

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 904**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/22	(2006.01)
C22C 38/24	(2006.01)
C22C 38/26	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2008 PCT/EP2008/067922**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2009 WO09080714**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2008 E 08865149 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017 EP 2231892**

54 Título: **Acero resistente a la corrosión para aplicaciones marinas**

30 Prioridad:

21.12.2007 EP 07150370

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.11.2017

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL COMMERCIAL RPS S.À R.L.
(100.0%)
66 RUE DE LUXEMBOURG
4221 ESCH SUR ALZETTE, LU**

72 Inventor/es:

FAGOT, ANNE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 642 904 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

Acero resistente a la corrosión para aplicaciones marinas

CAMPO DEL INVENTO

5 El presente invento se refiere generalmente a unos aceros resistentes a la corrosión y a unos productos hechos de tales aceros. El invento se refiere especialmente, pero no exclusivamente, a aceros resistentes a la corrosión para productos destinados a su uso en aplicaciones marinas. Estos productos incluyen, entre otros, pilotes de chapa, pilotes de soporte, paredes combinadas, etc, que en su uso se sumergen en el agua marina.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

10 Desde el comienzo de la 20ª centuria se han usado pilotes de chapa de acero en la construcción de muelles y puertos, esclusas y malecones, protección de orillas de ríos así como excavaciones en tierra y en agua y, en general, en trabajos de excavación para pilares de puentes, paredes de retención, estructuras de cimientos, etc.

15 Además de paredes lisas con pilotes de chapa, se pueden usar fácilmente pilotes de chapa como tablas de entibar entre pilotes maestros para erigir paredes combinadas (o "combi-paredes"), para la construcción de paredes profundas de muelles con alta resistencia a la flexión. Los pilotes maestros son típicamente o bien vigas de alas anchas o tubos soldados conformados en frío. Las tablas de entibar se conectan a los pilotes maestros por medio de barras de enclavamiento (conectores).

20 El diseño de una pared de pilotes de chapa y más generalmente de una combi-pared de acero se gobierna por las cargas que actúan sobre ella, que incluyen fuerzas aplicadas procedentes de sobrecargas por tierras, por agua y superficiales. El rendimiento mecánico de los elementos estructurales tales como pilotes de chapa y tubos es por lo tanto un parámetro principal.

25 Otro aspecto esencial que se ha de considerar en el diseño de una combi-pared es la durabilidad. Claramente el tiempo de vida útil de estructuras de pilotes de chapa será influenciado fuertemente por factores ambientales. Los que trabajan en un ambiente marino son conocedores de que la corrosión es uno de los más importantes factores a considerar en la vida a largo plazo de una estructura.

30 Desde luego, los cloruros encontrados en ambientes marinos estimulan el proceso de corrosión y son la razón principal de los ataques más agresivos sobre el acero. El viento y las olas se combinan para proporcionar oxígeno y humedad para una reacción electroquímica y la abrasión puede eliminar cualquier película de protección contra la herrumbre. Se puede señalar sin embargo que no todos los ambientes con sal y agua son peligrosamente agresivos para un acero, y que no todas las zonas situadas a lo largo de la altura de la estructura de pilotes son atacadas con la misma velocidad.

35 De hecho, la porción situada por el lado del mar de la pared de pilotes de chapa está expuesta a seis "zonas" - atmosférica, de chapoteo (la zona atmosférica situada justamente por encima de la marea alta), mareal, de marea baja, de inmersión y del terreno. La velocidad de corrosión en cada una de estas zonas varía considerablemente. Generalmente, la experiencia ha mostrado que los pilotes de chapa de acero en ambientes marinos costeros tienen la más alta velocidad de corrosión en las zonas de chapoteo (justamente por encima de la marea alta media) y marea baja (justamente por debajo de la marea baja media), se considera que las velocidades de corrosión en las zonas atmosférica y del terreno son despreciables en tales estructuras de pilotes.

45 Los efectos de corrosión en ambientes marinos se pueden explicar por una reserva de acero fungible y/o métodos de protección (pinturas, protección catódica). Sin embargo, una pintura de protección o capa de hormigón se puede aplicar solamente sobre las zonas no sumergidas de la estructura de acero.

50 La adición de ciertos elementos de aleación a un acero al carbono proporciona también rendimientos mejorados en algunos ambientes. En una fecha tan temprana como 1913, el trabajo experimental realizado por la industria del acero indicó que pequeñas cantidades de cobre podrían aumentar la resistencia a la corrosión atmosférica de un acero al carbono.

