

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 387**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01) <b>C21D 6/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01) <b>B01D 3/32</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01) <b>B01J 19/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01) <b>B22F 3/15</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01) <b>C07C 273/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/52</b>	(2006.01)	
<b>B01D 1/00</b>	(2006.01)	
<b>B01D 1/30</b>	(2006.01)	
<b>B01D 5/00</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2017** **E 17210463 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 3502293**

54 Título: **Usos de aceros inoxidables dúplex**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.11.2020**

73 Titular/es:  
**SAIPEM S.P.A. (100.0%)**  
**Via Martiri di Cefalonia, 67**  
**20097 San Donato Milanese (Milano) , IT**

72 Inventor/es:  
**PACI, GIULIO;**  
**QUATTROCCHI, MARA;**  
**CARLESSI, LINO y**  
**SERRAFERO, ALBERTO**

74 Agente/Representante:  
**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 793 387 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**

Usos de aceros inoxidables dúplex

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere al uso de un acero inoxidable dúplex en entornos de urea altamente corrosivos que contienen carbamato de amoníaco a altas temperaturas y presiones.

10 La invención se refiere por tanto también al uso de un acero inoxidable dúplex en una planta de urea (es decir, una planta para la producción de urea) y, específicamente, en un aparato, equipo o dispositivo (o una parte del mismo) que se expone a carbamato de amoníaco concentrado a alta temperatura.

15 La invención se refiere también a un aparato, equipo o dispositivo de una planta de producción de urea o utilizado en un proceso de producción de urea, que comprende al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex resistente a la corrosión.

20 La invención se refiere también a una planta y a un proceso para la producción de urea que comprende al menos un aparato, equipo o dispositivo que tiene al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex y a un método para renovar una planta de producción de urea existente reemplazando al menos una parte de un aparato, equipo o dispositivo de la planta por una parte hecha de un acero inoxidable dúplex.

**Descripción de la técnica anterior**

25 Los aceros inoxidables dúplex constituyen una familia de aceros inoxidables caracterizados por una microestructura en dos fases que consiste en granos de austenita y ferrita en proporciones aproximadamente iguales.

30 La estructura de austenita-ferrita proporciona a esta familia de aceros inoxidables una combinación de propiedades favorables, en particular, una buena resistencia mecánica y una excelente resistencia a la corrosión.

35 Sin embargo, las calidades comúnmente disponibles de aceros inoxidables dúplex, incluso aunque presenten generalmente una buena resistencia a la corrosión, no son adecuadas para su uso en condiciones muy severas, tales como en una planta de producción de urea y, específicamente, en una sección de alta presión de una planta de urea.

40 Tal como se sabe, la producción de urea se basa en una reacción a alta temperatura, alta presión de dióxido de carbono y amoníaco, para formar carbamato de amonio, y una posterior reacción de deshidratación del carbamato de amonio para formar urea y agua.

45 En una planta de producción de urea típica (planta de urea) estos procesos se llevan a cabo generalmente en un reactor de síntesis de urea que funciona a alta presión y alta temperatura; la solución de urea acuosa producida en el reactor de síntesis se concentra a continuación progresivamente, con recuperación de reactivos sin convertir, en una o más secciones de recuperación, por ejemplo, en una sección de alta presión, una sección de presión media y una sección de baja presión; finalmente, se solidifica la urea en una sección de acabado, que incluye normalmente un granulador o una torre de granulación.

50 Los procesos y plantas a nivel industrial para la producción de urea, hoy en día, se basan en gran medida en procesos de separación: se somete la solución de síntesis que sale del reactor a calentamiento a alta presión (sustancialmente la misma presión del reactor) y el carbamato de amonio se descompone en amoníaco y dióxido de carbono en la fase líquida; parte del amoníaco, junto con el dióxido de carbono, pasa de la fase líquida a la fase gaseosa. La fase gaseosa recogida desde el separador se condensa y se recicla pasando al reactor.

55 En algunos procesos industriales, se emplea amoníaco como agente de separación (proceso de separación con amoníaco), o se lleva a cabo la separación solamente suministrando calor, sin ningún agente de separación (proceso de auto-separación o proceso de separación térmica).

En otros procesos industriales, como el denominado proceso de separación con CO<sub>2</sub>, el agente de separación es dióxido de carbono gaseoso.

60 En una planta de síntesis de urea que funciona de acuerdo con el proceso de separación con amoníaco o el proceso de auto-separación, la resistencia a la corrosión es una característica esencial.

65 En particular, el proceso de separación con amoníaco y el proceso de auto-separación tienen una sección de alta presión que comprende básicamente el reactor de síntesis de urea y el separador de urea (así como equipo y dispositivos auxiliares), donde la resistencia a la corrosión es sumamente importante, debido a la presencia del compuesto intermedio solución de carbamato de amonio.

De hecho, el proceso de separación con amoníaco y el proceso de auto-separación se realizan preferentemente a una temperatura máxima de 185 °C o superior (más preferentemente, a 190 °C o superior, en particular, a 205 °C o superior y, preferentemente, en el intervalo 205-215 °C); a una presión máxima de 150 bar o superior (preferentemente, de 156 bar o superior y, más preferentemente, de aproximadamente 160 bar o superior); y con una relación molar NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> (lo que se conoce como relación N/C) en el intervalo 3,2-3,6.

Por ejemplo, los procesos de separación del tipo que se acaba de describir, que funcionan en dichas condiciones, se utilizan en lo que se conoce como "Tecnología de urea Snamprogetti", perfectamente conocida entre las personas expertas en la materia, cuyo uso está ampliamente extendido en todo el mundo y a menudo se cita en los textos y artículos científicos.

Por tanto, al menos algunos aparatos, equipos o dispositivos de la planta de urea, en particular, de la sección de alta presión de la misma, como pueda ser (pero no solamente) el separador de urea, funcionan en condiciones de procesamiento que son altamente corrosivas, particularmente debido a la presencia de una solución de carbamato caliente y concentrada a altas temperaturas (185°-205 °C y por encima de ella) y presiones (150 bar o superior).

