

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 956 022**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 9/52</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/08</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/16</b>	(2006.01)		
<b>C21D 1/20</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/58</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/22</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/64</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/06</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/32</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/40</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2011 E 19166357 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2023 EP 3527677**

54 Título: **Alambre preformado de acero con elevadas propiedades mecánicas resistente a la fragilización por hidrógeno**

30 Prioridad:

**31.05.2010 FR 1002286**

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

**11.12.2023**

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL WIRE FRANCE (100.0%)  
25 Avenue de Lyon, BP 96  
01000 Bourg en Bresse, FR**

72 Inventor/es:

**FOISSEY, SYLVAIN;  
BERTOUT, CHRISTOPHE y  
PERROUD, XAVIER**

74 Agente/Representante:

**PONTI & PARTNERS, S.L.P.**

**ES 2 956 022 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

Alambre preformado de acero con elevadas propiedades mecánicas resistente a la fragilización por hidrógeno

5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de la metalurgia dedicada a la explotación petrolera marítima. Más concretamente, se refiere a alambres de acero que se pueden usar como elementos de refuerzo o de estructura de componentes o de obras sumergidas en aguas profundas, como los conductos off-shore flexibles.

10 **[0002]** Se sabe que un requisito primordial para los alambres de este tipo es, además de unas características mecánicas elevadas, una buena resistencia a la fragilización por hidrógeno en un entorno de ácido sulfuroso, en particular en forma de H<sub>2</sub>S presente en los fluidos e hidrocarburos transportados.

**[0003]** Recordemos que esta resistencia es objeto de las normas NACE y API, en concreto:

- 15 - la norma NACE TM 0284 para el comportamiento frente a la fisuración por hidrógeno o "HIC" (Hydrogen Induced Cracking) en agua de mar saturada de ácido H<sub>2</sub>S;
- la norma NACE TM 0177 de resistencia al agrietamiento por tensión por H<sub>2</sub>S, o "SSCC" (Sulfide Stress Corrosion Cracking) en medio ácido. Los alambres preformados, en el uso aquí considerado, actualmente deben imperativamente cumplir las mismas de cara a unas condiciones de explotación cada vez más difíciles (gran
- 20 profundidad);
- y la norma API 17J (Specifications for unbonded flexible pipes) para la evaluación de los comportamientos frente a HIC y SSCC con base en un ensayo bajo tensión en medio ácido.

25 **[0004]** Estos alambres pueden tener una sección recta redonda, obtenida por simple trefilado a partir de alambres de mayor diámetro. También pueden, después del trefilado, laminado o trefilado seguido de laminado, tener una sección aplanada, o estar preformados en U, en Z, en T, etc. de forma que se pueden encajar por los bordes unos con otros, o grapar para formar capas de armadura articuladas.

30 **[0005]** En la actualidad, la gama de alambres de acero de calidad NACE disponibles para su uso en aplicaciones offshore consiste principalmente en calidades de acero de baja aleación con resistencias últimas a la tracción (R<sub>m</sub>) de unos 900 MPa tras el temple y revenido, entre otros.

35 **[0006]** Para fabricar estos alambres preformados, se usan generalmente, de forma conocida, aceros al carbono-manganeso con el 0,15-0,80 % de C (en peso), de estructura inicial perlito-ferrítica. Tradicionalmente, tras dar forma al alambre laminado redondo inicial, se le aplica un tratamiento térmico de relajación adecuado para obtener la dureza requerida. Es por este nivel de dureza por lo que se respetan los criterios nominales de uso, por ejemplo, la norma ISO 15156 estipula que estos tipos de acero al Mn presentan un comportamiento bajo tensión en medio H<sub>2</sub>S adecuada para el uso como "alambre preformado" del presente documento, si la dureza del alambre es inferior o igual a 22 HRC.

40 **[0007]** No obstante, los alambres preformados obtenidos por los procedimientos tradicionales tienen la reputación de ser difícilmente capaces de soportar las condiciones de acidez relativamente severas que se presentan en aguas profundas, las previstas por la norma NACE TM 0177 con la disolución A (pH de 2,7 a 4) en este caso, debidas a una elevada presencia de H<sub>2</sub>S en el hidrocarburo transportado, y mucho más si los niveles de dureza

45 previstos son superiores a 28 HRC (más de 900 MPa).

