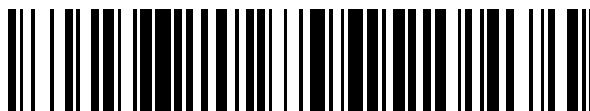


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 840**

51 Int. Cl.:

C21D 1/26 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/42 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.05.2012** **PCT/US2012/039917**
87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013** **WO13048587**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2012** **E 12816538 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 2721189**

54 Título: **Aleaciones de acero resistentes a golpes aptas para endurecimiento al aire, métodos de fabricación de las aleaciones y artículos que incluyen las aleaciones**

30 Prioridad:

15.06.2011 US 201113161146

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.10.2017

73 Titular/es:

ATI PROPERTIES LLC (100.0%)
1600 N.E. Old Salem Road
Albany OR 97321, US

72 Inventor/es:

STEFANSSON, NJALL;
HASEK, BRADLEY;
BAILEY, RONALD E.;
PARAYIL, THOMAS y
NICHOLS, ANDREW

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 639 840 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

Aleaciones de acero resistentes a golpes aptas para endurecimiento al aire, métodos de fabricación de las aleaciones y artículos que incluyen las aleaciones

5

Antecedentes de la tecnología

Campo de la tecnología

10 La presente divulgación va destinada al campo de las aleaciones de acero resistentes a golpes aptas para endurecimiento al aire y artículos que incluyen dichas aleaciones.

Descripción de los antecedentes de la tecnología

15 La presente divulgación se refiere a aleaciones novedosas de acero aptas para endurecimiento al aire que exhiben resistencia, dureza y tenacidad favorables. Las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación se pueden usar, por ejemplo, para proporcionar protección frente a golpes y/o explosiones para estructuras y vehículos, y también se pueden incluir en diversos otros artículos de fabricación. La presente divulgación además se refiere a métodos de procesamiento de determinadas aleaciones de acero que mejoran la resistencia frente a la fragmentación y la deformación dinámica y residual asociadas a los eventos de explosiones.

25 Los materiales actuales usados para la protección frente a golpes o explosiones son predominantemente aceros para Armadura Homogéneos Laminados de Clase 2 (RHA), bajo la especificación militar de Estados Unidos MIL-DTL-12506J, y otros aceros dulces destinados para uso en zonas en las que se precisa máxima resistencia a tasas elevadas de carga de impacto y en las que la resistencia a la penetración por munición de penetración de armaduras resulta de importancia secundaria. Los aceros RHA de Clase 2 se templean y atemperan en agua hasta una dureza máxima de 302 HBW (Número de Dureza de Brinell) para conferir ductilidad y resistencia frente a impactos. Esta clase de aceros RHA, por tanto, va destinada principalmente a uso como protección frente a minas terrestres anti-tanque, granadas de mano, protectores para explosiones y otras armas que producen explosiones. Los aceros de RHA de Clase 2 especificados de acuerdo con MIL-DTL-12560J, y otros aceros dulces, no obstante, normalmente carecen de elevada resistencia y dureza para resistir, de forma significativa, la fragmentación y deformación dinámica y residual asociadas a los eventos de explosiones.

35 Normalmente, los aceros RHA de Clase 2 permiten aceros de carbono de baja aleación que logran sus propiedades por medio de tratamiento térmico (austenización), templado en agua y atemperado. El templado en agua puede resultar desventajoso ya que puede tener como resultado una excesiva distorsión y la generación de tensión residual en el acero. Los aceros templados en agua también pueden exhibir grandes zonas afectadas por el calor (HAZ) tras la soldadura. Además, los aceros templados en agua requieren un tratamiento térmico adicional tras la conformación en caliente, seguido de templado en agua y atemperado para restaurar las propiedades mecánicas deseadas.

40 Por consiguiente, resultaría ventajoso proporcionar una aleación de acero que exhiba mayor resistencia y elevada ductilidad y tenacidad, en comparación con los aceros de carbono de baja aleación RHA de Clase 2, que pueden lograr propiedades mecánicas deseadas necesarias para reducir la deformación residual y dinámica que tiene lugar durante el evento de explosión, y eliminar o reducir los problemas asociados al templado en agua de los materiales de RHA de Clase 2.

45

Sumario

50 La invención proporciona una aleación de acero atemperada apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. La invención además proporciona un método de tratamiento térmico de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada de acuerdo con la reivindicación 14 de las reivindicaciones adjuntas. De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada, comprende en porcentaje en peso: de 0,18 a 0,26 de carbono; de 3,50 a 4,00 de níquel; de 1,60 a 2,00 de cromo; de 0 hasta 0,50 de molibdeno; de 0,80 a 1,20 de manganeso; de 0,25 a 0,45 de silicio; de 0 a menos de 0,005 de titanio; de 0 a menos de 0,020 de fósforo; de 0 hasta 0,005 de boro; de 0 hasta 0,003 de azufre; hierro e impurezas accidentales. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 467 HBW.

55

60 De acuerdo con otro aspecto no limitante de la presente divulgación, un artículo de fabricación comprende una aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de acuerdo con la presente divulgación. Dicho artículo de fabricación se puede escoger entre, o puede incluir, un artículo escogido entre, por ejemplo, una armadura de acero, un casco protector frente a explosiones, un casco con forma de V protector frente a explosiones, un blindaje de vehículo protector frente a explosiones y una cubierta de protección frente a explosiones.

65 De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, un método de tratamiento térmico de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada comprende:

proporcionar una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada; tratar térmicamente por atemperado la aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 12 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C); y enfriar al aire la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada hasta temperatura ambiente.

Breve descripción de los dibujos

Determinadas características y ventajas de las realizaciones no limitantes de los métodos descritos en la presente memoria se comprenderán mejor haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de una realización no limitante de acuerdo con la presente divulgación de un método de tratamiento térmico de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada.

La Figura 2 es un diagrama de dureza de Brinell como función del contenido de carbono para determinadas realizaciones no limitantes de aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación.

La Figura 3 es un diagrama de dureza de Brinell como función del contenido de carbono y tratamiento térmico por atemperado para determinadas realizaciones no limitantes de las aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación;

la Figura 4 es un diagrama de dureza de Brinell como función del contenido de carbono para determinadas realizaciones no limitantes de aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación, incluyendo muestras de lingotes a escala de laboratorio;

la Figura 5 es un diagrama de dureza de Brinell como función del contenido de carbono y tratamiento térmico de atemperado para determinadas realizaciones no limitantes de aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación, incluyendo muestras de lingotes a escala de laboratorio;

la Figura 6 es un diagrama de diversas propiedades de tracción como función del contenido de carbono para determinadas realizaciones no limitantes de aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación y para una muestra de una plancha de aleación de ATI-500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor; y

la Figura 7 es un diagrama de valores de tenacidad en probeta entallada-v de Charpy determinada a -40 °C como función del contenido de carbono para determinadas realizaciones de aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación y para una muestra de una plancha de aleación de ATI-500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor.

El lector apreciará los siguientes detalles, así como otros, tras considerar la siguiente descripción detallada de determinadas realizaciones no limitantes de aleaciones, artículos de fabricación, y métodos de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada de determinadas realizaciones no limitantes

Debe comprenderse que se han simplificado determinadas descripciones de las realizaciones divulgadas en la presente memoria para ilustrar únicamente esos elementos, características, y aspectos que resulten relevantes para una comprensión clara de las realizaciones divulgadas, al tiempo que se eliminan, por motivos de claridad, otros elementos, características y aspectos. Las personas expertas en la técnica, tras considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, reconocerán que otros elementos y/o características pueden resultar deseables en una implementación o aplicación particular de las realizaciones divulgadas. No obstante, debido a que las personas expertas en la técnica, tras considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, pueden identificar e implementar otros elementos y/o características de forma sencilla, y por tanto no resultan necesarios para una completa comprensión de las realizaciones divulgadas, no se proporciona en la presente memoria una descripción de dichos elementos y/o características. Como tal, debe comprenderse que la descripción explicada en la presente memoria es simplemente a modo de ejemplo e ilustrativa de las realizaciones divulgadas y no se pretende que limite el alcance de la invención tal y como se define únicamente por medio de las reivindicaciones.

También, cualquier intervalo numérico citado en la presente memoria se pretende que incluya todos los sub-intervalos subsumidos en el mismo. Por ejemplo, se pretende que un intervalo de "1 a 10" incluya todos los sub-intervalos entre (e incluyendo) el valor mínimo citado de 1 y el valor máximo citado de 10, es decir, que tenga un valor mínimo igual o mayor que 1 y un valor máximo igual o menor que 10. Se pretende que cualquier limitación numérica máxima citada en la presente memoria incluya todas las limitaciones numéricas inferiores subsumidas en la misma y cualquier limitación numérica máxima citada en la presente memoria incluya todas las limitaciones numéricas superiores subsumidas en la misma. Por consiguiente, los solicitantes se reservan el derecho para

modificar la presente divulgación, incluyendo las reivindicaciones, para citar expresamente cualquier sub-intervalo subsumido dentro de los intervalos citados de forma expresa en la presente memoria.