Sin embargo, también están presentes problemas similares en otros tipos de plantas de producción de urea que tienen asimismo una sección de alta presión.

Por lo tanto, la sección de alta presión de una planta de urea (en particular, pero no solamente, en una planta de urea que funciona de acuerdo con el proceso de separación con amoníaco o el proceso de auto-separación), requiere normalmente la adición de una determinada cantidad de oxígeno (normalmente, en forma de una corriente de sustancias inertes que incluyen también oxígeno) para pasivar las superficies metálicas (especialmente, pero no solamente, si están hechas de aceros inoxidable austeníticos). Sin embargo, el uso de oxígeno en la sección de alta presión puede amentar el riesgo de originar una mezcla potencialmente explosiva y, por lo tanto, supone un problema por lo que respecta a la seguridad.

Para reducir el uso de corrientes gaseosas de pasivación y/o mejorar la resistencia a la corrosión, se han propuesto aceros inoxidable dúplex para su uso en las plantas de producción de urea.

Por ejemplo, el documento WO95/00674 divulga el uso de un acero inoxidable dúplex en particular, lo que se conoce como acero inoxidable súper dúplex distribuido con la marca comercial Safurex®, para la fabricación de parte del equipo de las plantas de urea.

Sin embargo, es posible que los aceros inoxidable súper dúplex del documento WO95/00674, cuando se utilizan en un entorno de carbamato, no sean totalmente eficaces a temperaturas muy altas (por encima de 180-200 °C), como puedan ser las temperaturas de funcionamiento comunes de los procesos de separación con amoníaco y auto-separación. El uso de aceros inoxidable dúplex conocidos se limita por tanto a procesos de separación con CO<sub>2</sub>.

El documento WO2014/180761 divulga un separador de urea de carcasa y tubo, para su uso específicamente en un proceso de separación con amoníaco o auto-separación, que tiene un haz de tubos hechos de determinados aceros inoxidable dúplex, concretamente el acero Safurex® 29Cr-6,5Ni-2Mo-N (Código ASME 2295-3 y UNS S32906) o el acero DP28W™ 27Cr-7,6Ni-1Mo-2,3W-N (Código ASME 2496-1 y UNS S32808).

Asimismo, los documentos WO2017013180-A1, WO2017013181-A1 y WO2017014632 divulgan aceros inoxidable dúplex indicados generalmente para su uso en plantas de urea en condiciones de alta temperatura y alta presión.

Se puede apreciar que todos los documentos de la técnica anterior citados divulgan aceros inoxidable dúplex que no contienen cobalto.

El documento WO2006/049572 divulga una aleación de acero inoxidable dúplex que contiene también cobalto y que presenta una alta resistencia, buena resistencia a la corrosión, buena facilidad de trabajo y que es soldable. Las aleaciones propuestas están diseñadas para su uso en sectores en tierra y en alta mar de la industria del gas y del petróleo, si bien no se mencionan usos en condiciones corrosivas más severas (como en los procesos/plantas de urea).

El documento US2015/050180A1 divulga un acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex que contiene cobalto y cuya composición química y microestructura son favorables para su uso en industrias químicas donde se requieren una buena resistencia a la corrosión uniforme y alta resistencia, como, por ejemplo, en la fabricación de urea.

Por lo tanto, incluso aunque se conozcan aceros inoxidable dúplex que tienen una buena resistencia a la corrosión y que son supuestamente adecuados para su uso también en una planta de producción de urea, existe aún la necesidad de otros aceros inoxidable dúplex, posiblemente más resistentes a la corrosión, que sean adecuados para su uso en cualquier entorno de urea, es decir, en cualquier tipo de planta/proceso de producción de urea y, específicamente en un aparato que funciona a altas temperaturas en contacto con fluidos muy corrosivos (que contienen carbamato de amonio) y también en condiciones sin oxígeno, como por ejemplo (pero no solamente) los

separadores a alta presión (que funcionan a presión de 150 bar y más) utilizados en un proceso de separación con amoníaco o un proceso de auto-separación.

### Divulgación de la invención

5 En consecuencia, un objeto de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable dúplex adecuado para superar el problema que se ha descrito de la técnica anterior.

10 En particular, un objeto de la presente invención es proporcionar aceros inoxidables dúplex que son específica y totalmente adecuados para su uso en un entorno de urea, es decir, en contacto con un fluido que comprende carbamato de amonio, como pueda ser una solución de carbamato de amonio concentrada, así como temperaturas de al menos 185 °C, preferentemente de al menos 190 °C y más preferentemente de 205 °C y más, incluso en condiciones sin oxígeno.

15 Asimismo, un objeto específico de la presente invención es proporcionar aceros inoxidables dúplex resistentes a la corrosión que son adecuados para su uso en cualquier entorno de urea, es decir, en cualquier tipo de planta/proceso de producción de urea y, específicamente, en un aparato (como pueda ser un separador de alta presión) utilizado en un proceso de separación con amoníaco o un proceso de auto-separación y, por tanto, que funciona a una temperatura máxima de 185 °C o superior (preferentemente, a 190 °C o superior, en particular a 205 °C o superior y, preferentemente, en el intervalo 205-215 °C); y/o a una presión máxima de 150 bar o superior (preferentemente, de 20 156 bar o superior y más preferentemente de aproximadamente 160 bar o superior); y/o con una relación molar NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> (lo que se conoce como relación N/C) en el intervalo 3,2-3,6.

25 En consecuencia, la presente invención se refiere a un acero inoxidable dúplex para su uso en una planta de producción de urea y/o en un proceso de producción de urea, tal como se define en la reivindicación 1.

La invención se refiere asimismo a un aparato, equipo o dispositivo, en particular, de una planta de producción de urea o utilizado en un proceso de producción de urea, que comprende al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex resistente a la corrosión, tal como se define en la reivindicación 21.