55 En la década de 1960, se desarrolló la denominada calidad "Marinera", y es hoy en día una bien conocida alternativa a un acero al carbono para pilotes de chapa para ambientes marinos. La norma ASTM A690 da la composición química de este acero de alta resistencia y baja aleación (HSLA, acrónimo de high strength low alloy), que contiene más altos niveles de cobre (0,08-0,11 % en peso), níquel (0,4-0,5 % en peso) y fósforo (0,08-0,11 % en peso) más altos que los típicos aceros estructurales al carbono. Unos ensayos indicaron una resistencia a la corrosión, particularmente a la corrosión por agua marina en la zona de chapoteo de estructuras marinas expuestas, sustancialmente mejorada con respecto a la de los típicos aceros estructurales al carbono.

También preocupada por la corrosión del acero en un ambiente marino, la entidad Corus UK, Ltd. presentó el 12.09.2002 una solicitud de patente, publicada como GB 2 392 919, relacionada con un acero de CrAlMo resistente a la corrosión para la producción de pilotes de chapa para aplicaciones marinas. Se divulga la siguiente composición de acero (en tantos por ciento en peso): carbono 0,05 - 0,25; silicio hasta 0,60; manganeso 0,80 - 1,70; cromo 0,75 - 1,50; molibdeno 0,20 - 0,50; aluminio 0,40 - 0,80; titanio hasta 0,05; fósforo hasta 0,045; azufre hasta 0,045; el resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales. La meta perseguida por Corus fue proporcionar un acero soldable resistente a la corrosión, que sea especialmente resistente al agua marina, y que tenga las siguientes propiedades mecánicas:

- un límite elástico mínimo de aproximadamente 355 MPa;
- una resistencia a la tracción mínima de aproximadamente 480 MPa;
- una energía de impacto Charpy absorbida mínima de 27 J a una temperatura de ensayo de 0°C.

Desafortunadamente, este acero de CrAlMo diseñado para productos de pilotes de chapa jamás fue fabricado a una escala industrial debido a ciertas dificultades iniciales afrontadas en el proceso de colada continua así como algunas insuficientes propiedades mecánicas. Además, los resultados de unos ensayos conocidos por el presente solicitante, realizados con el anterior acero, no permiten conseguir los rendimientos mecánicos alegados. En particular, el anterior acero de CrAlMo mostró una tenacidad y una ductilidad bajas.

Se puede señalar que en el pasado se han llevado a cabo una diversidad de estudios y ensayos para determinar los efectos de algunos elementos de aleación sobre las propiedades anti-corrosión de aceros de baja aleación. Mientras que en general los autores de tales estudios pudieron observar algunas tendencias en el efecto de un cierto elemento de aleación, con respecto a una zona de corrosión dada y a lo largo de un período de tiempo dado, las conclusiones fueron siempre moderadas. Junto a ello, hay muchos resultados contradictorios.

Como una regla general, ha de tenerse en cuenta que la relación entre las propiedades anti-corrosión de un acero en un ambiente marino y los elementos de aleación es considerablemente diferente con una variación del ambiente marino. Como es conocido en la especialidad técnica, el mismo efecto de un elemento de aleación sobre las propiedades anti-corrosión de un acero en las zonas de chapoteo y de inmersión puede ser claramente diferente. De hecho, un elemento de aleación dado puede mejorar la resistencia a la corrosión de un acero en una zona, pero no en otra zona, o incluso acelerar la velocidad de corrosión en esa otra zona. Además, se ha observado que mientras que un aumento en la proporción de cromo, por ejemplo, puede mejorar inicialmente la resistencia a la corrosión, después de un cierto período de tiempo se puede invertir la situación. También, pueden existir algunos efectos sinérgicos entre elementos de aleación, dependiendo tales efectos sinérgicos de las concentraciones, pero, por lo general, no variando linealmente con las concentraciones.

Otro tipo de corrosión al que pueden ser sometidas las estructuras metálicas es la denominada "corrosión galvánica". La corrosión galvánica se define como la corrosión acelerada de un metal debida a un contacto eléctrico con un metal más pasivo en un electrolito. La más alta conductividad eléctrica del agua marina facilita tal tipo de corrosión entre dos diferentes tipos de metales que se pueden encontrar en una estructura metálica. Por lo tanto, cuando se diseñen combi-paredes, se deberá tener cuidado de no conectar unos elementos estructurales de un acero al carbono con otros hechos de un acero micro-aleado.

