

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
18 de Septiembre de 2008 (18.09.2008)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2008/111828 A2

(51) Clasificación Internacional de Patentes:

C23C 24/04 (2006.01) C25D 11/02 (2006.01)

C22C 21/00 (2006.01) C25D 11/04 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/MX2008/000041

(22) Fecha de presentación internacional:

14 de Marzo de 2008 (14.03.2008)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

60/918,065 15 de Marzo de 2007 (15.03.2007) US

12/073,879 11 de Marzo de 2008 (11.03.2008) US

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):

TUBOS DE ACEROS DE MEXICO, S.A. [MX/MX];
Carretera México-Veracruz, Km. 433.7, Vía Jalapa,
CP.91697 Veracruz (MX).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente):

IZQUIERDO, GARCIA, Alfonso [MX/MX]; Carretera México-Veracruz, Km. 433.7, Vía Jalapa, CP.91697 Veracruz (MX). **QUINTANILLA CARMONA, Héctor Manuel** [MX/MX]; Carretera México-Veracruz, Km. 433.7, Vía Jalapa, CP.91697 Veracruz (MX).

(74) Mandatario: **RAMOS DE MIGUEL, César**; Olivares &

Cia, S.C., Pedro Luis Ogazón 17, Col. San Ángel, México, D.F. 01000 (MX).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,

para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: SEAMLESS STEEL PIPE TO BE USED AS A STEEL CATENARY RISER IN THE TOUCHDOWN ZONE

(54) Título: TUBERIA DE ACERO SIN COSTURA PARA USARSE COMO UN ELEVADOR CATENARIO DE ACERO EN EL AREA DE CONTACTO

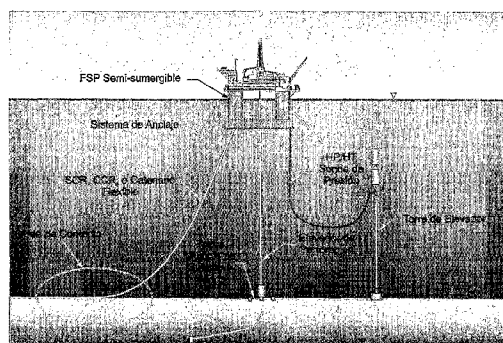


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to an SCR with upset ends, consisting of a novel chemical composition having a low carbon content and a microstructure, and to a method for producing said SCR. Said method improves the fatigue life of the SCR by creating a single component with the riser pipe section in the touchdown zone. The SCR with upset ends and a low carbon content obtains its desired properties by means of the heat treatment to which it is subjected. The novel chemical composition having a low carbon content and microstructure comprise, in weight percentage, between 0.04 and 0.10 of carbon, between 0.40 and 0.70 of manganese, between 0.15 and 0.35 of silicon, between 0.40 and 0.70 of chrome, between 0.40 and 0.70 of molybdenum, between 0.10 and 0.40 of nickel, a maximum of 0.008 of nitrogen, between 0.010 and 0.045 of aluminium, a maximum of 0.005 of sulphur, a maximum of 0.020 of phosphorus, between 0.003 and 0.020 of titanium, between 0.020 and 0.035 of niobium, no more than 0.10 of vanadium, no more than 0.20 of copper, a maximum of 0.020 of tin, and the equivalent of a maximum of 0.43 of carbon and no more than 0.23 of PCM, with a yield strength of at least 4569.5 kg/cm², an ultimate tensile strength of at least 541 3.1 kg/cm², and a YS/UTS ratio lower than 0.89 in the material forming the body of the pipe, the transition zone and the upset end.

[Continúa en la página siguiente]



WO 2008/111828 A2



SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(84) **Estados designados** (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

Declaraciones según la Regla 4.17:

- sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(ii))
- sobre el derecho del solicitante a reivindicar la prioridad de la solicitud anterior (Regla 4.17(iii))

Publicada:

- sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe

(57) **Resumen:** La presente invención describe un SCR de recaladura de una composición química con bajo contenido de carbono novedosa y microestructura así como un método para fabricar el mismo, el cual logra una mejora superior en la vida de fatiga ya que es integral con la sección de tubería de elevador en el Area de Contacto. El SCR de recaladura con un bajo contenido de carbono logra sus propiedades deseadas a través del tratamiento térmico al es sometido. La composición química con bajo contenido de carbono novedosa y microestructura comprenden en porcentaje en peso, carbono 0.040-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40- 0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 Max y PCM no más de 0.23 y teniendo un límite elástico de al menos 4569.5 kg/cm², la resistencia a la tracción final de por lo menos 541 3.1 kg/cm² y una relación de YS/UTS por debajo de 0.89 en el material representando el cuerpo de tubería, la zona de transición y el extremo de recaladura.