Se pretende que los artículos gramaticales "un", "uno", "una", "el" y "la", tal y como se usan en la presente memoria, incluyan "al menos un" o "uno o más", a menos que se indique lo contrario. De este modo, los artículos se usan en la presente memoria para hacer referencia a uno o más de uno (es decir, a al menos uno) de los objetos gramaticales del artículo. A modo de ejemplo, "un componente" significa uno o más componentes, y de este modo, posiblemente, se contempla más de un componente y se puede emplear o usar en una implementación de las realizaciones descritas.

Cualquier patente, publicación u otro material de divulgación que se dice que se incorpora, en su totalidad o en parte, por medio de referencia en la presente memoria, se incorpora únicamente en el sentido de que el material incorporado no entre en conflicto con las definiciones existentes, afirmaciones, u otro material de la divulgación explicado en la presente divulgación. Como tal, y en el sentido necesario, la divulgación que se explica en la presente memoria reemplaza cualquier material de conflicto incorporado por referencia en la presente memoria. Cualquier material o parte del mismo, que se dice que se incorpora por referencia en la presente memoria, pero que entra en conflicto con las definiciones existentes, afirmaciones u otro material de divulgación explicado en la presente memoria se incorpora únicamente en el sentido de que no surja contacto alguno entre ese material incorporado y el material de divulgación existente.

La presente divulgación incluye descripciones de diversas realizaciones. Debe entenderse que todas las realizaciones descritas en la presente memoria son a modo de ejemplo, ilustrativas y no limitantes. De este modo, la invención no se encuentra limitada por la descripción de diversas realizaciones no limitantes, ilustrativas y a modo de ejemplo. En lugar de ello, la invención se define únicamente por medio de las reivindicaciones, que se pueden modificar para citar cualesquiera características, de forma expresa o inherente, descritas, o de forma expresa o inherente, apoyadas por la presente divulgación.

Los aspectos de la presente divulgación incluyen las realizaciones no limitantes de aleaciones de acero de tenacidad media, dureza media, alta resistencia y aptas para endurecimiento al aire, en comparación con determinadas aleaciones conocidas de acero aptas para endurecimiento al aire, y artículos fabricados a partir de, o que incluyen, las aleaciones de acero. Un aspecto de las realizaciones de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación es que mientras que las aleaciones son auto-atemperantes, se determinó que llevando a cabo una etapa adicional de atemperado por tratamiento térmico en un intervalo de temperaturas de aproximadamente 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), tras austenización y enfriamiento al aire, se proporciona a las aleaciones un mayor límite elástico sin reducir la tenacidad frente a la fractura y la ductilidad de las aleaciones. La observación de que el límite elástico de las aleaciones aumentó sin afectar negativamente a la ductilidad o tenacidad frente a la fractura resultó sorprendente, inesperada y contra-intuitiva, teniendo en cuenta que las aleaciones de acero atemperadas y templadas de forma convencional que incluyen un contenido de carbono comparable normalmente exhiben menor resistencia junto con mayor ductilidad y tenacidad frente a la fractura tras el atemperado.

Los ejemplos de artículos de fabricación que podrían beneficiarse de la conformación a partir de, o incluir, realizaciones de aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación incluyen planchas de acero de armadura para explosiones para vehículos o estructuras. Otros artículos de fabricación que se podrían beneficiar de la conformación a partir de, o incluir, las realizaciones de las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación resultarán evidentes a partir de la consideración de la siguiente descripción adicional de las realizaciones.

Tal y como se usa en la presente memoria, una "aleación de acero apta para endurecimiento al aire" y un "acero apto para endurecimiento al aire" se refieren a una aleación de acero que no requiere templado en un líquido para lograr la dureza deseada. En lugar de ello, el endurecimiento se puede lograr únicamente en una aleación de acero endurecida al aire por medio de enfriamiento a partir de temperatura elevada en aire. Tal y como se usa en la presente memoria, "endurecimiento al aire" se refiere al enfriamiento de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación en aire para lograr la dureza deseada. La dureza deseada dentro del intervalo de aproximadamente 350 HBW a aproximadamente 460 HBW se puede lograr por medio de endurecimiento al aire de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación. Debido a que las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire no requieren templado en líquidos para lograr la dureza deseada, los artículos que incluyen aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire, tales como, por ejemplo, las planchas de aleación de acero aptas para endurecimiento al aire, no se someten al grado de distorsión y alabeo que puede tener lugar cuando las aleaciones sometidas a templado en líquidos reducen rápidamente su temperatura. Las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación se pueden procesar usando técnicas convencionales de tratamiento térmico, tales como austenización, y posteriormente se pueden enfriar al aire, y opcionalmente se pueden atemperar, para formar una plancha de armadura de acero homogénea u otro artículo, sin necesidad de tratamiento térmico adicional y/o templado en líquidos del artículo para lograr la dureza deseada.

Tal y como se usa en la presente memoria, "austenizar" se refiere al calentamiento de un acero hasta una temperatura por encima del intervalo de transformación de manera que la fase de hierro del acero consista esencialmente en una microestructura de austenita. Normalmente, una "temperatura de austenización" para una aleación de acero es una temperatura por encima de 1200 °F (648,9 °C). Tal y como se usa en la presente memoria, "auto templado" se refiere a la tendencia de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de la presente divulgación para precipitar de forma parcial carbono a partir de fracciones de la fase de martensita formadas durante el enfriamiento al aire, formación de una dispersión fina de carburos de hierro en una matriz de hierro- α , lo cual aumenta la tenacidad de la aleación de acero. Tal y como se usa en la presente memoria, "templado" y "tratamiento térmico por templado" se refiere al calentamiento de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación tras la austenización y el enfriamiento al aire de la aleación, lo cual tiene como resultado un aumento del límite elástico sin reducir la ductilidad y la tenacidad frente a la fractura de la aleación. Tal y como se usa en la presente memoria, "homogeneización" se refiere a un tratamiento térmico de aleación aplicado para formar la química y la microestructura de la aleación sustancialmente coherente por toda la aleación.

De acuerdo con una realización no limitante, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación comprende, consiste esencialmente en, o consiste en, en porcentaje en peso: de 0,18 a 0,26 de carbono; de 3,50 a 4,00 de níquel; de 1,60 a 2,00 de cromo; de 0 hasta 0,50 de molibdeno; de 0,80 a 1,20 de manganeso; de 0,24 a 0,45 de silicio; de 0 a menos de 0,005 de titanio; de 0 a menos de 0,020 de fósforo; de 0 hasta 0,005 de boro; de 0 hasta 0,003 de azufre; hierro e impurezas accidentales. En determinadas realizaciones no limitantes de una aleación de acuerdo con la presente divulgación, las impurezas accidentales consisten en elementos residuales que cumplen los requisitos de la Especificación Militar de Estados Unidos MIL-DTL-12506J.

En determinadas realizaciones no limitantes de las aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación, los límites máximos para determinadas impurezas accidentales incluyen, en porcentaje en peso: 0,25 de cobre; 0,03 de nitrógeno; 0,10 de circonio; 0,10 de aluminio; 0,01 de plomo; 0,02 de estaño; 0,02 de antimonio; y 0,02 de arsénico. En otra realización no limitante de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, el nivel de molibdeno está en un intervalo de 0,40 a 0,50 por ciento en peso. Se ha apreciado que las adiciones de molibdeno pueden aumentar la resistencia y la resistencia frente a la corrosión de un acero apto para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación.

Tal y como se describe, tras la austenización y enfriamiento al aire, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación exhibe una dureza de Brinell dentro del intervalo de 352 HBW a 460 HBW, tal y como se evalúa de acuerdo con ASTM E10-10, "Standard Method for Brinell Hardness of Metallic Materials", ASTM International, West Conshohocken, Pa. Todos los valores de dureza de Brinell presentados en la presente descripción se determinaron usando la técnica descrita en la especificación ASTM E10-10.

También como se ha descrito, tras la austenización y el enfriamiento con aire, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 352 HBW a 460 HBW; una resistencia a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 238 ksi (1.641 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (912 MPa) a 146 ksi (1.007 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 14 % a 15 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 31 pie-libra (42 J) a 53 pie-libra (72 J).

Se llevó a cabo el ensayo de tracción presentado en la presente descripción de acuerdo con ASTM E8/E8 M-09, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials". El ensayo en probeta entallada-v de Charpy se llevó a cabo de acuerdo con ASTM E2248-09, "Standard Test Method for Impact Testing of Miniaturized Charpy V-Notch Specimens". Como se sabe en la técnica, el ensayo de impacto en probeta entallada-v de Charpy es un ensayo rápido de impacto de tasa de deformación que mide la capacidad de la aleación para absorber energía, proporcionando de este modo una medida de la tenacidad de la aleación.

En una realización de la invención, tras la austenización y el enfriamiento al aire de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire como se describe, para proporcionar a la aleación una dureza de Brinell dentro del intervalo de 352 HBW a 460 HBW, la aleación se atempera a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C) durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas (tiempo en el horno), dando como resultado un aumento de la dureza de Brinell de la aleación de acero hasta el intervalo de 360 HBW a 467 HBW.