Más recientemente, se ha llamado la atención de otra fuente de corrosión generalmente designada como corrosión influenciada microbiológicamente (MIC, acrónimo de Microbiologically Influenced Corrosion). Desde luego, últimamente se ha probado que tal tipo de corrosión localizada aparecía en la zona de marea baja en estructuras de acero en un ambiente marino. Este fenómeno es conocido como corrosión acelerada en marea baja (ALWC, acrónimo de Accelerated Low Water Corrosion) y es responsable de unas velocidades de corrosión extremadamente altas.

A partir de lo antedicho se pone de manifiesto que numerosos factores han de considerarse en la construcción de combi-paredes en ambientes marinos. Los aceros seleccionados para los diferentes elementos estructurales deben satisfacer los requeridos rendimientos mecánicos, pero al mismo tiempo es deseable que el acero tenga una mejorada resistencia a la corrosión frente al agua marina.

Aunque la adición de ciertos elementos aleación puede ser útil para mejorar la resistencia a la corrosión, ella no deberá comprometer a los rendimientos mecánicos. El aleamiento de un acero al carbono se debe de realizar cuidadosamente para conseguir la resistencia y la tenacidad deseadas, para aumentar la resistencia a la corrosión en una o más zonas, mientras que no se acelere la corrosión en las otras, y para tener en cuenta la soldabilidad y las cuestiones de costos.

En la práctica, aunque la corrosión aguda del acero en ambientes marinos ha sido una cuestión de preocupación desde los años 1950, se ha de señalar que la gran mayoría de pilotes de chapa y tubos para uso en un ambiente marino que se fabrican hoy en día están hechos de un acero al carbono simple.

5 El documento de patente japonesa JP 2007-197757 describe un acero para chapas con una mejorada resistencia a la corrosión atmosférica y por grietas. El acero se basa en una combinación de Al y Cr (en relaciones específicas), junto con una cantidad sinérgicamente efectiva de Cu.

5 El documento JP-2001-032035 concierne a un acero estructural con una específica estructura ferrítica. Se mencionan Cu, Ni y Cr como elementos que mejoran la resistencia a la corrosión en agua marina.

OBJETO DEL INVENTO

10 Un objeto del presente invento es proporcionar un acero resistente a la corrosión que proporcione especialmente una mejorada resistencia a la corrosión en agua marina y proporcione adecuados rendimientos mecánicos de los productos de acero involucrados para la construcción de combi-paredes y otras estructuras en un ambiente marino.

SUMARIO DEL INVENTO

15 El presente invento se deriva en realidad de la idea de que, para aumentar el tiempo de vida útil y simplificar el mantenimiento de estructuras de pilotes de chapa y más generalmente de combi-paredes de acero en un ambiente marino, sería deseable disponer de una única composición (química) de acero apropiada para la fabricación de los diferentes elementos estructurales. En conexión con esto se recuerda que las combi-paredes se fabrican convencionalmente a partir de tubos y pilotes de chapa que cumplen con diferentes normas, lo que implica diversos requisitos variables acerca de las composiciones químicas de los elementos estructurales.

20 Usando un mismo acero para fabricar los elementos estructurales tales como tubos o vigas, pilotes de chapa y conectadores de una combi-pared se alivian los problemas de una corrosión galvánica entre miembros estructurales conectados. Además, la corrosión progresará uniformemente a lo largo de la estructura, para las mismas zonas.

25 Todavía con respecto al mantenimiento, los presentes inventores pretendieron desarrollar una composición de acero que tuviese por lo menos una mejorada resistencia a la corrosión en la zona de inmersión. Esto se ha decidido con el fin de facilitar el mantenimiento de combi-paredes o paredes de pilotes de chapa. Desde luego, el mantenimiento de regiones sumergidas de estructuras de acero es evidentemente menos conveniente que para la zona atmosférica o de chapoteo, estando la zona sumergida siempre bajo el agua.

30 Una dificultad al desarrollar un tal acero es por lo tanto la suma de los parámetros que han de tenerse en cuenta, más el hecho de que los pilotes de chapa y los tubos proceden de diferentes rutas de fabricación, teniendo cada una sus propios/as métodos de fabricación, instalaciones y "know-how" (saber hacer), en particular con respecto a las composiciones de aceros que ellas pueden manejar. Mientras que ellos desarrollaron el presente invento, los inventores han tenido en cuenta numerosos parámetros: rendimiento mecánico (resistencia y tenacidad, microestructura); resistencia a la corrosión, especialmente al agua marina en una zona sumergida; soldabilidad; factibilidad industrial, considerando que la composición de acero debe de ser apropiada para su uso en rutas de producción para productos largos y aplanados; y no en último término, los costos.