**[0008]** De hecho, esta es sin duda la razón por la que el documento PCT/FR91/00328 publicado en 1991 describe un procedimiento termomecánico de producción de un alambre preformado de estructura perlito-ferrítica que contiene entre el 0,25 y 0,8 % de carbono y que cumple las normas NACE TM 0177 y TM 0284 con la disolución B

50 (pH de 4,8 a 5,4), pero a costa de un revenido final de relajación de tensiones mecánicas producidas por la deformación en frío del metal que disminuye la resistencia mecánica a la rotura (R<sub>m</sub>) hasta 850 MPa aproximadamente.

**[0009]** El documento FR-B-2731371 publicado en 1996 se refiere también a la realización de alambres preformados, de acero al carbono, para el refuerzo de conductos flexibles off-shore cuyo comportamiento en medio

55 ácido con H<sub>2</sub>S se investiga en gran medida a partir de los conocimientos generales sobre la influencia de las microestructuras del acero sobre su resistencia a la fragilización por hidrógeno. El alambre preformado propuesto en este documento, que contiene del 0,05 al 0,8 % de C y del 0,4 al 1,5 % de Mn se ha sometido, tras darle forma (trefilado o trefilado-laminado), a un temple seguido de un revenido al final. La estructura metálica obtenida es básicamente un revenido martensita-bainita. Se obtendrían así alambres preformados listos para su uso que presentan buenas

60 características mecánicas, es decir, una R<sub>m</sub> de aproximadamente 1050 MPa (por tanto, para que un acero templado-revenido alcance niveles de dureza tan elevados como 35 HRC, pero constatada industrialmente, de hecho, más bien de aproximadamente 820 MPa) y que pueden, por consiguiente, situarse claramente por delante de los recomendados por la norma ISO 15156, y resistentes a medios muy ácidos (pH cercano a 3). Cabe precisar que, en ausencia de

65 revenido final, se puede obtener un alambre con una dureza superior que presenta características mecánicas aún mejores, pero, sin embargo, con una claramente menor resistencia química a los medios ácidos.

**[0010]** De hecho, las características de muy alto nivel de estos alambres sólo deben cumplirse en un número limitado de aplicaciones.

5 **[0011]** Según la calidad NACE, un comportamiento de conformidad con la norma API 17J anteriormente mencionada, con una presión parcial de H<sub>2</sub>S que puede alcanzar 0,1 bar y con un pH de 3,5 a 5, sería de hecho suficiente para cubrir lo esencial de las necesidades efectivas, mientras que los alambres preformados fabricados mediante el procedimiento según el documento anteriormente indicado presentan un comportamiento digamos sobrecualificado, porque responden a las elevadas exigencias de las normas TM 0177 y TM 0284 establecidas con la  
10 disolución A que tiene un pH de aproximadamente 3.

**[0012]** Además, se ha demostrado que los alambres preformados habituales del mercado, de estructura perlito-ferrítica sin tratamiento térmico final no son, la mayoría de las veces, adecuados para satisfacer las exigencias NACE, incluso moderadas.

15 **[0013]** Por añadidura, puesto que los conductos off-shore flexibles deben servir para profundidades de inmersión cada vez mayores, existe ya de hecho la necesidad de una resistencia todavía mayor de algunas centenas de MPa para lograr, digamos, resistencias del orden de 1300 MPa o incluso más sin afectar, sin embargo, a la calidad NACE; no obstante, es necesario recordar que la fragilización del acero por corrosión por hidrógeno y las  
20 características mecánicas son propiedades opuestas: querer mejorar una va en detrimento de la otra y viceversa.

**[0014]** Además, la presión del mercado sobre los precios es cada vez mayor, lo que impide, por consiguiente, el recurso habitual a elementos de aleación nobles, como el cromo, el niobio, etc., o a etapas de tratamiento largas o múltiples y, por tanto, costosas, sobre todo si deben realizarse en caliente.

25 **[0015]** A este respecto, cabe destacar, en concreto, las enseñanzas del documento JP 59001631 A de 1984 (DATA BASE WPI Week 198407 Thomsom Scientific, Londres, GB; AN 1984-039733) que recomienda un tratamiento final de restauración del alambre de larga duración, en forma de un recocido que dura varias horas.