**TUBERIA DE ACERO SIN COSTURA PARA USARSE COMO UN
ELEVADOR CATENARIO DE ACERO EN EL AREA DE CONTACTO**

CAMPO DE LA INVENCION

5

Esta invención se refiere a tubos de acero sin costura para usarse como un elevador catenario de acero.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

En años recientes, el interés en explotar campos petrolíferos en mar abierto de aguas muy profundas se ha incrementado sensiblemente. Como una consecuencia, se han desarrollado varias soluciones de sistemas de producción marinos. Las soluciones
15 actualmente disponibles se dirigen en general a sistemas de producción semi-flotantes y flotantes, los cuales son sometidos a varios movimientos con respecto al fondo del mar, principalmente debido a olas marinas, corrientes y fenómenos de marea. Los sistemas antes mencionados son completados por sistemas
20 elevadores condescendientes compatibles con estaciones de superficie móviles.

Los Elevadores Catenarios de Acero (SCR, según siglas en inglés) representan uno de los sistemas elevadores más importantes que serán adoptados en estas situaciones de reto. Dicho componente
25 es normalmente sometido a espectros complejos de carga de fatiga

relacionados tanto con la movilidad de la plataforma flotante como con la extensión grande libre de línea libre desde el fondo del mar hacia la superficie. Como una consecuencia, una gran preocupación en el diseño de un SCR está relacionada con la resistencia a la fatiga. Ya que la carga cíclica es predominantemente en la dirección axial, directamente somete a esfuerzo las uniones soldadas entre tuberías empalmadas. Dichas uniones en general representan el punto más débil con respecto a la resistencia a la fatiga, y la vida de diseño de todo el elevador se determina por la capacidad de este componente a resistir la carga de fatiga.

El Elevador Catenario de Acero es una solución de sistema elevador probado y económico, como un elevador de producción de unión y como un elevador exportador de los Sistemas de Producción Flotante (FPS, según sus siglas en inglés) en el desarrollo campos de petróleo y gas en agua profunda y agua ultra-profunda. La aplicación de los SCRs se ve atacada por, en algunos casos, el daño de alta fatiga en el Area de Contacto (TDZ, según sus siglas en inglés) a partir de una combinación de parámetros específicos de campo tales como el tamaño del elevador, características del fluido, movimientos de recipiente, parámetros Metocean (meteoceanológicos), condiciones del suelo, y profundidad del agua.

El requerimiento de diseño más severo para los SCRs es la vida de fatiga de las soldaduras circunferenciales en la región del Area de Contacto (TDZ), en donde el elevador hace contacto con el suelo del mar y se conecta con el resto de la tubería, como se ilustra

en la Figura 1. En esta área, el elevador experimenta el nivel más alto de daño de fatiga acumulativa. Esto se debe al hecho de que en dicha área, se experimenta la flexión más alta de la línea catenaria, contrario a la ausencia total de flexión de la porción de la línea que yace en el suelo del mar. Debido a los varios movimientos del FPS (olas, mareas, corrientes, etc.), el segmento de línea en la TDZ experimenta ciclos de flexión entre la flexión máxima del elevador y la flexión de cero (recta). La severidad de carga de fatiga en la TDZ se complica más por la presencia de impactos continuos de la porción de la línea cuando entra en contacto con la tierra. Además, se debe considerar que el mismo impacto de la línea puede excavar un agujero justo en correspondencia de la TDZ, amplificando la amplitud del ciclo de flexión.

En otras palabras, el movimiento constante por el recipiente flotante superior da como resultado una trituración cíclica para el elevador contra el suelo del mar que, si no está apropiadamente diseñado, puede dar como resultado una rotura por fatiga. Además del movimiento del elevador, otros factores que pueden incrementar la severidad de la fatiga de la TDZ incluyen un diámetro grande de la tubería, profundidad de agua profunda, altas corrientes, y servicio en medios ácidos (degradación por corrosión).

Varias posibles soluciones para la mejora de la vida de fatiga en la TDZ del SCR han sido aconsejadas y estudiadas. Los SCR son utilizados como sistemas elevadores en proyectos semi-sumergibles en funcionamiento.

Se han aconsejado opciones alternativas para obtener un incremento en la vida de fatiga en la TDZ en los desarrollos de campo de agua profunda, para permitir el uso de SRC. Estas soluciones incluyen: maquinación ID para un mejor montaje y el uso
5 de técnicas de soldadura mejoradas; el uso de extremos forjados gruesos soldados hacia la costa para asegurar un mejor montaje y para reducir el Factor de Concentración de Esfuerzos (SCF, según sus siglas en inglés); el movimiento periódico del recipiente flotante para distribuir daño por fatiga a través de la longitud más larga en la
10 TDZ; y el uso de acero chapeado.