40 De acuerdo con el presente invento, se propone un acero, que se compone de hierro y, en porcentaje en peso:
Carbono: de 0,05 a 0,20;
Silicio: de 0,15 a 0,55;
Manganeso: de 0,60 a 1,60;
Cromo: de 0,75 a 1,50;
45 Aluminio: de 0,40 a 0,80;
Niobio y/o vanadio: $0,01 \leq [\text{Nb}] + [\text{V}] \leq 0,60$;
Azufre: hasta 0,045;
Fósforo hasta 0,045; opcionalmente: hasta 0,15 % en peso de molibdeno, preferiblemente hasta 0,10 % en peso, y/o hasta 0,05 % en peso de titanio;
El resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales.

50 Se deberá de apreciar que el acero micro-aleado del invento tiene una resistencia a la corrosión, especialmente al agua marina, mejorada con respecto a la de un acero al carbono convencional, a saber que se reduce la velocidad de corrosión en la zona sumergida. Una resistencia a la corrosión aumentada en la zona de inmersión es particularmente ventajosa puesto que las regiones sumergidas no pueden ser protegidas por una pintura ni por taponamiento con hormigón.

55 Aunque no se desea estar obligado por ninguna teoría, se puede señalar que una mejorada resistencia a la corrosión resulta de una capa adherente y compacta que se forma en las zonas sumergida y de marea baja. Esta capa se enriquece en elementos de microaleación y actúa como una barrera para el oxígeno, que se requiere para que ocurra una corrosión uniforme.

ES 2 642 904 T3

Se deberá de apreciar también que la presente composición de acero tiene una mejorada resistencia a la corrosión a la MIC, especialmente a la ALWC.

5 Puesto que las combi-paredes han de ser hincadas dentro del terreno usando un martillo de impacto o un vibrohincador, los diversos componentes deberán resistir a las tensiones generadas durante la instalación. En conexión con esto, se puede apreciar que otro ventajoso aspecto del presente acero es la tenacidad y la ductilidad con un alto nivel de tensión (traducido por el alargamiento a la rotura A).

10 Esta mejorada resistencia a la corrosión no sacrifica en rendimientos mecánicos, puesto que se pueden alcanzar los siguientes rendimientos:

- un límite elástico mínimo de aproximadamente 355 Mpa para pilotes de chapa y de 400 Mpa para tubos; y
- una resistencia a la tracción mínima de aproximadamente 480 Mpa para pilotes de chapa y de 500 MPa para tubos.

15 Más aún, se puede asegurar una tenacidad a la rotura mínima de 27J a 0°C con la presente composición.

Por lo tanto, el presente acero permite fabricar pilotes de chapa (a saber pilotes maestros en U, Z o H) y conectadores que tienen por lo menos los rendimientos mecánicos de una calidad S355GP de acuerdo con la norma EN10248-1. Él también permite fabricar tubos que tienen por lo menos los rendimientos mecánicos de la calidad S420MH de la norma EN 10219-1 o la X60 de la norma API 5L.

20 Las concentraciones preferidas (en % en peso) para cada uno de los anteriores elementos de aleación son: Carbono: de 0,06 a 0,10; Silicio: de 0,16 a 0,45; Manganeso: de 0,70 a 1,20; Cromo: de 0,80 a 1,20; Aluminio de 0,40 a 0,70; Niobio y/o vanadio: $0,01 \leq [\text{Nb}] + [\text{V}] \leq 0,20$; Azufre: hasta 0,008; Fósforo: hasta 0,020,

25 Aunque no se desea estar obligado por ninguna teoría, se pueden dar algunas explicaciones acerca de algunos elementos y de sus respectivas cantidades.

30 La presente composición de acero se basa en el efecto sinérgico de Cr y Al que mejora la resistencia a la corrosión en la zona sumergida. Se cree también que estos elementos de aleación prueban ser particularmente eficientes contra la ALWC.

35 Como es sabido, el cromo contribuye a la resistencia mecánica pero se usa principalmente en el presente caso para resistir a la corrosión por agua marina. Se considera que unos niveles más altos de Cr conducen a la inversión de su efecto, y que la cantidad de Cr se ha seleccionado teniendo en cuenta a los otros elementos, especialmente al Al. Se seleccionó por lo tanto un intervalo de 0,75 a 1,5 % en peso

40 Mientras que en la mayor parte de industrias de producción de acero el aluminio se usa en pequeñas cantidades (hasta de 0,05 % en peso) con finalidades de desoxidación, el aluminio es aquí un principal elemento de aleación con cromo. El más alto intervalo seleccionado de 0,40 a 0,80 % en peso proporciona el deseado efecto sinérgico con el cromo que permite una resistencia a la corrosión por agua marina y a la biocorrosión aumentada con respecto a un acero al carbono.