30 La invención se refiere también a una planta y a un proceso para la producción de urea que comprende al menos uno de dichos aparato, equipo o dispositivo que tiene al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex, tal como se define en las reivindicaciones 22 y 23, respectivamente; y a un método para renovar una planta de producción de urea existente reemplazando al menos una parte de un aparato, equipo o dispositivo de la planta por una parte hecha de un acero inoxidable dúplex, tal como se define en la reivindicación 24.

35 Las características preferentes ventajosas de la invención son la materia objeto de las reivindicaciones dependientes.

40 Los aceros inoxidables dúplex de la invención se caracterizan específicamente por la combinación de Ni, Co y Mo; de hecho, se ha reconocido que estos tres elementos, utilizados juntos de acuerdo con unas reglas de composición específicas tienen un efecto combinado inesperado sobre la resistencia a la corrosión, así como otras propiedades de material favorables.

45 De hecho, se ha observado que estos tres elementos (Ni, Co, Mo) aumentan eficazmente la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable dúplex (que tiene la composición de la invención en particular) si se utiliza cada elemento en un intervalo de contenido específico y se une el contenido de los tres elementos entre sí mediante un parámetro de composición Z que oscila entre un valor mínimo Z<sub>min</sub> y un valor máximo Z<sub>máx</sub>.

50 En particular, los aceros inoxidables dúplex de la invención tienen un parámetro de composición que oscila entre 14,95 y 19,80.

El parámetro de composición Z es un parámetro representativo del contenido combinado de Ni, Co, Mo y definido por la fórmula (I):

$$55 \quad Z = 1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo \quad (I)$$

donde Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente.

60 De acuerdo con la invención:  
14,95 ≤ Z ≤ 19,80

65 Es decir, los autores de la invención han descubierto que los aceros inoxidables dúplex que tienen las composiciones de la invención en particular también presentan una excelente resistencia a la corrosión (en particular, en entornos de urea) si se mantiene el parámetro Z en los intervalos antes definidos, es decir, si se utilizan los componentes Ni, Co y Mo en cantidades que satisfacen la fórmula (II):

$$Z_{\min} \leq [1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo] \leq Z_{\max} \quad (II)$$

donde:

- 5 Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente  
 $Z_{\min} = 14,95$   
 $Z_{\max} = 19,80$
- 10 Las pruebas experimentales confirman que los aceros inoxidable dúplex de acuerdo con la invención, es decir, que tienen un contenido combinado de Ni, Co y Mo tal como se han definido anteriormente, que satisface la fórmula (II), tienen una tasa de corrosión en los entornos de urea (que contienen carbamato de amonio) significativamente más baja que los materiales de la técnica anterior, incluso a temperatura/presión alta y en condiciones sin oxígeno.
- 15 No se puede esperar dicho resultado a la vista de las enseñanzas de la técnica anterior.
- De hecho se reconoce comúnmente en la técnica (tal como lo notifican varios artículos científicos) que el contenido de níquel (Ni) en aceros austeníticos es perjudicial en condiciones de un bajo contenido de oxígeno.
- 20 Por lo tanto, se entiende normalmente que la resistencia a la corrosión de aceros inoxidable dúplex se beneficia del bajo contenido de níquel.
- Por el contrario, los autores de la presente invención han reconocido que cierta cantidad de níquel, inferior a la que se encuentra en los aceros austeníticos habituales, pero más alta que el umbral mínimo, tiene realmente un buen impacto en la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable dúplex, si el níquel está asociado con cobalto (Co) y molibdeno (Mo) de acuerdo con reglas específicas.
- 25 Específicamente, los aceros inoxidable dúplex de la invención tienen un contenido de níquel comprendido entre 5,5 % y 8 %, preferentemente de 6,0 % a 7,5 % (tanto aquí como más adelante, se pretende que todos los porcentajes, si no se especifica de otro modo, sean porcentajes en peso con respecto al peso total del acero).
- 30 De hecho, níquel es un elemento que forma austenita y se necesita determinada cantidad de níquel para mantener un equilibrio entre las fases ferrita y austenita. Por otra parte, el níquel tiene un impacto negativo en la precipitación intermetálica.
- 35 De acuerdo con la invención, se utiliza cobalto en combinación con níquel (y reemplazando parte del níquel) para obtener el equilibrio requerido entre las fases ferrita y austenita y para mejorar la resistencia a la corrosión.
- 40 Los autores de la presente invención han observado de hecho que es posible reducir el contenido de níquel reemplazando níquel por cobalto, que funciona como un sustituto parcial y, sorprendentemente, también tiene la ventaja adicional de mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable dúplex que tienen las composiciones de la invención en particular.
- 45 De hecho, el cobalto (a diferencia del níquel) reduce las precipitaciones de fases intermetálicas, refuerza la matriz de ferrita y tiene un efecto positivo como elemento de formación de austenita.
- Específicamente, los aceros inoxidable dúplex de la invención tienen un contenido de Co en el intervalo entre 0,01 % y 0,8 %, preferentemente de 0,01 % a 0,6 %, más preferentemente de 0,02 a 0,6 %, en particular de 0,04 % a 0,6 %.
- 50 De acuerdo con la invención, el contenido de níquel y cobalto también está ligado al contenido de molibdeno.
- El molibdeno es un elemento que forma ferrita que acelera la precipitación de fases intermetálicas, especialmente en presencia de altos niveles en cromo (como pueda ser en los aceros inoxidable dúplex de la invención); por lo tanto, el contenido de molibdeno no deberá exceder un umbral máximo.
- 55 Por otra parte, determinada cantidad de molibdeno es beneficiosa para la resistencia a la corrosión de carbamato de amonio y la resistencia a la corrosión localizada, especialmente, en presencia de carbamato de amonio y en condiciones sin oxígeno.
- 60 Específicamente, el molibdeno está en el intervalo entre 2 % y 2,5 %.
- 65 Las características de la invención, tal como se han definido anteriormente proporcionan también un método para diseñar un acero inoxidable dúplex para su uso en entornos muy corrosivos, en particular, en una planta/un proceso de urea.

En particular, la invención proporciona las reglas para seleccionar el contenido eficaz de Ni, Co, Mo.