Tras la austenización y el enfriamiento al aire de una aleación de acero apta para endurecimiento de acuerdo con la presente divulgación para proporcionar una dureza dentro del intervalo de 352 HBW a 460 HBW y posterior atemperado de la aleación durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), determinadas realizaciones de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire tienen una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 467 HBW; una resistencia de tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 238 ksi (1.641 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 175 ksi (1.207 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 14 % a 16 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 31 pie-libra (42 J) a 53 pie-libra (72 J).

Un aspecto sorprendente e inesperado de acuerdo con la presente divulgación es la observación de que cuando se han sometido a austenización determinadas aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, se han enfriado al aire, y se han auto atemperado, se someten adicionalmente a un tratamiento térmico de atemperado durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), el límite elástico de las aleaciones aumenta como mucho 20 %, sin reducir el estiramiento en porcentaje y la tenacidad frente a impactos en probeta entallada-v de Charpy determinada a -40 °C de las aleaciones. Como se ha explicado anteriormente, esta característica observada resultó sorprendente e inesperada al menos por el motivo de que las aleaciones de acero tradicionales atemperadas y templadas en agua que incluyen un contenido similar de carbono exhiben menor resistencia y mayor ductilidad y tenacidad frente a fracturas tras el atemperado.

De acuerdo con otra realización no limitante, una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación comprende, consiste esencialmente en, o consiste en, en porcentaje en peso: de 0,18 a 0,24 de carbono; de 3,50 a 4,00 de níquel; de 1,60 a 2,00 de cromo; de 0 hasta 0,50 de molibdeno; de 0,80 a 1,20 de manganeso; de 0,25 a 0,45 de silicio; de 0 a menos de 0,005 de titanio; de 0 a menos de 0,020 de fósforo; de 0 hasta 0,005 de boro; de 0 hasta 0,003 de azufre; hierro; e impurezas accidentales. En determinadas realizaciones no limitantes de una aleación de acuerdo con la presente divulgación, las impurezas accidentales consisten en elementos residuales que cumplen los requisitos de la Especificación Militar de Estados Unidos MIL-DTL-12506J. En determinadas realizaciones no limitantes de las aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación, los límites máximos para determinadas impurezas accidentales incluyen, en porcentaje en peso: 0,25 de cobre; 0,03 de nitrógeno; 0,10 de circonio; 0,10 de aluminio; 0,01 de plomo; 0,02 de estaño; 0,02 de antimonio; y 0,02 de arsénico. En otra realización no limitante de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, el nivel de molibdeno se encuentra dentro del intervalo de 0,40 a 0,50 por ciento en peso. Se ha observado que las adiciones de molibdeno pueden aumentar la resistencia y la resistencia frente a la corrosión de un acero apto para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación.

Tras la austenización y el enfriamiento al aire, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 352 HBW a 459 HBW; una resistencia de tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 237 ksi (1.634 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 146 ksi (1.007 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 14 % a 17 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 37 pie-libra (50 J) a 53 pie-libra (72 J).

Tras la austenización y el enfriamiento al aire de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación para proporcionar una dureza dentro del intervalo de 352 HBW a 459 HBW y posterior atemperado de la aleación durante un tiempo de atemperado de 4 horas a 10 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), determinadas realizaciones de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire tienen una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 459 HBW; una resistencia a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 237 ksi (1.634 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 158 ksi (1.089 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 15 % a 17 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 37 pie-libra (50 J) a 53 pie-libra (72 J).

Un aspecto sorprendente e inesperado de determinadas aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación es la observación de que cuando las aleaciones de auto atemperado, aptas para endurecimiento al aire, enfriadas al aire y austenizadas de acuerdo con la presente divulgación se someten de forma adicional a un tratamiento térmico de atemperado durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), el límite elástico de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, en una realización no limitante, aumenta en hasta 8 % y el estiramiento en porcentaje y la tenacidad frente a impacto en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C no disminuyen. Como se ha explicado anteriormente, esta característica observada resultó sorprendente e inesperada, teniendo en cuenta que las aleaciones de acero atemperadas y templadas en aguas que incluyen un contenido similar de carbono exhiben una resistencia menor y una mayor ductilidad y tenacidad frente a fracturas tras el atemperado.

De acuerdo con otra realización no limitante, una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación comprende, consiste esencialmente, o consiste en, en porcentaje en peso: de 0,18 a 0,21 de carbono; de 3,50 a 4,00 de níquel; de 1,60 a 2,00 de cromo; de 0 hasta 0,50 de molibdeno; de 0,80 a 1,20 de manganeso; de 0,25 a 0,45 de silicio; de 0 a menos de 0,005 de titanio; de 0 a menos de 0,020 de fósforo; de 0 hasta 0,005 de boro; de 0 hasta 0,003 de azufre; hierro; e impurezas accidentales. En determinadas realizaciones no limitantes de una aleación de acuerdo con la presente divulgación, las impurezas accidentales consisten en elementos residuales que cumplen los requisitos de la Especificación Militar de Estados Unidos MIL-DTL-12506J. En determinadas realizaciones no limitantes de las aleaciones de acero de acuerdo con la presente divulgación, los límites máximos para determinadas impurezas incluyen, en porcentaje en peso: 0,25 de cobre; 0,03 de nitrógeno; 0,10 de circonio; 0,10 de aluminio; 0,01 de plomo; 0,02 de estaño; 0,02 de antimonio; y 0,02 de arsénico. En otra realización no limitante de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, el nivel de molibdeno está dentro del intervalo de 0,40 a 0,50 por ciento en peso. Se ha observado que

las adiciones de molibdeno pueden aumentar la resistencia y la resistencia a la corrosión de un acero apto para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación.

En la presente realización, la aleación de acero apta para endurecimiento al aire exhibe una dureza de Brinell dentro del intervalo de 352 HBW a 433 HBW; una resistencia a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 208 ksi (1.434 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 142 ksi (979 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 16 % a 17 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 44 pie-libra (60 J) a 53 pie-libra (72 J).

Tras la austenización y el enfriamiento al aire de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación para proporcionar una dureza dentro del intervalo de 352 HBW a 433 HBW y posterior atemperado de la aleación durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), determinadas realizaciones de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire tienen una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 433 HBW; una resistencia a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 237 ksi (1.634 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 146 ksi (1.007 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo de 15 % a 16 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 44 pie-libra (60 J) a 53 pie-libra (72 J).

Un aspecto sorprendente e inesperado de determinadas aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de la presente divulgación es la observación de que cuando las aleaciones de auto atemperado, aptas para endurecimiento al aire, enfriadas al aire y austenizadas de acuerdo con la presente divulgación se someten de forma adicional a un tratamiento térmico de atemperado durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), el límite elástico de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, en una realización no limitante, aumenta en hasta 3 % y el estiramiento en porcentaje y la tenacidad frente a impacto en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C no disminuyen. Como se ha explicado anteriormente, esta observación es contraria a lo observado con las aleaciones de acero atemperadas y templadas en agua con similar contenido de carbono, que muestran una disminución de la resistencia y un aumento de la ductilidad y la tenacidad frente a roturas tras el atemperado.

Otro aspecto de acuerdo con la presente divulgación va destinado a artículos de fabricación formados a partir de lo que comprenden una aleación de acuerdo con la presente divulgación. Debido a que las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire divulgadas en la presente memoria combinan elevada resistencia, dureza media y tenacidad, en comparación con determinadas aleaciones de acero conocidas aptas para endurecimiento al aire, las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación se adaptan particularmente bien a la inclusión en artículos tales como estructuras y vehículos destinados a la protección frente a golpes y/o explosiones. Los artículos de fabricación que se pueden formar a partir de, o que incluyen, las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación incluyen, pero sin limitarse a, armaduras de acero, cascos protectores frente a explosiones, cascos con forma de V protectores frente a explosiones, blindajes para vehículos de protección frente a explosiones y una cubierta protectora frente a explosiones.

Otro aspecto de la presente divulgación va destinado a un método de tratamiento térmico de una aleación apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada. En referencia al diagrama de flujo de la Figura 1, una realización no limitante de un método (10) de acuerdo con la presente divulgación incluye: proporcionar (12) una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada; tratamiento térmico de atemperado (14) de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C) durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 12 horas (o de 4 horas a 10 horas); y enfriamiento al aire (16) de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada hasta temperatura ambiente. Un tratamiento de austenización es una técnica conocida por los expertos en metalurgia y no precisa de discusión en detalle en la presente memoria. Las condiciones típicas de austenización incluyen, por ejemplo, calentar la aleación de acero a una temperatura dentro del intervalo de 1400 °F (760 °C) a 1700 °F (927 °C) y mantener la aleación a una temperatura durante un tiempo dentro del intervalo de aproximadamente 0,25 horas a aproximadamente 1 hora.

Se pretende que los ejemplos siguientes describan de forma adicional determinadas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, sin restringir el alcance de la presente invención. Las personas expertas en la técnica apreciarán que las variaciones de los siguientes ejemplos son posibles dentro del alcance de la invención, que viene definido únicamente por las reivindicaciones.