30 **[0016]** Igualmente, el procedimiento descrito en el documento EP 1 063 313 A1 impone tasas de deformación en frío del alambre muy elevadas, de aproximadamente el 85 %, para lograr por trefilado el diámetro final deseado.

**[0017]** Cabe destacar, además, la existencia del documento EP 1 273 670 sobre la fabricación de tornillos de acero, cuyas enseñanzas subrayan la ventaja que se puede lograr sobre el comportamiento frente a la corrosión bajo  
35 tensión de tornillos perlíticos.

**[0018]** Los documentos JP H11 256274 A, JP 2001 271138 A, JP 2004 307929 A y JP 2008 261027 A revelan ejemplos de alambres de acero.

40 **[0019]** El documento US 5 407 744 revela un procedimiento de fabricación de un alambre de acero que presenta únicamente una resistencia R<sub>m</sub> entre 850 MPa y 1200 MPa, en ausencia de adición de dispersoides.

**[0020]** La invención se propone aquí lograr un equilibrio óptimo entre un necesario buen comportamiento frente a la fragilización en húmedo por hidrógeno en las condiciones de uso del alambre preformado y una resistencia  
45 mecánica mayor que la de aquel y en el contexto de una producción industrial que permitirá presentar el alambre en el mercado con condiciones económicas atractivas.

**[0021]** Para este propósito, el objeto de la invención es un alambre preformado según la reivindicación 1.

50 **[0022]** El alambre preformado puede comprender también las características de la reivindicación 2.

**[0023]** También se describe un alambre preformado de acero al carbono de baja aleación con elevadas propiedades mecánicas y resistencia a la fragilización por hidrógeno, cuyo uso está previsto en el sector de la explotación petrolífera en alta mar, caracterizado porque tiene la siguiente composición química, expresada en  
55 porcentajes en peso de la masa total,

$$0,75 < C \% < 0,95$$

y  
60

$$0,30 < Mn \% < 0,85$$

con Cr ≤ 0,4 %; V ≤ 0,16 %; Si ≤ 1,40 % y preferiblemente ≥ 0,15 %;  
y, eventualmente, no más del 0,06 % de Al, no más del 0,1 % de Ni y no más del 0,1 % de Cu, siendo el resto

hierro y las inevitables impurezas que provienen del trabajo del metal en estado líquido; y en que, partiendo de un alambón, laminado en caliente en su gama austenítica por encima de 900 °C y enfriado a continuación a temperatura ambiente, y teniendo entonces un diámetro de aproximadamente 5 a 30 mm, el alambre preformado se obtiene sometiendo dicho alambón de partida en primer lugar a un tratamiento termomecánico en dos etapas sucesivas y ordenadas, a saber, un temple isotérmico (clásicamente patentado al plomo) que le confiere una microestructura perlítica homogénea, seguido de una operación de transformación mecánica en frío (trefilado, o trefilado + laminado) efectuada con una relación de deformación-endurecimiento global comprendida entre aproximadamente el 50 y el 80 % como máximo (y, si es posible, preferentemente en torno al 60 %) para dar al alambre su forma definitiva, y en la que el alambre preformado así obtenido se somete a continuación a un tratamiento térmico de restauración corto (preferentemente de menos de un minuto) efectuado por debajo de la temperatura Ac1 del acero del que está hecho (preferentemente entre 410 y 710 °C), que le confiere las características mecánicas deseadas.

**[0024]** La invención, que se acaba de definir anteriormente, se basa en el tríptico: "tipo de acero - tratamiento - aplicación" y se puede ver como una optimización de los conocimientos adquiridos por el solicitante en el ámbito de la metalurgia de los alambres de acero destinados a ser usados en alta mar.

**[0025]** Más explícitamente, este tríptico se detalla a continuación:

- 20 - un tipo de acero simplificado, concretamente un acero al carbono (al menos del 0,75 %) y al manganeso, que constituye lo contrario a los contenidos en carbono bastante más bajos habitualmente presentados, y sin adición de elementos de temple, pero preferiblemente aleado con elementos dispersos, como el vanadio y el cromo, para obtener una distribución homogénea de finos carburos en toda la matriz metálica;
- 25 - este tipo es producido a partir de un alambón laminado en caliente y, después, enfriado a temperatura ambiente (por tanto, de estructura ferrito-perlítica ordinaria procedente de la austenita del laminado en caliente), pero cuyo diámetro (entre 5 y 30 mm aproximadamente) es más pequeño respecto a la práctica habitual. Esta disposición permitirá su transformación en alambre preformado final listo para su uso mediante operaciones de mecanizado suaves, es decir, sin una deformación en frío demasiado marcada hasta el núcleo que podría crear zonas de heterogeneidad, precisando que es, por supuesto, el operario encargado del procedimiento de fabricación el que debe ajustar los parámetros de funcionamiento (configuración de los parámetros operacionales, elección de matrices y de acanaladuras de los cilindros de laminado) para limitar las deformaciones en frío locales en el núcleo del alambre.