45 Un contenido mínimo de carbono de 0,05 % en peso se seleccionó para asegurar una adecuada resistencia mecánica. El límite superior para el carbono se fijó en 0,20 % en peso para conseguir una mejorada soldabilidad del acero.

50 Se sabe que el manganeso es un efectivo elemento fortalecedor de soluciones sólidas. Se seleccionó un intervalo de 0,60 a 1,60 % en peso como compromiso entre la resistencia mecánica, la templabilidad y la tenacidad.

55 La adición de niobio y/o vanadio causes un endurecimiento por precipitación y un refinamiento del grano, y permite conseguir un más alto límite elástico en el estado laminado en caliente. El Nb o el V se pueden añadir a solas. El uso combinado de V y Nb en aceros con bajos contenidos de carbono (especialmente por debajo de 0,10 % en peso) reduce la cantidad de perlita y mejora la tenacidad, la ductilidad y la soldabilidad.

60 Se puede añadir opcionalmente molibdeno al presente acero. Una adición de Mo puede proporcionar una resistencia mecánica aumentada. No obstante, una cantidad demasiado alta de Mo puede ser problemática en la producción industrial de combi-paredes. Además, no se consideró que el efecto del Mo fuese particularmente eficiente con respecto al mejoramiento de la resistencia a la corrosión en la zona sumergida. Por lo tanto, la concentración de Mo deberá ser hasta de 0,15% % en peso, preferiblemente estar entre 0,001 y 0,15 % en peso y más preferiblemente no mayor que 0,10 % en peso.

Otro opcional elemento de aleación es titanio, que permite precipitar N y S. Para evitar efectos desfavorables, el

preferido límite superior para el Ti se ajusta en 0,05 % en peso, preferiblemente con un límite inferior de 0,001 % en peso.

5 En conexión con esto, para conseguir un mejorado aspecto de acabado de los productos (laminados) fabricados a partir del presente acero, el contenido de nitrógeno se controla preferiblemente para que no exceda de 0,005 % en peso, más preferiblemente de 0,004 % en peso. Esto minimiza la precipitación de nitruros de aluminio que se pueden formar durante una colada continua y puede conducir, en algunas circunstancias, a imperfecciones superficiales. Como es conocido por los expertos en la especialidad, se pueden adoptar diversas medidas técnicas para evitar/limitar tal efecto del nitrógeno, ya sea combinando el N con conocidos elementos de adición (Ti, Nb y V
10 tienen una particular afinidad para el nitrógeno), y/o adoptando apropiadas medidas técnicas durante una colada continua (p.ej. una corriente protegida, etc.).

15 El acero y los productos de acero de acuerdo con el presente invento se pueden fabricar usando técnicas convencionales de producción (horno de cuba/alto horno, oxígeno básico, u horno de arco eléctrico) y de tratamiento (p.ej. laminación en caliente, conformación en frío) de acero.

20 Se entenderá que la naturaleza y el nivel de impurezas en el acero dependerán de la ruta de producción de acero. Mientras que un acero que se origina del alto horno es bastante puro, los pilotes de chapa se fabrican con frecuencia a partir de un acero que se origina de hornos de arco eléctrico (es decir de chatarra metálica). En el último caso, unos elementos, tales como cobre, níquel o estaño, pueden estar presentes como elementos residuales en niveles relativamente altos, como es conocido por los expertos en la especialidad.

25 Para obtener una mejorada soldabilidad, el valor equivalente de carbono (CEV, acrónimo de carbon equivalent value) deberá estar preferiblemente por debajo de 0,43, siendo calculado el CEV de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}.$$

30 La composición de acero del invento permite fabricar unos aceros con una microestructura que comprende principalmente ferrita y perlita. Preferiblemente, en especial para pilotes de chapa laminados en caliente, la microestructura se compone de ferrita (fase principal) y de perlita, p.ej. en una relación de 4:1.