Ejemplo 1

Se fabricó un lingote experimental ahusado de 4" x 4" x 10" (10,2 cm x 10,2 cm x 25,4 cm) que pesaba aproximadamente 50 libras (22,7 kg) por medio de fundición mediante inducción de vacío. La Tabla 1 lista la química objetivo y real del lingote experimental y la química real de un lingote de reserva de aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor. La aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor es una aleación de acero

de especialidad forjado comercialmente disponible que tiene una dureza dentro del intervalo de 477 HBW a 534 HBW, y se usa en aplicaciones de planchas para armaduras, y se encuentra disponible en ATI Defense, Washington, PA, Estados Unidos.

Tabla 1: Química de Lingote Experimental y Lingote de Reserva de Aleación ATI 500-MIL®			
	Química Objetivo de Lingote Exp. (% en peso)	Química Real de Lingote Exp. (% en peso)	Química Real de Lingote de Aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor (% en peso)
C	0,18	0,187	0,29
Ni	3,75	3,72	3,72
Cr	1,75	1,69	1,82
Mo	0,40	0,39	0,30
Si	0,35	0,40	0,27
Mn	1,00	0,99	0,98
Al		No detectado	0,002
Ti	< 0,005	< 0,005	0,002
V		No detectado	0,01
Co		No detectado	0,08
Cu		No detectado	0,18
S	< 0,0006	0,002	0,0002
N		No detectado	0,0053
W		No detectado	0,026
Sn		No detectado	0,009
P	< 0,020	0,005	0,019
Fe	Equil.	Equil.	Equil.

5

Tras fundir el baño fundido experimental mostrado en la Tabla 1, se retiró la parte superior caliente y el material restante se homogeneizó por medio de calentamiento de la aleación a 2050 °F (1121 °C) durante 4 horas (aproximadamente 1 hora por pulgada (2,54 cm) de espesor).

10

Ejemplo 2

Se cortaron en piezas pequeñas el lingote experimental y el lingote de aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor del Ejemplo 1, para fundición en un horno de templado. Se combinaron diferentes relaciones de los dos metales en el horno para crear un baño fundido de "botón" de 2,5" de alto x 1,25" de diámetro (6,35 cm de alto x 3,18 cm de diámetro). Se prepararon 5 botones de este modo.

15

Los botones se homogeneizaron a 2050 °F (1121 °C) durante 1 hora y posteriormente se forjaron directamente a partir de muestras planas de espesor 1,25" (3,18 cm) de diámetro a 0,25" de espesor (0,635 cm), que contribuyeron a eliminar la microestructura de colada y se conformaron para dar lugar a un producto labrado. Se permitió el enfriamiento de las muestras al aire tras el forjado. Se cortaron las partes a partir de cada botón para verificar la química. Las químicas medidas se muestran en la Tabla 2.

20

Tabla 2: Química de botón y muestra de lingote (% en peso)										
	C	S	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	P	Ti	Fe
Muestra 1	0,22	0,002	1,80	1,00	0,34	3,79	0,38	0,015	< 0,005	Equil
Muestra 2	0,24	0,003	1,80	1,00	0,34	3,80	0,38	0,016	< 0,005	Equil
Muestra 3	0,23	0,002	1,81	0,99	0,33	3,78	0,38	0,017	< 0,005	Equil
Muestra 4	0,23	0,002	1,81	1,00	0,34	3,79	0,38	0,017	< 0,005	Equil
Muestra 5	0,20	0,002	1,79	0,99	0,36	3,76	0,40	0,017	< 0,005	Equil
Muestra 6	0,18	0,003	1,78	0,99	0,37	3,78	0,42	0,010	< 0,005	Equil

Tras la química se cortaron las partes, sometiéndose a austenización la parte restante de cada uno de los botones a 1600 °F (871 °C) durante 15 minutos y se permitió el enfriamiento al aire.

25

Se cortó un segmento de 1" x 3" x 4" (2,54 cm x 7,62 cm x 10,2 cm) a partir de la pieza restante de 3" x 4" x 7" (7,62 cm x 10,2 cm x 17,8 cm) del lingote experimental. Este segmento se calentó a 2050 °F (1121 °C) durante 1 hora y posteriormente se forjó directamente a partir de un espesor de 4" (10,2 cm) hasta una plancha de 2" de espesor (5,08 cm). Se calentó la plancha hasta 1900 °F (1038 °C), se mantuvo la temperatura durante 1 hora, se laminó finalmente hasta una plancha de 1" (2,54 cm) de espesor y se permitió el enfriamiento al aire. Se tomó una muestra de química a partir de la plancha fría (Muestra 6) (química mostrada en la Tabla 2) y se sometió posteriormente la plancha a austenización a 1600 °F (871 °C) durante 1 hora y se permitió el enfriamiento al aire.

30

Ejemplo 3

Se tomaron una medición individual de dureza de Brinell y tres mediciones de dureza de Rockwell C a partir de 0,025" (0,0635 cm) por debajo de la superficie de cada una de las cinco muestras de 0,25" de espesor, preparadas a partir de baños fundidos de botón del Ejemplo 2 para una plancha de 1" (2,54 cm) de espesor preparada a partir del material experimental del Ejemplo 2. Se llevaron a cabo las mediciones de dureza de Brinell de acuerdo con ASTM E10-10, "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials", ASTM International, West Conshohocken, Pa. Se midió la dureza de Rockwell C de acuerdo con ASTM E18-08b, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials". Se convirtieron los valores de dureza de Rockwell C en valores de dureza de Brinell de acuerdo con ASTM E140-07 "Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness y Scleroscope Hardness".

Los valores de dureza se representan en la Figura 2. La Figura 2 también incluye valores típicos de dureza para aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor.

La Figura 2 presenta que las muestras que contienen más de 0,24 por ciento en peso de carbono exhibieron generalmente valores de dureza más elevados que los botones 1 a 5, y el lingote experimental, que contenía carbono dentro del intervalo de 0,18 a 0,24 por ciento en peso.

Ejemplo 4

Se tomó un corte de 0,25" (0,635 cm) de espesor de la plancha de 1" (2,54 cm) de espesor preparada en el Ejemplo 1. Como tal, el espesor del corte preparado fue el mismo que el espesor de las cinco muestras de 0,25" (0,635 cm) de espesor preparadas a partir de los baños fundidos de botones del Ejemplo 2, proporcionando seis muestras de idéntico espesor. Se prepararon dos porciones de 1,5" (3,81 cm) x 0,75" (1,91 cm) x 0,25" (0,635 cm) de espesor a partir de cada una de las seis muestras, proporcionando doce porciones en total. Se atemperó una porción procedente de cada muestra a 300 °F (149 °C) durante 4 horas. La otra porción procedente de cada muestra se atemperó a 400 °F (204 °C) durante 4 horas. Se tomaron una medición individual de dureza de Brinell y tres mediciones de dureza de Rockwell C a partir de 0,025" (0,0635 cm) por debajo de la superficie de cada una de las doce porciones. La Figura 3 incluye los valores de dureza de este ensayo, junto con los resultados del ensayo de atemperado llevados a cabo a otras temperaturas de atemperado.

Los datos representados en la Figura 3 indican que el tratamiento térmico de atemperado adicional no afecta significativamente a la dureza medida de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con realizaciones no limitantes de la presente divulgación.

Ejemplo 5

Se produjeron dos lingotes experimentales con protección de 4" x 4" x 10" (10,2 cm x 10,2 cm x 25,4 cm) dimensionados en laboratorio en un horno de inducción de vacío. Las químicas incluyeron un baño fundido de bajo contenido de carbono y un baño fundido de alto contenido de carbono. Las químicas deseadas de los lingotes se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Química Deseada de Lingotes con Protección Dimensionados en Laboratorio (% en peso)		
	Bajo Contenido en Carbono	Alto Contenido en Carbono
C	0,21	0,26
Ni	3,75	3,74
Cr	1,77	1,78
Mo	0,42	0,41
Si	0,36	0,36
Mn	0,98	1,00
Ti	< 0,005	< 0,005
S	0,003	0,003
P	0,007	0,013
Fe	Equil.	Equil.

Tras la fusión, se retiró la parte superior caliente de cada lingote. Los lingotes se introdujeron en un horno durante 17 horas a 1000 °F (538 °C) y posteriormente se calentaron para elevar la temperatura de los lingotes a 2050 °F (1121 °C) y se homogeneizaron durante 2 horas en lugar de las 4 horas deseadas. Los lingotes se forjaron desde un espesor de 4" (10,2 cm) hasta un espesor de 2,75" (6,99 cm) en incrementos de 0,25" (0,635 cm), seguido de un recalentamiento durante 25 minutos y posteriormente se forjaron hasta un espesor de 2" (5,08 cm) en incrementos de 0,25" (0,635 cm).