El procedimiento de recalado es comúnmente utilizado en la industria para cubierta y uniones de elevador con extremos roscados. Normalmente se utilizan grados de acero con un contenido más alto de carbón para estas aplicaciones. El procedimiento de recalado no
15 ha sido utilizado hasta ahora para tubería soldable de calidad de SCR. En la mayoría de los casos roscados, sin embargo, el incremento en la vida de fatiga ha sido limitado a un factor de entre 2 a 3. En el caso de aplicaciones de acero chapeado, se puede obtener un incremento superior en la vida de fatiga. Además, el
20 diseño de elevador catenario alternativo ha sido desarrollado cambiando el material de tubo de elevador (material compuesto, titanio) o a través de diseños híbridos (titanio o acero), o cambiando la forma cerca del fondo del mar a través de la provisión de flotabilidad significativa (WO 97/06341).

25 Los diseños alternativos se han enfocado en la mejora de la

resistencia del elevador catenario cerca y por arriba del fondo del mar, permitiendo así su uso en aplicaciones de ambiente más rudo y de más reto.

De esta manera, existe la necesidad de mejorar un diseño de
5 Elevadores Catenarios de Acero convencionales para el Area de Contacto (SCR TDZ) para obtener un incremento significativo en la vida de fatiga, particularmente, incrementando la vida de fatiga en SCR TDZ por arriba de 3 bajo ambientes de servicio en medios ácidos y no ácidos con una tubería que consiste de tres regiones:
10 cuerpo de tubería, zona de transición y extremo de recalcadura, como se ilustra en la Figura 2.

Para lograr esta necesidad, se han desarrollado tuberías de recalcadura en uniones soldadas. El simple concepto para el funcionamiento mejorado de fatiga consiste, en este caso, en reducir
15 localmente la tensión experimentada por la soldadura con respecto a la escala de tensión generalmente experimentada por el cuerpo de tubería y, por lo tanto, la sección del elevador en la TDZ. UN SCR de recalcadura de una composición química con un bajo contenido de carbono y microestructura de esta manera se aconsejó para obtener
20 una mejora superior en la vida de fatiga ya que está comprendido con la sección de tubería de elevador.

La confiabilidad de fabricación de Elevador de extremo de recalcadura gruesa para el Area de Contacto con resistencia a la fatiga mejorada varía, sin embargo, con el grado del acero que puede
25 ser soldado para aplicaciones en mar abierto. La confiabilidad para

fabricar un Elevador de extremo grueso para el Area de Contacto con resistencia a la fatiga mejorada es la clave para asegurar que el SCR de recalcadura tiene un valor práctico en la aplicación en la TDZ.

Varias soluciones del Elevador Catenario de Acero (SCR) han
5 incluido requerimientos moderados de servicio en medios ácidos. El Servicio en Medios Ácidos es el funcionamiento del Elevador en ambientes de H_2S . Las propiedades metalúrgicas conocidos para efectuar el funcionamiento en ambientes que contienen H_2S incluyen: Composición química, limpieza de acero, método de fabricación,
10 resistencia, cantidad de trabajo en frío, condiciones de tratamiento con calor y microestructura. Ya que el procedimiento de fabricación de tubería de recalcadura involucra pasos adicionales subsecuentes a la fabricación de la tubería sin costura, el producto extremo tiene que lograr estos requerimientos.

15

BREVE DESCRIPCION DE LA INVENCION

La presente invención describe un SCR de recalcadura de una composición química con un bajo contenido de carbono novedoso y
20 microestructura que logra una mejora superior en la vida de fatiga ya que es integral con la sección de tubería de elevador en el Area de Contacto. El SCR de recalcadura con un bajo contenido de carbono logra sus propiedades deseadas a través del tratamiento térmico al cual se somete. La composición química con un bajo contenido de
25 carbono novedosa y microestructura comprenden en porcentaje en

peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40-0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 máx. y PCM de no más de 0.23 y teniendo un límite elástico de al menos 4569.50 kg/cm², resistencia a la tracción final de al menos 5413.10 kg/cm² y una relación de YS/UTS por debajo de 0.89 en material representando el cuerpo de tubería, el área de transición y el extremo de recalcadura.

La presente invención también describe un método para fabricar una tubería de acero sin costura para un elevador catenario de acero con extremos de recalcadura teniendo un límite elástico de al menos 4569.50 kg/cm² tanto en el cuerpo de tubería, transición como la zona de recalcadura, que comprende los pasos de:

(a) proporcionar una tubería de acero que comprende en porcentaje en peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40- 0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 máx. y PCM de no más de 0.23;

(b) recalcar los extremos de la tubería en múltiples pasos con ciclos de calentamiento intermedios entre ellos para lograr el espesor requerido;

- (c) extinguir y templar entre 630-710°C; y
- (d) maquinar los extremos recalcados.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

5

La Figura 1 muestra la Configuración de Elevador Catenario de Acero de una modalidad preferida de la presente invención.