35 Comparado con el acero de CrAlMo descrito en el documento GB 2 392 919, el presente acero se puede fabricar realmente a escala industrial y tiene superiores rendimientos mecánicos. En particular, tiene una considerable ductilidad con alta tensión (expresado por el ensayo de alargamiento en tracción), como se requiere por los modernos métodos de diseño (basándose en el Ultimate Limit State = estado límite último). El presente inventor desarrolló un acero que tiene aumentados rendimientos mecánicos con buena resistencia a la corrosión mientras que usa Al y Cr como principales elementos de aleación, mientras que el documento GB 2 392 919 insistía en el uso de tres elementos de aleación Cr, Al y Mo, siendo añadido este último para conferir resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.

40 En particular, el presente inventor ha observado que el molibdeno no es requerido para conseguir los deseados rendimientos, conduciendo un alto contenido de molibdeno incluso a heterogeneidades en la microestructura (desarrollo de bainita) y a problemas en el tren de laminación. El uso de molibdeno también aumenta considerablemente los costos de producción.

45 El presente invento también concierne a productos de acero, productos de acero intermedios y estructuras de acero producidas a partir de los anteriores aceros. En lo que se refiere a estructuras de acero tales como combi-paredes o paredes de pilotes de chapa, todos los elementos individuales de acero se producen a partir de un acero que cae dentro de los anteriores intervalos prescritos, y preferiblemente con la misma composición (es decir sustancialmente con las mismas concentraciones para cada uno de los elementos de aleación).

50 **Ejemplos:**

Se han ensayado en el laboratorio diversas composiciones del presente acero para imitar la factibilidad de un pilote de chapa industrial. La laminación en caliente en laboratorio se llevó a cabo con muestras de acero usando parámetros de laminación usuales usados en la instalación (temperatura, reducción).

55 Se produjeron en el laboratorio unas muestras que tenían una composición de acero como se enumera en la Tabla 1 (siendo el resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales) presentada más abajo. Los rendimientos mecánicos de estas muestras se ensayaron luego con el fin de ser comparados con los requisitos de la norma. Las muestras B119, B121 y B123 se sometieron a una laminación en caliente de pilotes de chapa en laboratorio. La muestra B125 se sometió a una laminación que simulaba la producción de chapa de acero.

Tabla 1

Muestra	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S	Nb	CEV
	% en peso								
B119	0,074	0,76	0,22	0,96	0,55	0,02	0,014	0,022	0,39
B121	0,077	0,76	0,23	0,95	0,54	0,02	0,014	0,070	0,39
B123	0,077	0,74	0,47	0,96	0,55	0,021	0,014	0,024	0,39
B125	0,079	0,78	0,25	0,97	0,58	0,02	0,008	0,024	0,39

5 La Tabla 2 a su vez da los rendimientos mecánicos resultantes de las muestras ensayadas, así como los valores prescritos por unas normas relevantes (las normas actuales no prescriben valores de la resistencia al impacto). Como puede observarse, las muestras B119, B121 y B123 tienen unos respectivos valores del límite elástico (Rp0,2), de la resistencia a la tracción (TS), y del alargamiento que superan a los prescritos para una calidad S355GP de la norma Europea para pilotes de chapa.

10 La muestra B125, que representa a un tubo de acero en el ensayo, también exhibe unas propiedades mecánicas que superan a las calidades X60 y S420MH (con un espesor de pared comprendido entre 16 y 40 mm) para tubos soldados de acero. Se puede señalar que, para todas las muestras, la ductilidad, indicada por el alargamiento A, está notablemente por encima del valor prescrito.

15 Tabla 2

Muestra (o norma)	Ensayos de tracción Charpy a 0°C			
	Rp _{0,2} Mpa	TS Mpa	Alargamiento A5 %	Energía de impacto J
EN 10248 - 1 S355GP	min. 355	min. 480	min. 22	/
B119	425	501	30,5	216
B121	488	550	26,6	207
B123	438	525	29,6	216
B125	449	576	26,6	
API 5L X60	min. 414	min. 517	min. 19	
EN 10219-1 S420MH 16<T<40 mm	min. 400	min. 500-600	min. 19	

Pruebas industriales

20 Se llevaron a cabo también ensayos a nivel industrial, tanto para pilotes de chapa como para tubos. Se informan aquí más abajo dos pruebas para pilotes de chapa bajo las referencias AZ18 y AZ26. Se produjeron palanquillas por colada continua. Unos pilotes de chapa con perfil en Z (AZ18 y AZ26) se laminaron luego en caliente a partir de las palanquillas obtenidas en un tren de laminación en caliente a escala industrial. Los análisis de aceros en los productos se informan en la Tabla 3 más abajo (siendo el resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales).