Tras el forjado, se cortó cada muestra por la mitad y se introdujo en un horno a 1900 °F (1038 °C) durante una hora

a temperatura. Las muestras se laminaron en cruzado hasta un espesor de 1,5" (3,81 cm), posteriormente se sometieron a re-calentamiento durante 20 minutos y finalmente se laminaron hasta obtener muestras de plancha de 1" (2,54 cm) de espesor x 8" (20,3 cm) de ancho x 10" (25,4 cm) de largo. Cada uno de los dos lingotes dieron lugar a muestras de planchas de estas dimensiones. Tras el laminado, se sometieron las muestras de plancha a austenización a 1600 °F (871 °C) durante 1 hora y se enfriaron al aire con viento en calma.

Como se ha comentado, las muestras únicamente se homogeneizaron durante 2 horas en lugar de las 4 horas deseadas. Por tanto, las muestras de plancha austenizadas se introdujeron en un horno durante un período adicional de homogeneización. Durante el tiempo que las muestras de plancha se calentaron hasta una temperatura de homogeneización, se decidió que el tratamiento de homogeneización destruyera la microestructura sometida a forjado y laminado. Por tanto, las muestras de plancha se retiraron del horno. En este momento, las muestras de plancha alcanzaron 1180 °F (638 °C) y habían pasado en el horno un total de 2 horas. Se determinó que este período adicional de tratamiento por calentamiento provocó el atemperado eficaz de las muestras de plancha. Por tanto, se sometieron las planchas a austenización de nuevo a 1600 °F (871 °C) durante 1 hora y se enfriaron al aire con viento en calma. Se cortaron ocho cubos de 1" (2,54 cm) de altura a partir de cada material de bajo contenido en carbono y material de alto contenido en carbono (con las químicas deseadas que se muestran en la Tabla .) para los ensayos de atemperado. La Tabla 4 muestra las condiciones de atemperado usadas y la dureza medida para cada una de las muestras de atemperado. Se tomaron tres mediciones de HRc 0,020" (0,0508 cm) por debajo de la superficie de cada muestra, y los valores de dureza mostrados en la Tabla 4 son una media de las tres mediciones, convertidos en HBW a partir de HRc.

Tabla 4: Resultados de Dureza Media Convertida (HBW)				
Plancha de bajo contenido en carbono (C = 0,21 %, dureza original 352 HBW)				
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	10 Horas
176,7 °C (350 °F)	-	390		365
204,4 °C (400 °F)	375	360	387	-
232,2 °C (450 °F)	376	-	371	-
Plancha de alto contenido en carbono (C = 0,26 %, dureza original 392 HBW)				
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	10 Horas
176,7 °C (350 °F)	-	365	-	391
204,4 °C (400 °F)	415	398	401	-
232,2 °C (450 °F)	410	-	405	-

Los valores listados en la Tabla 4 fueron significativamente menores de lo esperado. Por tanto, las muestras se volvieron a someter a ensayo en cuanto a dureza de Brinell a 0,020" (0,0508 cm) por debajo de la superficie. La Figura 4 muestra los valores de dureza no atemperada en comparación con los valores de dureza medidos previamente para otras muestras. La Figura 5 muestra los valores de dureza atemperada, identificando las muestras de bajo contenido en carbono y alto contenido en carbono como "Muestras PES". Los datos representados en la Figura 4 y la Figura 5 indican que el tratamiento térmico de atemperado adicional no afecta significativamente a la dureza medida de las aleaciones aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con realizaciones no limitantes de la presente divulgación.

Ejemplo 6

Basándose en los resultados a escala de laboratorio comentados en la presente memoria y los datos de dureza procedentes de las muestras de cubo de 1" (2,54 cm) de baños fundidos experimentales de bajo contenido en carbono (0,21 por ciento C en peso) y alto contenido en carbono (0,26 por ciento de C en peso) mostrados en la Tabla 3, diversas muestras de bajo contenido en carbono no se sometieron a atemperado, y con fines de comparación diversas muestras adicionales se atemperaron a 400 °F (204 °C) durante 6 horas. Se sometieron a ensayo dos muestras de tracción longitudinales redondas; dos muestras en probeta entallada-v de Charpy TL y dos muestras en probeta entallada-v de Charpy LT a -40 °C; y sobre una de las muestras de Charpy procedentes de cada plancha, se tomaron mediciones de la dureza de Brinell. Los resultados de los ensayos de tracción y probeta entallada-v de Charpy se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Propiedades Mecánicas No Atemperadas y Atemperadas

	Material de bajo contenido en carbono (0,21 % en peso de C)		Material de alto contenido en carbono (0,26 % en peso de C)	
	Sin atemperado	400 °F (204 °C)/6h	Sin atemperado	400 °F (204 °C)/6h
YU 1 (ksi)	141,2	147,8	142,4	171,4
YS 1 (MPa)	973	1019	981	1181
YS 2 (ksi)	141,3	148,8	148,6	174,1
YS 2 (MPa)	974	1025	1024	1200
UTS 1 (ksi)	207,8	206,7	234,5	231,8
UTS 1 (MPa)	1432	1425	1616	1598

UTS 2 (ksi)	208,5	206,7	233	230,8
UTS 2 (MPa)	1437	1425	1606	1591
Estiramiento 1 (%)	15,5	14,7	13,2	14,7
Estiramiento 2 (%)	15	15,1	13,1	13,8
Reducción de área 1 (%)	53,3	58,5	45,5	50,6
Reducción de área 2 (%)	54,8	58,3	46,5	51,8
Dureza 1 (HBW)	420	426	456	470
Dureza 2 (HBW)	414	420	463	447
TL CVN a -40 °C 1 (pie-libraf)	40	44,5	32	31
TL CVN a -40 °C 2 (pie-libraf)	40	42	29,5	29,5
LT CVN a -40 °C 1 (pie-libraf)	47,5	48,5	30,5	32,5
LT CVN a -40 °C 2 (pie-libraf)	46	48	31,5	34

Ejemplo 7

- 5 Se compararon las propiedades de dureza de Brinell y Charpy para las muestras del Ejemplo 6 con el trabajo realizado sobre una plancha de 1" (2,54 cm) de espesor de aleación de ATI 500-MIL® High Hard Specialty Steel Armor. La plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor tuvo la química real mostrada en la Tabla 6.

Tabla 6: Química de la Plancha de Aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor									
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
(% en peso)	0,29	0,98	0,014	0,0003	0,34	1,86	3,76	0,30	Equil.

- 10 Para las propiedades mecánicas, se comparó la plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor con las muestras de la invención del Ejemplo 6 en forma no atemperada y también con un atemperado a 300 °F (149 °C)/8 horas, debido a que no se llevaron a cabo atemperados en la plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor a 400 °F. No se llevaron a cabo ensayos de Charpy sobre el material atemperado de plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor, por lo que no fue posible la comparación. La Figura 6 refleja los resultados del ensayo de tracción sobre los materiales atemperados y no atemperados de alto y bajo contenido en carbono, así como también la plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor. La Figura 7 incluye los resultados en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C para diversas muestras así como también la plancha de aleación de ATI 500-MIL® Steel Armor.

- 20 El examen de las Figuras 6 y 7 demuestra que para las realizaciones de las aleaciones de acero aptas para endurecimiento al aire de acuerdo con la presente divulgación, llevar a cabo la etapa de atemperado mediante tratamiento térmico en un intervalo de temperaturas de aproximadamente 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), tras la austenización y enfriamiento al aire, proporciona a las aleaciones un aumento del límite elástico de hasta 20 por ciento, sin reducir la ductilidad de la aleación y la tenacidad de fractura. La observación de que el límite elástico de las aleaciones aumentó sin afectar negativamente a la ductilidad o la tenacidad de fractura resultó inesperada y sorprendente, ya que las aleaciones de acero convencionales atemperadas y templadas que incluyen contenido de carbono comparable normalmente exhiben una menor resistencia junto con mayor ductilidad y tenacidad de fractura tras el atemperado.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada que comprende, en porcentaje en peso:

- 5 del 0,18 al 0,26 de carbono;
del 3,50 al 4,00 de níquel;
del 1,60 al 2,00 de cromo;
del 0 hasta el 0,50 de molibdeno;
del 0,80 al 1,20 de manganeso;
10 del 0,25 al 0,45 de silicio;
del 0 a menos del 0,005 de titanio;
del 0 a menos del 0,020 de fósforo;
del 0 hasta el 0,005 de boro;
del 0 hasta el 0,003 de azufre; y
15 el resto hierro e impurezas accidentales.

en la que el acero apto para endurecimiento al aire y atemperado se ha sometido a atemperado por medio de calentamiento del acero apto para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), y en la que la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 467 HBW como se mide de acuerdo con la especificación ASTM E10-10.

2. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 1, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una resistencia frente a la tracción final dentro de un intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 238 ksi (1.641 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 175 ksi (1.207 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo del 14 % al 16 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 31 pie-libra (42 J) a 53 pie-libra (72 J).

3. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 1, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), el límite elástico de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada aumenta hasta el 20 % y el estiramiento en porcentaje y el valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada no disminuyen.

4. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 1, que comprende, en porcentaje en peso, de 0,18 a 0,24 de carbono.

5. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 4, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 459 HBW, tal y como se mide de acuerdo con la especificación ASTM E10-10.

6. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 4, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una resistencia frente a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 237 ksi (1.634 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 158 ksi (1.089 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo del 15 % al 17 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 37 pie-libra (50 J) a 53 pie-libra (72 J).

7. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 4, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C) el límite elástico de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada aumenta hasta el 8 % y el estiramiento en porcentaje y el valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada no disminuyen.

8. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 1, que comprende, en porcentaje en peso, del 0,18 al 0,21 por ciento de carbono.

9. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 8, en la que tras el

atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 433 HBW, tal y como se mide de acuerdo con la especificación ASTM E10-10.

5 10. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 8, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C), la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada tiene una resistencia frente a la tracción final dentro del intervalo de 188 ksi (1.296 MPa) a 237 ksi (1.634 MPa); un límite elástico dentro del intervalo de 133 ksi (917 MPa) a 146 ksi (1.007 MPa); un estiramiento en porcentaje dentro del intervalo del 15 % al 16 %; y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C dentro del intervalo de 44 pie-libra (60 J) a 53 pie-libra (72 J).

15 11. La aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de la reivindicación 8, en la que tras el atemperado de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas y a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C) el límite elástico de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada aumenta hasta el 3 % y un estiramiento en porcentaje y un valor en probeta entallada-v de Charpy a -40 °C de la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada no disminuyen.

20 12. Un artículo de fabricación que comprende la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de cualquiera de las reivindicaciones 1, 4 y 8.

25 13. El artículo de fabricación de la reivindicación 12, en el que el artículo se escoge entre una armadura de acero, un casco protector frente a explosiones, un casco con forma de V protector frente a explosiones, un blindaje para vehículo protector frente a explosiones y una cubierta protectora frente a explosiones.

30 14. Un método de tratamiento por calor de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada, que comprende:

proporcionar una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada;
tratar térmicamente por atemperado la aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada durante un tiempo de atemperado dentro del intervalo de 4 horas a 10 horas a una temperatura de atemperado dentro del intervalo de 300 °F (149 °C) a 450 °F (232 °C); y
35 enfriar al aire la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada hasta temperatura ambiente, en donde la aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada comprende una aleación de acero apta para endurecimiento al aire y atemperada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 y tiene una dureza de Brinell dentro del intervalo de 360 HBW a 467 HBW, tal y como se mide de acuerdo con la especificación ASTM E10-10.

40 15. El método de la reivindicación 14, en el que la provisión de una aleación de acero apta para endurecimiento al aire, enfriada al aire y austenizada comprende al menos uno de laminado, forjado, extrusión, plegado, maquinizado y trituración.