5 Una vez seccionado el contenido/cantidad de dos de los tres componentes (Ni, Co, Mo), por ejemplo teniendo en cuenta las consideraciones técnicas expuestas sobre los efectos esperados de cada elemento individual, se calcula el contenido/la cantidad del tercer componente aplicando las relaciones de la invención.

10 Además de Ni, Co y Mo, los aceros inoxidables dúplex de la invención tienen un contenido relativamente alto de cromo (Cr) que aumenta la resistencia a la corrosión en entornos de solución de carbamato de amonio y al mismo tiempo permite una buena microestructura sin precipitación de terceras fases y una buena facilidad de trabajo en caliente.

15 De hecho, el cromo tiene un efecto beneficioso en la resistencia a la corrosión y permite temperaturas de proceso más altas en aplicaciones de producción de urea. El cromo también es beneficioso contra otros tipos de corrosión como picaduras o fisuras. Por otra parte, altas cantidades de cromo aumentan la posibilidad de precipitación de fases entre metales y son perjudiciales para la facilidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, la cantidad de cromo es superior a 30 % pero inferior a 35 %, preferentemente está comprendida entre 30,5 y 35 %, más preferentemente entre 30,5 y 33 %, incluso más preferentemente entre 30,5 y 32 %, en particular entre 30,5 y 31,6 %.

20 El acero inoxidable dúplex de la invención también puede contener los siguientes elementos:

Carbono (C). Generalmente, el carbono mejora la resistencia mecánica; sin embargo, de acuerdo con la invención, se evita un alto contenido de carbono para prevenir la precipitación de carburos. Por lo tanto, la cantidad de carbono no es superior a 0,03 %, preferentemente de 0,001 % a 0,02 %.

25 Silicio (Si). El silicio se utiliza como elemento de formación de ferrita y para la desoxidación en el molino de acero, es decir, en el proceso de fabricación de los aceros inoxidables dúplex. Se evitan altas cantidades de silicio para reducir la posibilidad de precipitación de fases intermetálicas. Por lo tanto, la cantidad de silicio no es superior a 0,5 %, preferentemente de 0,001 % a 0,5 %.

30 Manganeso (Mn). El manganeso aumenta la solubilidad de nitrógeno (N), pero también tiene un impacto negativo en la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, la cantidad de manganeso no es superior a 2,5 %, preferentemente de 0,5 % a 2,2 %, en particular de 1,0 % a 2,2 %.

35 Tungsteno (W). El tungsteno es un elemento de formación de ferrita. El tungsteno también mejora la resistencia a la corrosión general. En particular, del mismo modo que Cr, Mo y Ni, el W también mejora la resistencia contra picaduras y fisuras. Sin embargo, W acelera la precipitación de fases intermetálicas, de modo que su contenido se mantiene por debajo de 2,5 %, preferentemente de 0,001 % a 2,5 %, más preferentemente de 0,02 % a 1 %.

40 Nitrógeno (N). El nitrógeno es un elemento de formación de austenita. El nitrógeno también mejora la estabilidad de la microestructura, retrasando la precipitación de fases intermetálicas y aumenta la resistencia de la matriz de metal. El nitrógeno se añade también para aumentar la resistencia a la corrosión por picaduras y fisuras. Por estas razones, se utiliza el menos un 0,3 % de nitrógeno. Por otra parte, un mayor contenido de nitrógeno conllevaría una escasa facilidad de trabajo en caliente, por lo tanto, el valor máximo del contenido de N es 0,6 %. Por tanto el contenido de N oscila entre 0,3 y 0,6 %, preferentemente entre 0,35 % y 0,6 %, en particular entre 0,4 % y 0,6 %.

45 Cobre (Cu). El cobre tiene en general un efecto positivo al reducir la cinética de precipitación intermetálica, especialmente, cuando están presentes cantidades relativamente altas de Mo y W. Sin embargo, para aplicaciones de producción de urea, el cobre es un elemento perjudicial ya que forma iones complejos con amoníaco y deteriora la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de Cu está limitado a un máximo de 1 %, preferentemente de 0,001 % a 0,9 %, más preferentemente de 0,10 a 0,90 % Cu y en particular de 0,10 a 0,40 %.

50 Dado que los aceros inoxidables dúplex de la invención tienen un contenido de cromo relativamente alto (así como nitrógeno), la facilidad de trabajo en caliente podría verse afectada negativamente. Para facilitar el procesamiento (en particular, el conformado en caliente) de los aceros inoxidables dúplex de la invención, se añaden uno o más de los siguientes elementos opcionalmente:

55 Calcio (Ca): 0,004 % o menos, preferentemente de 0,001 % a 0,004 %;  
Magnesio (Mg): 0,004 % o menos, preferentemente de 0,001 % a 0,004 %;  
Uno o más elementos de tierras raras: 0,1 % o menos, preferentemente 0,05 % o menos (cantidad total).

60 Preferentemente, los elementos de tierras raras se seleccionan del grupo que consiste en lantano (La), Cerio (Ce), praseodimio (Pr) y mezclas de los mismos.

65 Los elementos de tierras raras (metales) tienen capacidades de desoxidación y desulfuración muy altas y también disminuyen el tamaño medio de inclusiones. Tienen el efecto beneficioso en la facilidad de trabajo en caliente sobre la base de la capacidad para combinarse con impurezas que pueden segregarse en los límites del grano (como azufre) y modificar la forma y la composición de las inclusiones.

Las composiciones de acero de la invención pueden incluir también impurezas inevitables, tales como fósforo (P) y azufre (S). El contenido de P y S deberá mantenerse, no obstante, en el mínimo posible. En particular, cantidades altas de S son perjudiciales para la facilidad de trabajo en caliente. Por tanto, el contenido de S deberá ser menos de 0,005 % y el contenido de P deberá ser menos de 0,025 %. Las cantidades típicas son menos de 0,0005 % para S y menos de 0,020 % para P.