25 Tabla 3

Muestra	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S	Nb
	% en peso							
AZ18	0,074	0,896	0,447	0,926	0,547	0,010	0,002	0,036
AZ26	0,081	0,890	0,433	0,879	0,551	0,013	<0,003	0,038

30 Los rendimientos mecánicos de estos pilotes de chapa se resumen en la Tabla 4 (límite elástico - ReH, resistencia a la tracción - Rm, y alargamiento - A5d) más abajo, en donde "e" indica el espesor del alma. Para cada uno de los pilotes de chapa, se han ensayado dos muestras procedentes del alma y de un ala. Para el ensayo de resiliencia, varias muestras se han sacado y ensayado a 0 y -20°C, siendo indicado el valor medio en la última columna.

Tabla 4

Muestra	e (mm)	Ensayos de tracción			Tenacidad a la rotura	
		ReH Mpa	Rm Mpa	Alargamiento A5 %	Temperatura °C	Energía media de impacto J
AZ18a (ala)	9,5	467	526	28,4	0 -20	215 207
AZ18b (alma)	9,5	481	530	25,3	0 -20	218 202
AZ18c (ala)	9,5	461	517	27,7	0 -20	213 199
AZ18d (alma)	9,5	499	552	25,1	0 -20	229 204
AZ26a (alma)	12,2	459	520	26,0	0 -20	311 288
AZ26a (ala)	12,2	417	501	28,5	0 -20	304 287
AZ26b (alma)	12,2	433	515	26,3	0 -20	321 260
AZ26b (ala)	12,2	419	496	27,0	0 -20	313 269

Como se puede ver, estos pilotes de chapa son, en términos de rendimientos mecánicos, sustancialmente superiores a los requisitos de S355GP (EN 10248 - 1).

5

Como es conocido en la especialidad, los tubos soldados se fabrican a partir de bobinas de acero. Unas bobinas que tienen la composición de acero de la tabla 5 (siendo el resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales) se han fabricado en condiciones industriales convencionales de productos planos (colada continua y laminación en caliente), y se han sometido a ensayos de tracción y tenacidad a la rotura; los resultados se informan en la tabla 6 (siendo "e" el espesor de la lámina). Aunque las muestras se toman de bobinas y no a partir de un tubo soldado, se reconoce generalmente en la especialidad que tales ensayos proporcionan no obstante una buena indicación del rendimiento mecánico de un tubo soldado, siendo ligeramente inferiores (unos pocos MPa) el límite elástico y la resistencia a la tracción del tubo soldado.

10

Tabla 5

15

Muestra	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S	Nb
	% en peso							
C1	0,076	0,885	0,456	0,944	0,600	0,001	0,002	0,038
C2	0,076	0,894	0,463	0,947	0,564	0,011	0,002	0,038

Tabla 6

Muestra	e (mm)	Ensayos de tracción			Tenacidad a la rotura	
		ReH Mpa	Rm Mpa	Alargamiento A50 %	Temperatura °C	Energía media de impacto J
1Bobina 1	14	495	602	29	-10	128
Bobina 2	14	487	579	33	-10	163

De nuevo, los valores son claramente superiores a los requisitos de S420MH (EN 10219-1) o X60, los valores de la tenacidad a la rotura obtenidos se dan como información.

20

Finalmente, unos conectadores de tipo C9 se han producido a escala industrial a partir de tochos con una composición de acero como se indica en la tabla 7 (el resto Fe e impurezas incidentales y/o residuales) y se sometieron a pruebas mecánicas, que se informan en la tabla 8 más abajo.

25

Tabla 7

Muestra	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S	Nb
	% en peso							
C9- (colada)	0,078	0,89	0,46	0,95	0,6	0,01	0,002	0,038

Tabla 8

Muestra	Ensayos de tracción			Tenacidad a la rotura	
	ReH Mpa	Rm Mpa	Alargamiento A5 %	Temperatura °C	Energía media de impacto J
C9-1	434	515	26,7	0	262
C9-2	416	512	27,2	0	259
C9-3	425	514	27,5	0	280

Pruebas de corrosión

Unos ensayos de corrosión inicial en laboratorio usando la simulación de una corrosión acelerada indicaron para todas las muestras una resistencia a la corrosión por agua marina mejorada comparada con la de un acero al carbono convencional.

