


Fig. 5

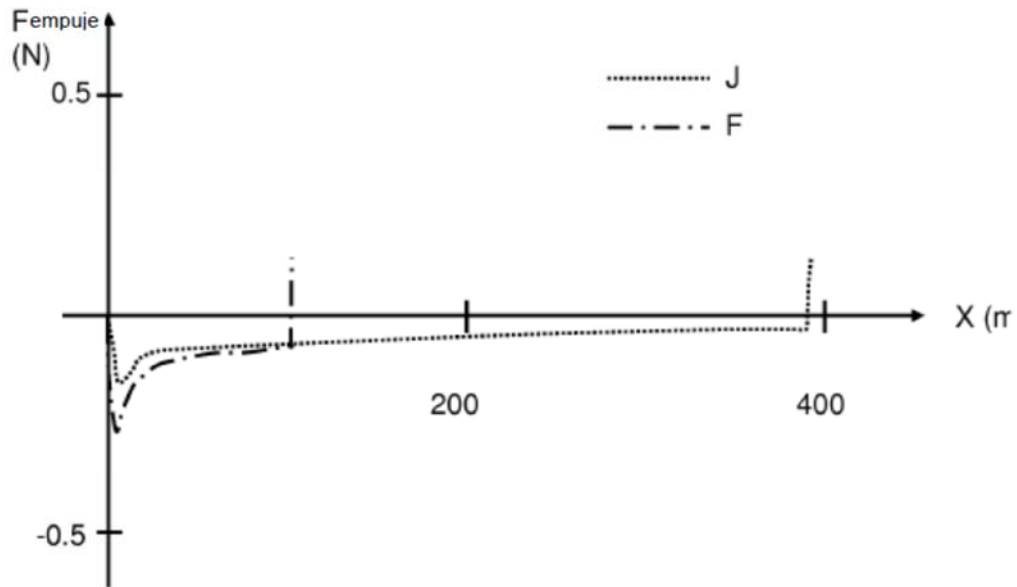


Fig. 6

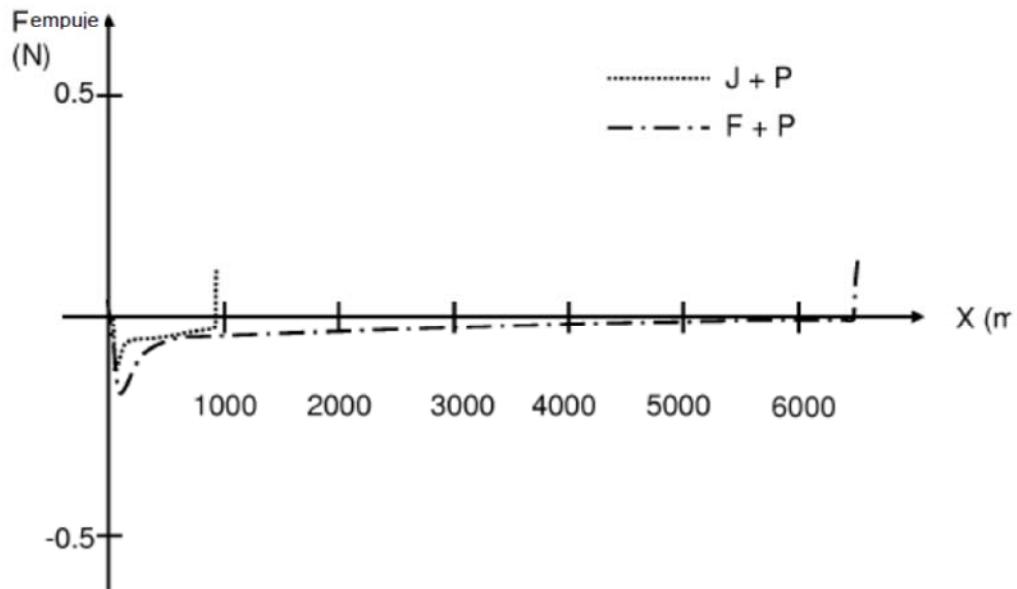


Fig. 7a

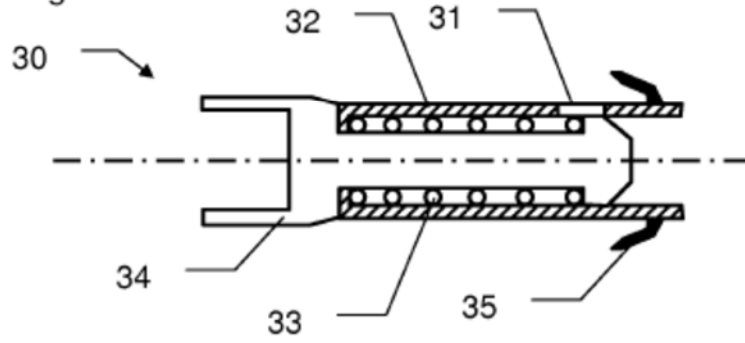


Fig. 7b