**[0026]** La microestructura que se debe crear mediante el temple isoterma es la perlita. Siendo fácil de obtener industrialmente, la perlita garantizará una estructura metalúrgica lo más homogénea posible en toda la masa del alambre obtenido y será adecuada para experimentar las deformaciones producidas por trefilado y/o laminado.

- 40 - este alambre es un alambón, plano, aplanado o perfilado, destinado a la explotación petrolera "«off-shore" para constituir alambre de armadura, de abrazadera o de bóveda que forma parte de la estructura de las pipe-lines y otros conductos flexibles. Como se sabe, los alambres preformados de acero se sitúan en las pipe-lines entre dos capas de polímeros extruidos, en una zona denominada «anular». Ahora se conocen mejor las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en esta zona cuando se utiliza la manguera. Dependen de la naturaleza del efluente dentro del tubo flexible (hidrocarburos líquidos o gaseosos) y de la estructura de las diferentes capas del tubo flexible. En concreto, el pH es más elevado de lo que se pensaba en los años 1990/2000 (más bien de aproximadamente 5,5 en vez de 4).

**[0027]** La invención encuentra así su motivo principal en el descubrimiento de estas nuevas condiciones menos drásticas que hay que satisfacer en la zona anular, que posibilitan el uso de alambre preformado de mayor resistencia mecánica.

**[0028]** En otras palabras, la calidad NACE de hoy en día se puede expresar de forma totalmente válida a través de los resultados de ensayos menos severos que los previstos por la norma API (el solicitante ha debido, por tanto, adaptar las condiciones de ensayo respecto a la norma API, concretamente el pH, para adaptarse a la solicitud). Por ejemplo, la calidad NACE podrá ser reconocida a un alambre de acero que haya resistido sin rotura ni fisuración interna un mes bajo una tensión continua del 90 % del Re en una disolución acuosa que tenga un pH de entre 5 y 6,5 y sometida al burbujeo de un gas que contenga CO<sub>2</sub> y algunos milibares de H<sub>2</sub>S.

**[0029]** La invención se comprenderá del todo y otros aspectos y ventajas serán más claros en vista de la descripción siguiente, proporcionada a modo de ejemplo.

**[0030]** La tabla I, en la última página de esta descripción, muestra siete ejemplos de composiciones químicas de tonos, identificados en la primera columna por la nomenclatura propia del solicitante.

**[0031]** Consideraremos ahora en detalle un ejemplo de composición, no cubierto por la invención, tomado del grado de acero C88 (penúltima fila de la tabla I), en el que los componentes presentes tienen los siguientes contenidos

## ES 2 956 022 T3

precisos en peso: C: 0,861 %, Mn: 0,644 %, P: 0,012 %, S: 0,003 %, Si: 0,303 %, Al: 0,47 %, Ni: 0,015 %, Cr: 0,032 %, Cu: 0,006 %, Mo: 0,003 %, y V:0,065 %.

5 **[0032]** A partir de un alambón redondo de 12 mm de diámetro, de esta composición, se realiza un alambre final listo para su uso de forma aplanada de 9 mm x 4 mm según las operaciones sucesivas siguientes.

10 **[0033]** Se indica de antemano que, según la invención, no se superarán los 30 mm de diámetro para el alambón de partida en frío, con el fin de que no se produzca deformación en caliente del núcleo del alambre de forma marcada durante el trefilado posterior llevado a cabo con una tasa de deformación en caliente global que no supera el 80 % para lograr el diámetro final deseado del alambre preformado listo para su uso.