El contenido de ferrita del acero dúplex (aleación austeno-ferrítica) de acuerdo con la presente invención también reviste cierta importancia en cuanto a la resistencia a la corrosión. De acuerdo con algunas realizaciones, por tanto, el contenido de ferrita oscila entre 30 % y 70 % en volumen, preferentemente de 35 a 60 % en volumen, más preferentemente de 40 a 60 % en volumen. Los aceros inoxidable dúplex de la invención son convenientemente resistentes a la corrosión incluso cuando se exponen a carbamato de amonio a alta presión (en particular, a una presión máxima de 150 bar y superior, preferentemente de 156 bar y superior, más preferentemente de 160 bar y superior) y alta temperatura (en particular, 185 °C y superior, preferentemente 190 °C y superior, más preferentemente 205 °C y superior) e incluso en condiciones sin oxígeno.

La invención proporciona por tanto formulaciones mejoradas de aceros inoxidable dúplex, totalmente adecuados para su uso en condiciones muy corrosivas, tales como en un entorno de urea, es decir, en contacto con un fluido que comprende carbamato de amonio, también a temperaturas de 185 °C y más (en incluso a 205 °C y más) e incluso en condiciones sin oxígeno.

En particular, los aceros inoxidable dúplex de la invención están diseñados para su uso en contacto con soluciones de carbamato de amonio que tienen una concentración de carbamato de amonio comprendida entre 15 % en peso y 95 % en peso, en particular de 50 % en peso a 95 % en peso; y/o a una temperatura de 185 °C o más, en particular de 190 °C o más, en particular de 205 °C o más).

Los aceros inoxidable dúplex altamente resistentes a la corrosión de la invención son adecuados para su uso en cualquier entorno de urea, es decir, en cualquier tipo de planta/proceso de producción de urea y, específicamente, en aparatos que funcionan a altas temperaturas (185 °C, 190 °C pero también 205 °C y más altas) en contacto con fluidos que contienen carbamato de amonio y también en condiciones sin oxígeno, como por ejemplo (pero no solamente) los separadores a alta presión utilizados en el proceso de separación con amoníaco o el proceso de auto-separación.

Por lo tanto, los aceros inoxidable dúplex de la invención son especialmente útiles para fabricar equipos y dispositivos (o partes de los mismos) que se exponen a carbamato de amonio concentrado a alta temperatura, como puedan ser partes de tubos de intercambiador de calor y/o, o por ejemplo, tubos de separadores.

Los aceros inoxidable dúplex de la invención presentan una excelente resistencia a la corrosión en soluciones de carbamato (incluso en condiciones sin oxígeno) también a una temperatura de 205 °C y superior.

Los materiales de la invención son por tanto adecuados para su uso en una planta de producción de urea de cualquier tipo, incluyendo en particular las condiciones más exigentes de un proceso de separación con amoníaco o de auto-separación.

Por lo tanto, la invención se refiere al uso del acero inoxidable dúplex tal como se divulga en el presente documento en una planta de producción de urea y, específicamente, en un aparato, equipo o dispositivo (o una parte del mismo) que queda expuesto a carbamato de amonio concentrado a alta temperatura.

La invención se refiere también a un aparato, equipo o dispositivo, en particular, de una planta de producción de urea o utilizado en un proceso de producción de urea, que comprende al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex resistente a la corrosión, tal como se divulga en el presente documento.

La invención se refiere asimismo a una planta y a un proceso para la producción de urea que comprende al menos un aparato, equipo o dispositivo que tiene al menos una parte hecha de un acero inoxidable dúplex tal como se divulga en el presente documento; y a un método de renovación de una planta de producción de urea existente reemplazando al menos una parte de un aparato, equipo o dispositivo de la planta con una parte hecha de un acero inoxidable dúplex, tal como se divulga en el presente documento.

Como resultado de las composiciones específicas de los aceros inoxidable dúplex de la invención, se pueden conseguir además las siguientes ventajas adicionales con respecto a la técnica anterior, en particular, en el caso del uso en un aparato de alta presión de la planta de urea.

- La tasa de corrosión en una pieza del equipo (aparato/dispositivo o parte del mismo) hecha de los aceros inoxidable dúplex de la invención disminuye drásticamente con respecto a una pieza de equipo hecha de los materiales de la técnica anterior;
- se reduce drásticamente o incluso se elimina la necesidad de aire de pasivación;
- se puede reducir el espesor del aparato/dispositivo, en particular, de la tubería de impulsión de alta presión, con

el resultado por tanto de una significativa reducción del peso y el coste total de la sección de alta presión, ya que los aceros inoxidables dúplex de la invención también tienen características mecánicas superiores;

- puede aumentarse la temperatura en el fondo del separador sin aumentar la tasa de corrosión.
- es posible evitar el uso para el equipo de alta presión de diferentes materiales con diferentes características y prescripción por lo que respecta a las especificaciones de material.

### Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos.

- la figura 1 contiene una tabla (Tabla 1) que registra la composición de muestras ilustrativas de aceros inoxidables dúplex de acuerdo con la invención, así como algunas muestras de referencia;
- la figura 2 contiene una tabla (Tabla 2) que registra los resultados de las pruebas de resistencia a la corrosión realizadas en las muestras de la Tabla 2.

### Descripción detallada de las realizaciones preferentes de la invención

Aceros inoxidables dúplex de acuerdo con la invención contienen en % en peso (% p):

C máx. 0,03  
 Si máx. 0,5  
 Mn máx. 2,5  
 Cr desde más de 30,0 a 35,0  
 Ni 5, a 8,0  
 Co 0,01 a 0,8  
 Mo 2,0 a 2,5  
 W máx. 2,5  
 N 0,3-0,6  
 Cu máx. 1,0  
 Ca máx. 0,0040  
 Mg máx. 0,0040

uno o más elementos de tierras raras máx. 0,1

siendo el resto Fe e impurezas (tal como se entiende comúnmente, impurezas son todos aquellos elementos y compuestos que no se añaden deliberadamente a la formulación de acero, pero que sin embargo están presentes en pequeñas cantidades en las materias primas utilizadas para la fabricación del acero inoxidable dúplex).