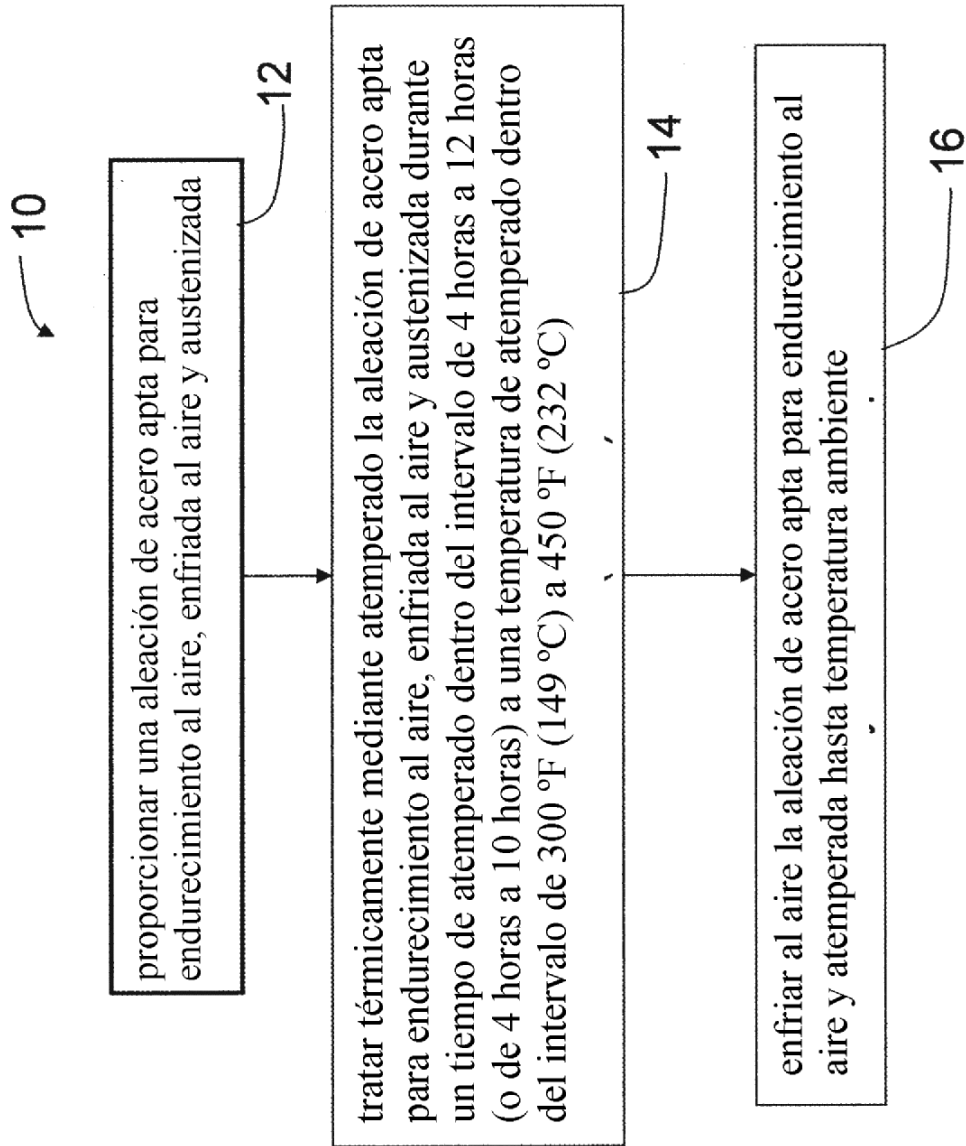


Figura 1

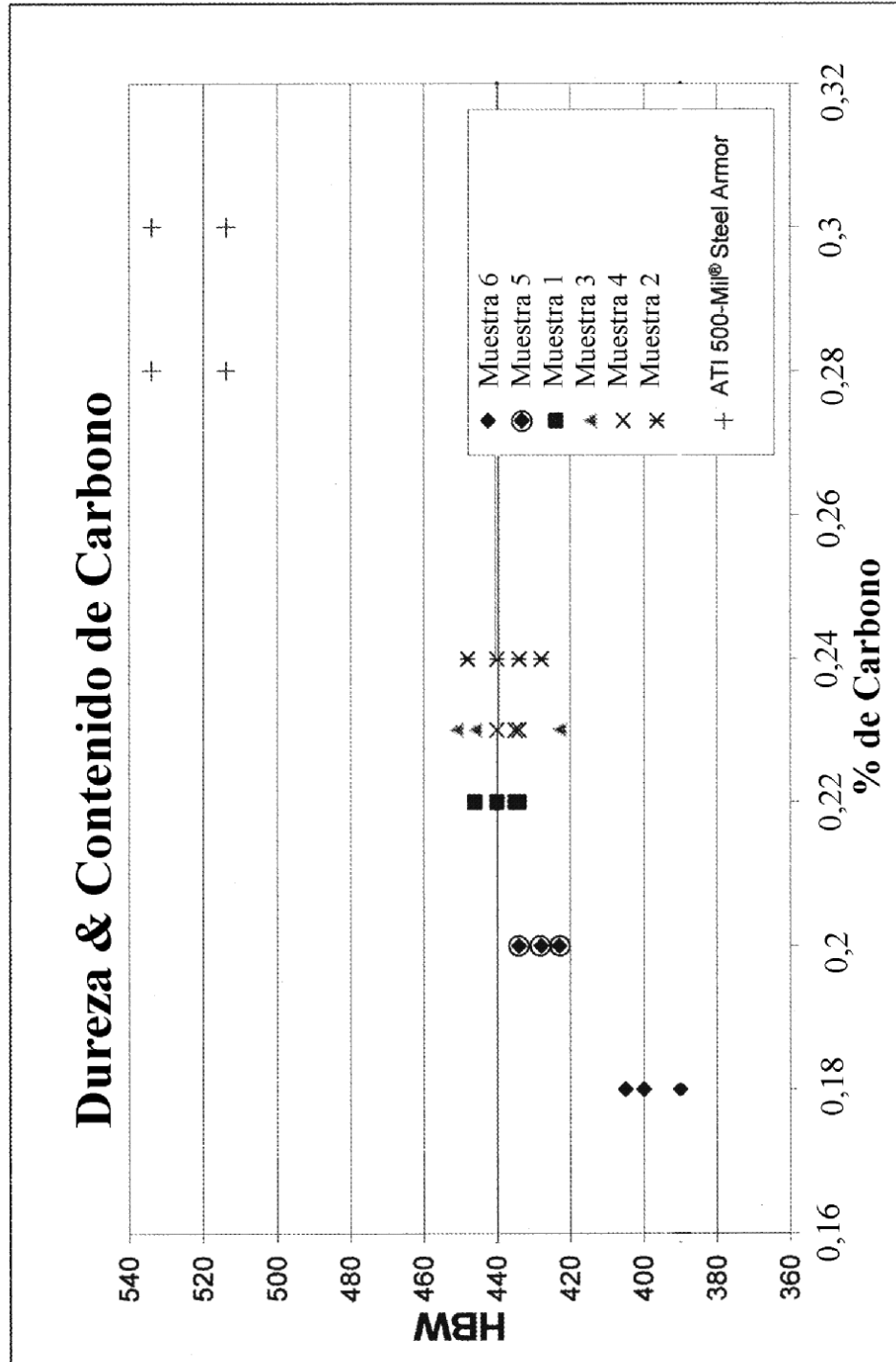


Figura 2

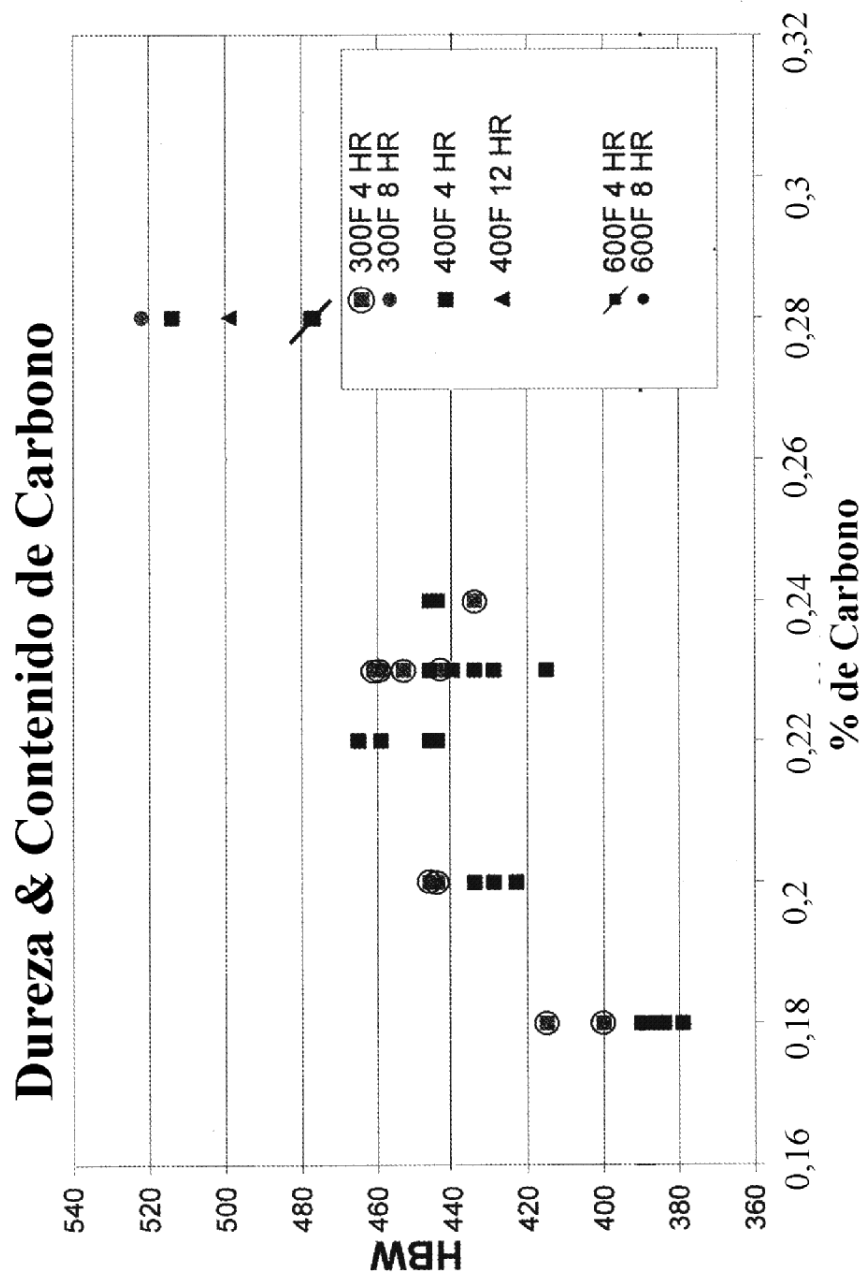


Figura 3

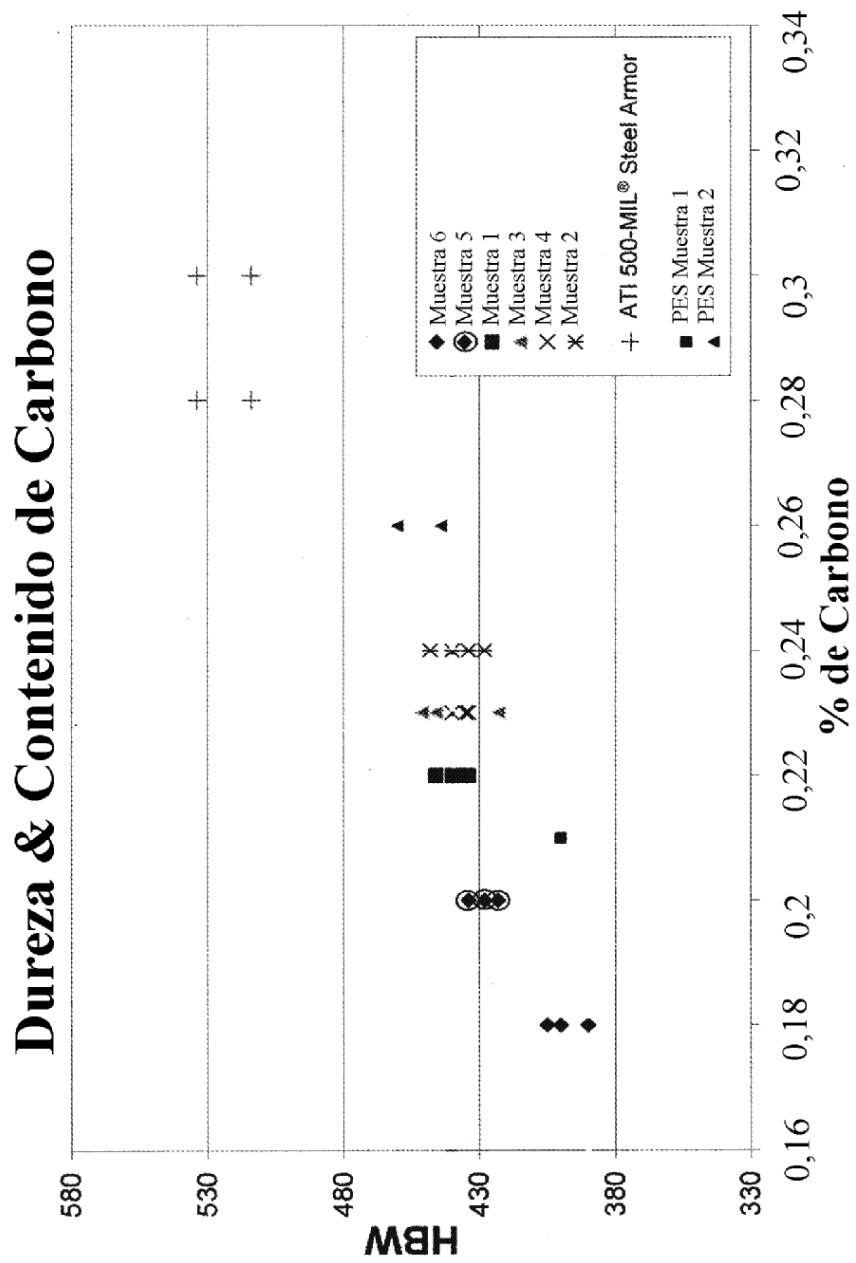


Figura 4