15 **[0034]** El alambón es un alambre de acero laminado en caliente, es decir, en su dominio austenítico (tradicionalmente por encima de 900 °C), que se enfría a continuación rápidamente en el calor de laminado antes de ser enrollado en bobina para acabar de enfriarse hasta la temperatura ambiente en una zona de almacenamiento en espera de la entrega al cliente.

20 **[0035]** Una vez entregado al transformador, este alambón de partida, que se desenrolla de su bobina, experimenta en primer lugar, desde temperatura ambiente, un temple isoterma. Generalmente, se tratará de un patentado a temperatura constante en torno a 520-600 °C mediante el paso por un baño de plomo fundido, antes de su enfriamiento. Este patentado confiere al alambre de acero una microestructura perlítica, con posibles trazas de ferrita, pero sin bainita ni martensita, y que conservará hasta el final.

25 **[0036]** A continuación el alambre es trefilado (redondo o ya aplanado) de forma «suave», es decir, como ya se ha indicado anteriormente, de forma que se limita al máximo el nivel de tensiones en el núcleo que la deformación en caliente del metal provocará. La razón de esto es que conviene limitar el daño de la microestructura en el núcleo, daño que crearía sitios favorables para una acumulación preferente del hidrógeno. El alambre podrá experimentar entonces un laminado en frío para alcanzar las cotas finales, estando especificado que la tasa de deformación en caliente global (trefilado + laminado) se situará entre el 50 y 80 % como máximo y, si es posible, preferiblemente en el 60 %.

30 **[0037]** El alambre intermedio así obtenido presenta una Rm de 1900 MPa aproximadamente.

35 **[0038]** Solo falta ablandarlo para facilitar darle la forma posterior y dotarle de sus propiedades de resistencia a la fragilización por hidrógeno, algo alteradas por la deformación en caliente. Con este fin, un simple tratamiento térmico final de restauración rápida, por tanto a una temperatura inferior a su valor de Ac1 (es decir, entre 410 y 710 °C para el conjunto de la gama de tipos de acero usados) y durante menos de un minuto, le conferirá la Rm final deseada, cuyo valor exacto dependerá, por supuesto, de las condiciones de trabajo de este tratamiento de restauración.

40 **[0039]** A este respecto, la tabla II posterior proporciona las características mecánicas finales obtenidas para un alambre preformado que ha seguido un tratamiento térmico rápido de restauración en las condiciones de trabajo siguientes, indicadas en las líneas A a E: periodo de duración 5 segundos a una temperatura inferior a la temperatura Ac1 del tipo de acero considerado y proporcionada en la segunda columna de la tabla, con enfriamiento brusco en agua.

45 **[0040]** Las otras columnas indican respectivamente el límite de rotura medio Rm, el límite elástico medio Re, la tasa media de alargamiento a la rotura A % del alambre tratado resultante de las operaciones termomecánicas aplicadas y la proporción Re/Rm.

50 **[0041]** Se observará, como era de esperar, que el Rm y el Re disminuyen de forma regular cuando la temperatura de restauración aumenta (líneas que van de A a E). La proporción Re/Rm permanece constante y la tasa de alargamiento A % aumenta en el mismo sentido.

Tab. II

	Temp. de restauración (°C)	Rm media (MPa)	Re media (MPa)	A % media	Re/Rm
A	410	1920	1730	9,6	0,90
B	500	1760	1530	9,7	0,86
C	600	1550	1360	11,0	0,87
D	635	1480	1280	12,0	0,86
E	675	1380	1190	11,6	0,86

55 **[0042]** Los ensayos NACE, según el tipo HIC (Hydrogen Induced Cracking) y SSC (Sulfide Stress Cracking),

## ES 2 956 022 T3

se han llevado a cabo en cada uno de los alambres obtenidos después de estos tratamientos de restauración diferentes. Los datos y resultados se indican en la tabla III posterior.

**[0043]** Se observa que todas las muestras analizadas responden positivamente a los ensayos: después de 5 controles con ultrasonidos, no se observan fisuras internas de tipo blíster, que se traducirían en una fragilización por corrosión por hidrógeno.