Otras pruebas de laboratorio se llevaron a cabo con el fin de simular la corrosión en un ambiente marino en estructuras de pilotes. Unas muestras de acero fueron expuestas a un ambiente libre de bacterias, así como a una bacteria uno (conocida por estar implicada en una corrosión acelerada de acero) durante 15 semanas. Los parámetros de ensayo se seleccionaron para una corrosión acelerada con el fin de observar el comportamiento relativo de la presente calidad de acero en comparación con un tradicional acero al carbono para pilotes así como con el conocido acero de calidad marina del documento GB 2 392 919. Estos ensayos revelaron que el presente acero pone de manifiesto, en ambos ambientes, un patrón de corrosión comparable con el del acero de calidad marina del documento GB 2 392 919, exhibiendo ambos una resistencia a la corrosión mejorada con respecto a la de un acero al carbono.

En aras de la compleción, unas muestras de acero producidas a partir del presente acero fueron expuestas en un ambiente portuario a los niveles de marea baja y de inmersión. Después de una exposición durante 8 meses, las mediciones de la pérdida de masa confirmaron una resistencia a la corrosión del presente acero mejorada comparada con la de un convencional acero al carbono.

A partir de los anteriores experimentos se pone de manifiesto que el presente acero permite la fabricación de los diversos componentes requeridos para una combi-pared, a saber pilotes de chapa, tubos y conectadores que exhiben rendimientos mecánicos superiores a los prescritos por las relevantes normas y tienen una mejorada resistencia a la corrosión en un ambiente marino.

En los anteriores ejemplos, se han producido satisfactoriamente pilotes de chapa y tubos a partir de la misma tanda colada y por lo tanto tienen una composición química sustancialmente idéntica. Esto evitará efectos de corrosión galvánica cuando ellos se usan juntos en una pared.

REIVINDICACIONES

1. Un acero para aplicaciones marinas, que se compone, en porcentaje en peso, de:
 Carbono: de 0,05 a 0,20;
 Silicio: de 0,15 a 0,55;
 5 Manganeseo: de 0,60 a 1,60;
 Cromo: de 0,75 a 1,50;
 Aluminio: de 0,40 a 0,80;
 Niobio y/o vanadio: $0,01 \leq [\text{Nb}] + [\text{V}] \leq 0,60$;
 Azufre: hasta 0,045;
 10 Fósforo: hasta 0,045;
 opcionalmente: hasta 0,15 % en peso de molibdeno, preferiblemente hasta 0,10 % en peso, y/o hasta 0,05 % en peso de titanio;
 el resto hierro e impurezas incidentales y/o residuales.
- 15 2. El acero de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el contenido de carbono es de 0,06 a 0,10 % en peso.
3. El acero de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en donde el contenido de silicio es de 0,16 a 0,45 % en peso.
4. El acero de acuerdo con la reivindicación 1, 2 ó 3, en donde el contenido de manganeseo es de 0,70 a 1,20 % en
 20 peso.
5. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, en donde el contenido de cromo es de 0,80 a 1,20 % en peso.
- 25 6. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, en donde el contenido de aluminio es de 0,40 a 0,70 % en peso.
7. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, en donde el contenido de niobio y/o vanadio se define por: $0,01 \leq [\text{Nb}] + [\text{V}] \leq 0,20$ % en peso.
- 30 8. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, en donde el contenido de azufre no es mayor que 0,008 % en peso; y/o el contenido de fósforo no es mayor que 0,020 % en peso.
9. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que comprende no más que 0,005 %
 35 en peso, preferiblemente no más que 0,004 % en peso.
10. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que tiene un valor equivalente de carbono (CEV) de acuerdo con la fórmula
- 40
$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} .$$
11. El acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, que tiene en la condición laminada en caliente una microestructura que comprende principalmente ferrita y perlita.
- 45 12. Un producto de acero de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, especialmente un pilote de chapa, una viga de ala ancha, un tubo soldado o un conector.
13. Un producto de acero intermedio tal como una palanquilla, una bobina, una pieza en bruto de viga o un tocho hecho de un acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 hasta 11.
- 50 14. Una estructura de acero tal como una pared de pilotes de chapa o combi-pared que comprende elementos estructurales hechos de un acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 hasta 11.
15. Un pilote de chapa laminado en caliente hecho de un acero de acuerdo con una cualquiera de las
 55 reivindicaciones 1 hasta 12 que comprende una microestructura que consiste en ferrita y perlita.
16. Una combi-pared de tubos y pilotes de acero que se conectan entre sí por conectadores, en donde dichos tubos, pilotes de chapa y conectadores están hechos de una misma composición de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 hasta 11.
- 60 17. Un uso de un acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 hasta 11 para aplicaciones marinas.