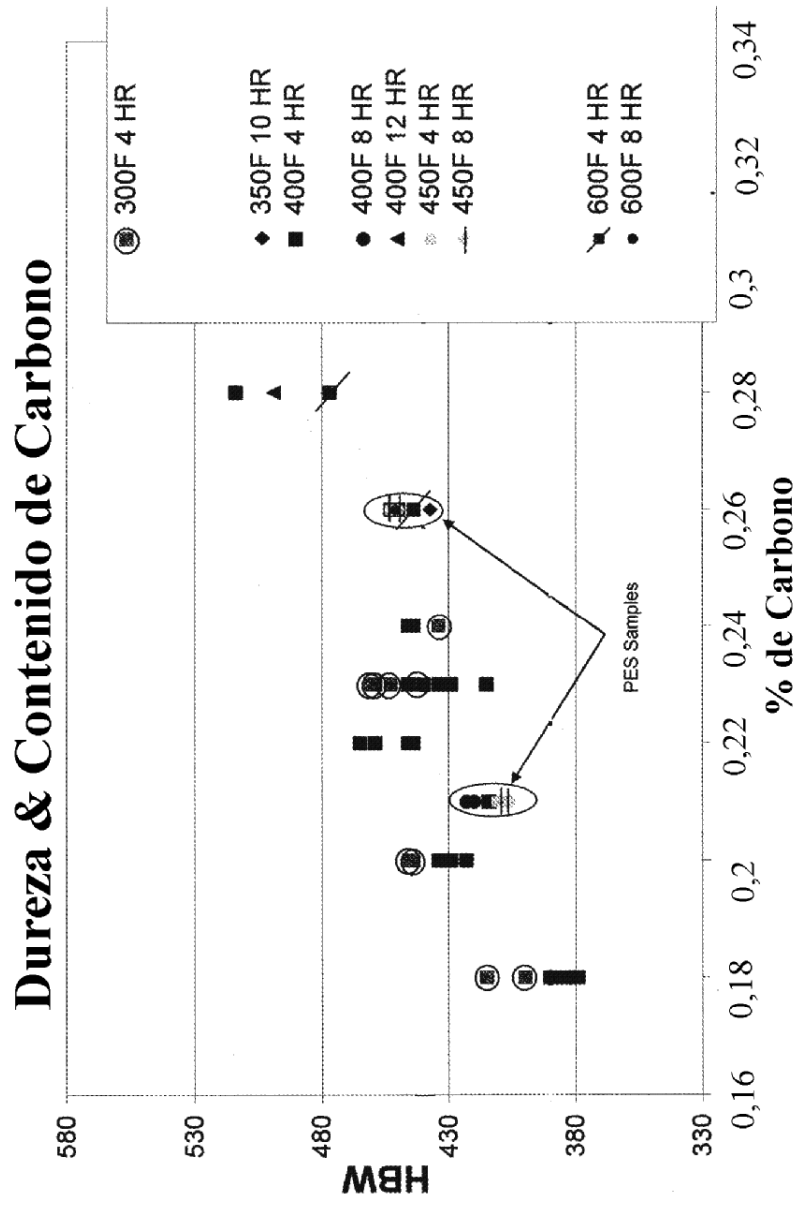


Figura 5

Propiedades Mecánicas vs Química

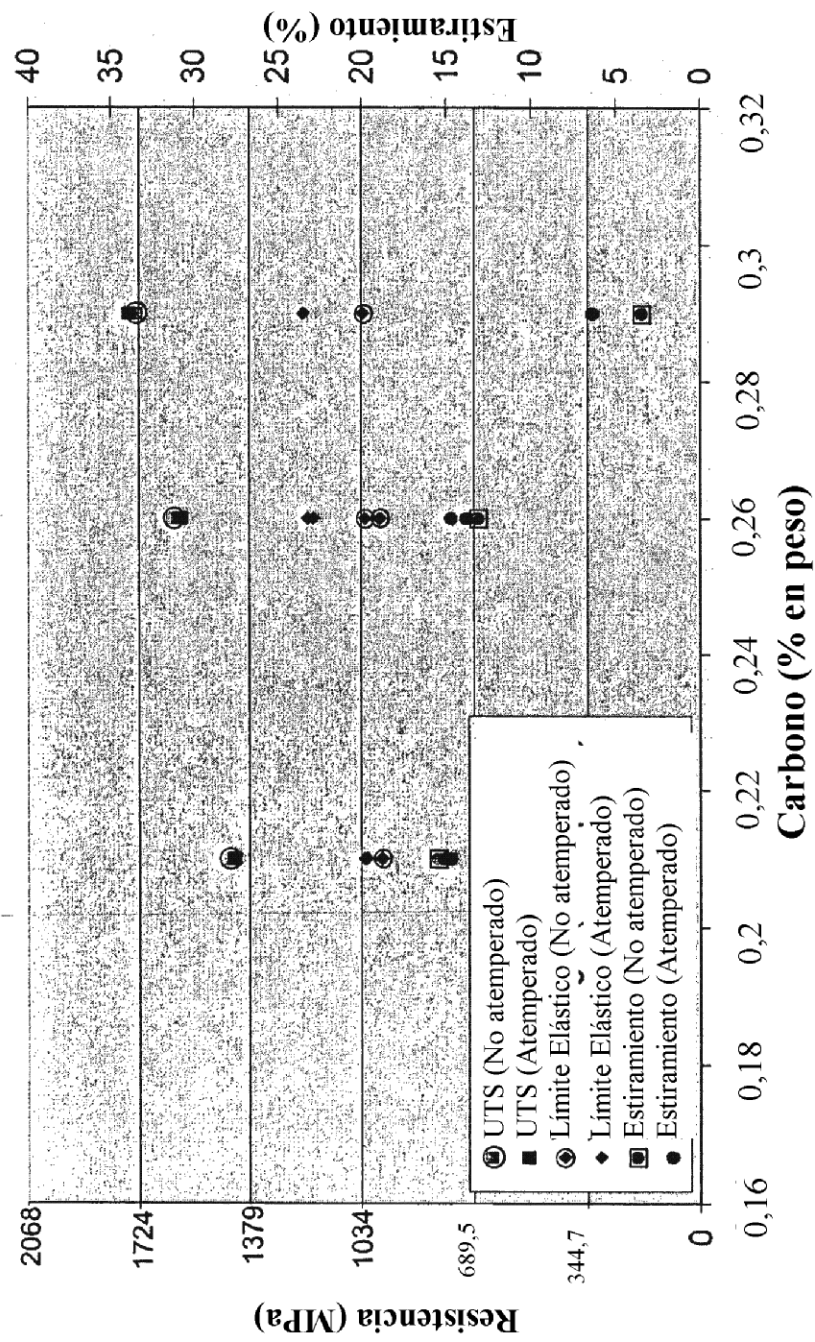


Figura 6

Probeta Entallada-V de Charpy vs Química

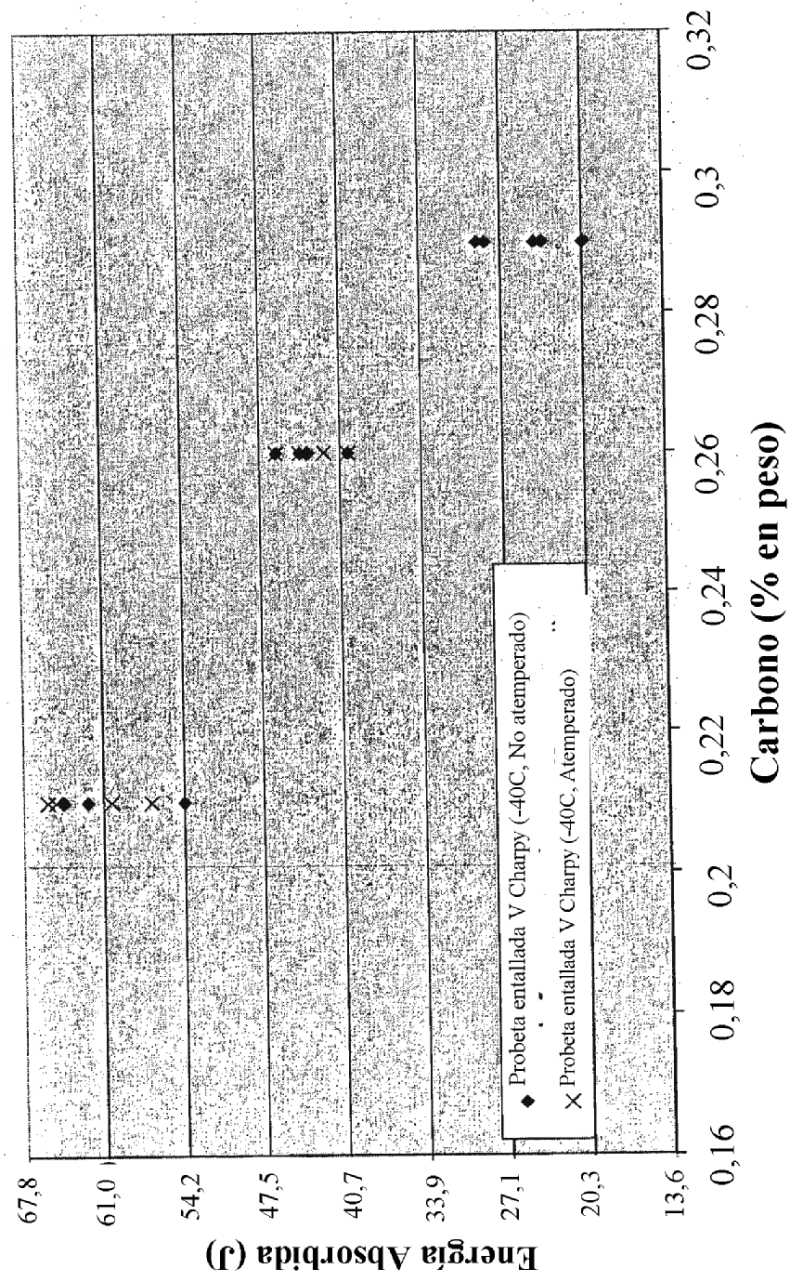


Figura 7