Los aceros inoxidables dúplex de la invención se caracterizan además por que el contenido de Ni, Co, Mo es tal que,

$$Z_{\min} \leq [1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo] \leq Z_{\max} \quad (II)$$

donde:

Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente;  
 $Z_{\min} = 14,95$ ;  
 $Z_{\max} = 19,80$ .

Es decir, los aceros inoxidables dúplex de la invención tienen un parámetro de composición Z, representativo del contenido combinado de Ni, Co, Mo, definido por la fórmula (I):

$$Z = 1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo \quad (I)$$

donde Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente;  
 y donde  
 $14,95 \leq Z \leq 19,80$ .

### Ejemplos

Composiciones de acero ilustrativas de acuerdo con la invención comprenden en porcentajes en peso:

C: 0,03 % o menos;  
 Si: 0,5 % o menos;  
 Mn: 2,5 % o menos;  
 Cr: 30,5 % a 35 %;  
 Ni: 5,5 % a 8 %;

- Mo: 2 % a 2,5 %;  
W: 0,02 % a 1,0 %;  
Co: 0,01 % a 0,8 %;  
N: 0,3 % a 0,6 %;  
5 Cu: 1 % o menos;
- uno o más de los siguientes:
- 10 Ca: 0,004 % o menos;  
Mg: 0,004 % o menos;  
uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,05 % o menos;  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.
- 15 Otras realizaciones del acero de la invención comprenden, en porcentajes en peso:
- 20 C: 0,001 % a 0,03 %;  
Si: 0,001 % a 0,5 %;  
Mn: 0,001 % a 2,5 %;  
Cr: más de 30 % a 35 %;  
Ni: 5,5 % a 8 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;  
W: 0,4 % a 0,8 %;  
Co: 0,01 % a 0,8 %;  
25 N: 0,3 % a 0,6 %;  
Cu: 0,001 % a 1 %;
- uno o más de los siguientes:
- 30 Ca: 0,001 % a 0,004 %;  
Mg: 0,001 % a 0,004 %;  
uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,001 % a 0,1 %;  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.
- 35 Otras composiciones de acuerdo con la invención comprenden, en porcentajes en peso:
- 40 C: 0,001 % a 0,03 %;  
Si: 0,5 % o menos;  
Mn: 0,5 % a 2,2 %;  
Cr: 30,5 % a 34 %;  
Ni: 5,5 % a 8 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;  
W: 2,5 % o menos;  
45 Co: 0,01 % a 0,8 %;  
N: 0,3 % a 0,6 %;  
Cu: 1 % o menos;
- uno o más de los siguientes:
- 50 Ca: 0,004 % o menos;  
Mg: 0,004 % o menos;  
uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,05 % o menos;  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
55 que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.
- Otras composiciones más de acuerdo con la invención comprenden, en porcentajes en peso:
- 60 C: 0,02 % o menos;  
Si: 0,001 % a 0,5 %;  
Mn: 2,5 % o menos;  
Cr: 30,5 % a 32 %;  
Ni: 5,5 % a 8 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;  
65 W: 0,1 % a 1 %;  
Co: 0,01 % a 0,8 %;

N: 0,3 % a 0,6 %;  
Cu: 0,15 % a 0,25 %;

que tienen uno o más de los siguientes:

5

Ca: 0,004 % o menos;  
Mg: 0,004 % o menos;  
La, Ce, Pr u otro: 0,05 % o menos;  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;

10

que satisfacen la relación  $CRC = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 a 19,80.

Otras composiciones de acuerdo con la invención comprenden, en porcentajes en peso:

15

C: 0,03 % o menos;  
Si: 0,5 % o menos;  
Mn: 0,001 % a 2,2 %;  
Cr: 31 % a 35 %;

20

Ni: 6 % a 7,5 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;  
W: 2,5 % o menos;  
Co: 0,01 % a 0,8 %;  
N: 0,4 % a 0,6 %;  
Cu: 0,9 % o menos;

25

uno o más de los siguientes:

Ca: 0,004 % o menos;  
Mg: 0,004 % o menos;

30

uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,05 % o menos;  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.

Otros ejemplos de acuerdo con la presente invención comprenden, en porcentajes en peso:

35

C: 0,03 % o menos;  
Si: 0,5 % o menos;  
Mn: 0,5 % a 2,2 %;  
Cr: 30,5 % a 35 %;

40

Ni: 5,5 % a 6,5 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;  
W: 0,001 % a 2,5 %;  
Co: 0,01 % a 0,6 %;  
N: 0,35 % a 0,6 %;  
Cu: 1 % o menos;

45

uno o más de los siguientes:

Ca: 0,004 % o menos;  
Mg: 0,004 % o menos;

50

un elemento de tierras raras seleccionado entre La, Ce, Pr o una combinación de los mismos: 0,05 % o menos  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.

55

Por ejemplo, la presente invención se refiere a composiciones de acero elemental que comprenden, en porcentajes en peso:

60

C: 0,03 % o menos;  
Si: 0,5 % o menos;  
Mn: 2,2 % o menos;  
Cr: 31 % a 32 %;  
Ni: 5,5 % a 8 %;  
Mo: 2 % a 2,5 %;

65

W: 2,5 % o menos;  
Co: 0,02 % a 0,4 %;  
N: 0,3 % a 0,6 %;  
Cu: 0,001 % a 1 %;

uno o más de los siguientes:

- 5 Ca: 0,004 % o menos;  
 Mg: 0,004 % o menos;  
 un elemento de tierras raras seleccionado entre La, Ce, Pr o una combinación de los mismos: 0,05 % o menos  
 siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
 que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.

- 10 Otra composición ilustrativa de acuerdo con la invención comprende, en porcentajes en peso:

- 15 C: 0,03 % o menos;  
 Si: 0,5 % o menos;  
 Mn: 2 % o menos;  
 Cr: 30,5 % a 33 %;  
 Ni: 5,5 % a 8 %;  
 Mo: 2 % a 2,5 %;  
 W: 0,2 % a 1 %;  
 Co: 0,02 % a 0,4 %;  
 20 N: 0,3 % a 0,6 %;  
 Cu: 1 % o menos;

uno o más de los siguientes:

- 25 Ca: 0,001 % a 0,004 %;  
 Mg: 0,001 % a 0,004 %;  
 La, Ce, Pr u otros elementos de tierras raras: 0,001 % a 0,05 %  
 siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
 que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.