**Tab. III**

10

	Rm (en MPa)	Tipo ensayo NACE	Duración (en días)	H <sub>2</sub> S%	pH	Tensión aplicada en SSC	Resultados en US
<b>A</b>	1920	HIC + SSC	30	0,1	5,8	90 % Re	Nada que señalar
<b>B</b>	1760	HIC + SSC	30	0,1	5,8	90 % Re	Nada que señalar
<b>C</b>	1550	HIC + SSC	30	0,22	5,6	90 % Re	Nada que señalar
<b>D</b>	1480	HIC + SSC	30	0,22	5,6	90 % Re	Nada que señalar
<b>E</b>	1380	HIC + SSC	30	0,22	5,6	90 % Re	Nada que señalar

**[0044]** Se sobreentiende que la invención no se limita a los ejemplos descritos, sino que abarca múltiples variantes y equivalentes en la medida en que se respete su definición, la cual proporcionan las reivindicaciones 15 adjuntas.

**Tab. I**

Código del tipo	C %		Mn %		P %		S %		Si %		Al %		Ni %		Cr %		Cu %		Mo %		V %		B %		N2 %		
	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	
C78 D2	0,75	0,80	0,50	0,70	0,02		0,02	0,15	0,30	0,02	0,06		0,08		0,10		0,08		0,02								0,007
C82D2	0,80	0,85	0,50	0,70	0,02		0,02	0,15	0,30	0,02	0,06		0,08		0,10		0,10		0,02								0,007
C82 (no cubierto por la invención)	0,77	0,85	0,65	0,85									0,02	0,10					0,03	0,16							0,007
C 86 C2 B (no cubierto por la invención)	0,83	0,88	0,50	0,70	0,02		0,02	0,15	0,30		0,005		0,10		0,10		0,12		0,025			0,002	0,007				0,007
C86C2	0,82	0,88	0,65	0,85	0,02		0,02	0,15	0,30	0,02	0,06		0,10		0,10		0,10		0,02								0,007
C88 (no cubierto por la invención)	0,80	0,90	0,50	0,70	0,02		0,02	0,20	0,35	0,02	0,06		0,10		0,10		0,10		0,01	0,05	0,10						0,008
C92 (no cubierto por la invención)	0,88	0,95	0,30	0,60	0,015		0,015	1,00	1,40		0,005		0,10	0,10	0,30		0,10										0,007

**REIVINDICACIONES**

1. Alambre preformado de acero al carbono de baja aleación con elevadas propiedades mecánicas y resistencia a la fragilización por hidrógeno, alambre conformado para su uso como componente de tuberías flexibles para la industria petrolera offshore, **caracterizado porque** presenta la siguiente composición química, expresada como porcentajes en peso de la masa total,

$$0,15 \leq \text{Si}\% \leq 0,30 ;$$

$$0,02 \leq \text{Al}\% \leq 0,06 ;$$

$$\text{P}\% \leq 0,02 ;$$

$$\text{S}\% \leq 0,02 ;$$

$$\text{Cr}\% \leq 0,10 ;$$

$$\text{Mo}\% \leq 0,02 ;$$

$$\text{N}_2\% \leq 0,007 ;$$

10 y  $0,75 \leq \text{C} \% \leq 0,80$ ;  $0,50 \leq \text{Mn} \% \leq 0,70$ ;  $\text{Ni} \% \leq 0,08$ ; y  $\text{Cu} \% \leq 0,08$ ;  
o  $0,80 \leq \text{C} \% \leq 0,85$ ;  $0,50 \leq \text{Mn} \% \leq 0,70$ ;  $\text{Ni} \% \leq 0,08$ ; y  $\text{Cu} \% \leq 0,10$ ;

o también  $0,82 \leq \text{C} \% \leq 0,88$ ;  $0,65 \leq \text{Mn} \% \leq 0,85$ ;  $\text{Ni} \% \leq 0,10$ ; y  $\text{Cu} \% \leq 0,10$ ;

15 siendo el resto hierro y las inevitables impurezas procedentes de la elaboración del metal en estado líquido;  
**porque el** alambre preformado tiene una microestructura perlítica homogénea;  
y **porque el** alambre preformado tiene una resistencia a la ruptura (Rm) de al menos 1300 MPa.

2. Alambre preformado según la reivindicación 1, en el que el alambre preformado es capaz de resistir sin  
20 rotura ni agrietamiento interno durante un mes bajo una tensión continua del 90 % del límite elástico (Re) en una solución acuosa que tiene un pH entre 5 y 6,5 y sometida al burbujeo de un gas que contiene CO<sub>2</sub> y entre 0,1 % y 0,22 % de H<sub>2</sub>S.