- 30 Otros ejemplos de composiciones de acuerdo con la invención comprenden, en porcentajes en peso:

- 35 C: 0,02 % o menos;  
 Si: 0,5 % o menos;  
 Mn: 0,5 % a 2,2 %;  
 Cr: 30,5 % a 34 %;  
 Ni: 5,5 a 8 %;  
 Mo: 2 a 2,5 %;  
 W: 0,02 a 1 %;  
 40 Co: 0,02 a 0,6 %;  
 N: 0,3 a 0,6 %;  
 Cu: 0,20 % a 0,9 %;

uno o más de los siguientes:

- 45 Ca: 0,004 % o menos;  
 Mg: 0,004 % o menos;  
 uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,05 % o menos;  
 siendo el resto Fe e impurezas inevitables;  
 50 que satisfacen la relación:  $Z = 1,062 \cdot (Ni + Co) + 4,185 \cdot Mo$  está entre 14,95 y 19,80.

En particular, se prepararon aceros inoxidables dúplex que tenían las composiciones de la Tabla 1 y se analizaron (en la Tabla 1, algunos componentes no están indicados, estando sin embargo en las cantidades anteriormente divulgadas).

- 55 Se prepararon las muestras según lo habitual en el campo y se analizaron de acuerdo con el procedimiento de ensayo normal.

- 60 En particular, se realizaron pruebas de corrosión en una autoclave a alta presión en solución de carbamato de amonio a una alta presión y alta temperatura (condiciones representativas de condiciones de operación típicas en plantas de urea, en particular, en los tubos de un separador de urea).

- 65 En particular, se analizaron la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables dúplex de la invención en una solución de carbamato sin oxígeno que tenía una composición que simulaba las peores condiciones que se dan normalmente en los tubos de un separador de urea de sección de alta presión de una planta de urea y a una temperatura de 208 °C.

Con más detalle: se comprobó el comportamiento ante la corrosión de rondas de laboratorio a través de pruebas de inmersión que se llevaron a cabo en una autoclave de zirconio de 5 litros. Se equipó la autoclave con líneas de alimentación y descarga adecuadas y un agitador. La solución de ensayo contenía una mezcla de urea, amoníaco y agua, a concentraciones similares a las del proceso de síntesis de urea. La temperatura y la presión de los experimentos se establecieron en el nivel superior de los intervalos típicos medidos en un separador de urea, 180-210 °C y 140-200 bares, respectivamente. Se desgasificó la solución de ensayo antes de comenzar las pruebas para eliminar el oxígeno del sistema. Se diseñaron estos experimentos para simular las condiciones más severas en un separador de una planta de urea sin inyección de oxígeno; debe señalarse que en las condiciones de trabajo actuales de una planta de urea, el acero inoxidable tendría un rendimiento incluso mejor debido a la presencia de cantidades bajas de oxígeno y condiciones menos agresivas.

La duración de la prueba fueron 13 y 30 días. Se siguieron las indicaciones normales de ASTM G31 (Práctica normal para Pruebas de corrosión por inmersión en laboratorio de metales) para la preparación de las muestras de ensayo y se midió la tasa de corrosión por método gravimétrico.

Tras las exposiciones de 13 días y 30 días, respectivamente, en la solución de carbamato sin oxígeno, se evaluó la resistencia a la corrosión calculando la tasa de corrosión (expresada en mm/año).

En la Tabla 2 se muestran los resultados.

Los resultados confirman que las muestras (A1-A5) hechas de un acero inoxidable dúplex de acuerdo con la invención, es decir, que satisfacen los requisitos de la composición de la invención (en particular, con respecto al contenido combinado de Ni, Co, Mo), tienen una tasa de corrosión significativamente más baja que las muestras comparativas Ref1, Ref2, Ref3 y, por tanto, una mejor resistencia a la corrosión.

De hecho, las pruebas experimentales confirman que cuando Z satisface el requisito  $14,95 \leq Z \leq 19,80$ , los valores de corrosión son significativamente más bajos que los que presentan los materiales de referencia.

Los valores de corrosión serían incluso significativamente más bajos en las condiciones de trabajo en una planta de urea, ya que las condiciones establecidas experimentales son mucho más agresivas.

Finalmente, si bien se ha divulgado la invención en relación con las realizaciones preferentes mencionadas, también debe entenderse que se pueden introducir otras muchas modificaciones y variaciones posibles sin por ello alejarse del marco de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Uso de un acero inoxidable dúplex en una planta de producción de urea y/o en un proceso de producción de urea, donde el acero inoxidable dúplex se utiliza en un entorno de urea y en contacto con un fluido que comprende carbamato de amonio, y donde el acero inoxidable dúplex contiene en porcentaje en peso (% en peso):

- 5 C 0,03 o menos
- Si 0,5 o menos
- Mn 2,5 o menos
- 10 Cr desde más de 30,0 a 35,0
- Ni de 5,5 a 8,0
- Co de 0,01 a 0,8
- Mo de 2,0 a 2,5
- 15 W 2,5 o menos
- N de 0,3 a 0,6
- Cu 1,0 o menos

que tiene uno o más de los siguientes:

- 20 Ca 0,0040 o menos
- Mg 0,0040 o menos
- uno o más elementos de tierras raras en una cantidad de 0,1 o menos;

siendo el resto Fe e impurezas;

25 donde el acero inoxidable dúplex tiene un parámetro de composición (Z), representativo del contenido combinado de Ni, Co, Mo y definido por la fórmula (I):

$$Z = 1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo \quad (I)$$

30 donde Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente; estando comprendido dicho parámetro de composición (Z) entre 14,95 y 19,80.

2. El uso de acuerdo con la reivindicación 1, donde el acero inoxidable dúplex contiene 30,5-35 % en peso de Cr.

35 3. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene 30,5-32 % en peso de Cr, más preferentemente 30,5-31,6 % en peso de Cr.

4. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene 0,10-0,90 % en peso de Cu o 0,10-0,40 % en peso de Cu.

40 5. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene 0,02-0,6 % en peso de Co.

45 6. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene 6,0-7,5 % en peso de Ni.

7. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene manganeso de 0,5 a 2,2 % en peso.

50 8. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene tungsteno de 0,02 a 1,0 % en peso.

9. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene calcio de 0,001 a 0,004 % en peso.

55 10. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene magnesio (Mg) de 0,001 a 0,004 % en peso.

60 11. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,05 o menos.

12. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene uno o más elementos de tierras raras seleccionado del grupo que consiste en lantano (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr) y mezclas de los mismos.

65 13. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex contiene, como

impurezas, no más de 0,025 % en peso de fósforo (P) y/o no más de 0,005 % en peso de azufre (S).

5 14. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex está en contacto con una solución de carbamato de amonio que tiene una concentración de carbamato de amonio comprendida entre 15 % en peso y 95 % en peso, en particular de 50 % en peso a 95 % en peso.

10 15. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex está en contacto con una solución de carbamato de amonio a una temperatura de 185 °C o superior, preferentemente de 190 °C o superior, más preferentemente de 205 °C o superior.

15 16. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex se utiliza a una temperatura máxima de 185 °C o superior, preferentemente de 190 °C o superior, más preferentemente de 205 °C o superior, más preferentemente en el intervalo 205-215 °C; y/o a una presión máxima de 150 bar o superior, preferentemente de 156 bar o superior y más preferentemente de 160 bar o superior; y/o en un entorno que tiene una relación molar NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> en el intervalo 3,2-3,6.

17. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el entorno de urea es en condiciones sin oxígeno.

20 18. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex se utiliza en una sección de alta presión de una planta de urea.

25 19. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex se utiliza en un aparato, equipo o dispositivo que realiza un proceso de separación con amoníaco o un proceso de auto-separación en un proceso o una planta de producción de urea.

30 20. El uso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde el acero inoxidable dúplex se utiliza en un separador de alta presión configurado para separación con amoníaco o auto-separación en un proceso o una planta de producción de urea.

35 21. Un aparato, equipo o dispositivo de una planta de producción de urea o utilizado en un proceso de producción de urea, que comprende al menos una parte que queda expuesta a carbamato de amonio concentrado a alta temperatura y está hecho de un acero inoxidable dúplex resistente a la corrosión, donde dicho acero inoxidable dúplex contiene en porcentaje en peso (% en peso):

- C 0,03 o menos
- Si 0,5 o menos
- Mn 2,5 o menos
- Cr desde más de 30,0 a 35,0
- 40 Ni de 5,5 a 8,0
- Co de 0,01 a 0,8
- Mo de 2,0 a 2,5
- W 2,5 o menos
- N de 0,3 a 0,6
- 45 Cu 1,0 o menos

que tiene uno o más de los siguientes:

- 50 Ca 0,0040 o menos
- Mg 0,0040 o menos
- uno o más elementos de tierras raras en una cantidad total de 0,1 o menos;

siendo el resto Fe e impurezas;

55 donde el acero inoxidable dúplex tiene un parámetro de composición (Z) representativo del contenido combinado de Ni, Co, Mo y definido por la fórmula (I):

$$Z = 1,062 (Ni+Co) + 4,185 Mo \quad (I)$$

60 donde Ni, Co, Mo indican el porcentaje en peso de Ni, Co, Mo respectivamente; estando comprendido dicho parámetro de composición (Z) entre 14,95 y 19,80.

22. Una planta de producción de urea que comprende al menos un aparato, equipo o dispositivo de acuerdo con la reivindicación 21.

65 23. Un proceso para la producción de urea que comprende al menos una etapa realizada en un aparato, equipo o dispositivo de acuerdo con la reivindicación 21.

24. Un método de renovación de una planta de producción de urea existente reemplazando al menos una parte de un aparato, equipo o dispositivo de la planta por una parte hecha mediante el uso de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 20.

5

Tabla 1

Muestra n.º	C	Cr	Si	Mn	W	N	Cu	Ni	Co	Mo
A1 (H1)	0,020	31,54	0,39	1,60	0,84	0,56	0,88	6,07	0,28	2,13
A2 (H7)	0,018	30,70	0,45	2,13	0,02	0,40	0,22	7,20	0,56	2,10
A3 (H8)	0,016	31,05	0,33	2,16	0,97	0,48	0,36	7,45	0,04	2,10
A4 (H8-SiCa)	0,020	31,40	0,27	2,15	0,95	0,36	0,36	7,25	0,03	2,08
A5 (H9-SiCa)	0,025	30,77	0,33	0,87	0,00	0,44	0,22	6,99	0,02	2,08
Ref1 (H5)	0,027	32,35	0,18	1,02	2,16	0,54	1,09	5,50	0,54	1,03
Ref2 (H6)	0,020	31,50	0,26	3,22	0,69	0,48	0,23	5,20	0,28	2,15
Ref3 (H4-SiCa)	0,048	32,70	0,47	2,14	1,99	0,37	0,21	6,60	0,52	0,75

FIG. 1

Tabla 2

Muestra n.º	z	RC (mm/año) 13 días	RC (mm/año) 1 mes
A1 (H1)	15,65775	0,0893	0,0883
A2 (H7)	17,02962	0,1057	0,1170
A3 (H8)	16,74288	0,0965	0,1013
A4 (H8-SiCa)	16,43616	0,0896	0,1000
A5 (H9-SiCa)	16,14942	0,0921	0,1068
Ref1 (H5)	10,72503	0,2168	-
Ref2 (H6)	14,81751	0,1499	-
Ref3 (H4-SiCa)	10,70019	0,2074	0,4085

FIG. 2