La figura 2 ilustra una modalidad de la tubería con un extremo de recalcadura de una modalidad preferida de la presente invención.

10 La Figura 3 muestra macro-secciones típicas de soldaduras RP2Z para diferentes condiciones de soldadura de la tubería de una modalidad preferida de la presente invención.

Las Figuras 4(a) y (b) muestran los resultados de la prueba a la tracción para la dirección longitudinal y dirección transversal de una
15 modalidad preferida de la presente invención.

La Figura 5 ilustra los resultados de la relación Y/T longitudinal y transversal de una modalidad preferida de la presente invención.

La Figura 6 muestra la Dureza Vickers HV10 de una modalidad preferida de la presente invención.

20 La Figura 7 ilustra la Prueba de Impacto de Entalla Charpy V Transversal a -30°C de una modalidad preferida de la presente invención.

La Figura 8 muestra la Curva Media para especímenes 10 3/4" x 0.866" X65 de una modalidad preferida de la presente invención.

25 Las Figuras 9(a) y 9(b) muestran los resultados de prueba a la

tracción para la dirección longitudinal y la dirección transversal de una modalidad preferida de la presente invención.

La Figura 10 ilustra los resultados de la relación Y/T longitudinal y transversal de una modalidad preferida de la presente
5 invención.

La Figura 11 muestra la Dureza Vickers HV10 de una modalidad preferida de la presente invención.

La Figura 12 ilustra la Prueba de Impacto de Entalla Charpy V Transversal a -30°C de una modalidad preferida de la presente
10 invención.

La Figura 13 muestra la Curva Media para especímenes 10 3/4" x 1.250" X65 de una modalidad preferida de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

15

Como se ilustra en la Figura 1, la presente invención describe un SCR de recalcadura de una composición química con bajo contenido de carbono novedosa y microestructura que logra una mejora superior en la vida de fatiga ya que es integral con la sección
20 de tubería de elevador en el Area de Contacto. El SCR de recalcadura con bajo contenido de carbono logra sus propiedades deseadas a través de tratamiento término al cual se somete.

El grado de cero contemplado para usarse en el SCR de recalcadura de la presente invención es X-65 (un límite elástico de
25 por lo menos 4569.50 kg/cm² en el cuerpo de tubería y en los

extremos de recalcadura).

El diseño de aleación consiste de un acero con bajo contenido de C (0.13 máx.), bajo Mn (1.5 máx.) con adiciones de elementos de microaleación tales como Niobio, Titanio (Nb+Ti 0.1 máx.), Cromo y
5 Molibdeno (Cr+Mo 1.2 máx.). El propósito de agregar estos dos últimos elementos de aleación es incrementar la capacidad de endurecimiento y promover una transformación martensítica-bainítica en los extremos de recalcadura gruesos y cuerpo de tubería logrando una alta resistencia. El equivalente de carbono (CE) está diseñado
10 para no exceder a .43 según requerido por API 5L. Muy preferiblemente, el equivalente de carbono está limitado a 0.41. La modalidad muy preferida de la presente invención no excede a 0.39.

Las tuberías son enrolladas con calor utilizando un esquema de enrollamiento controlado por recristalización fabricado a partir de
15 palanquillas redondas a través de un procedimiento de colado continuo (CC). Después del enrollado con calor, las tuberías después son inspeccionadas con métodos no destructivos tales como inspección electromagnética, inspección de partícula magnética húmeda y prueba ultrasónica con el propósito de encontrar
20 cualesquiera defectos longitudinales o transversales en las superficies internas o externas y para verificar el espesor de la pared. Las tuberías después son recalculadas recalentando los extremos de tubería por arriba de la temperatura de disolución del Nb (C, N) para proporcionar un flujo plástico adecuado durante cada
25 operación de recalcadura mientras se controla el tamaño de grano de

la austenita a través de la precipitación de partículas finas de TiN. El radio óptimo en la transición de cuerpo de tubería recalcada es modelado a través del Análisis de Elemento Finito (FEA), en donde el Factor de Concentración de Tensión (SCF) dio como resultado 1.135 y 1.12 para el Caso 1 (273.1 mm OD por 22.0 mm WT del cuerpo de tubería, 28 mm WT como los Extremos de recalcadura maquinados y 35 mm como los extremos de recalcadura, grado de acero X65 para aplicación de servicio sin ácidos medios , 10.75" x 0.866") y el Caso 2 (273.1 mm OD por 31.8 mm WT cuerpo de Tubería, 45 mm WT como Extremos de Recalcadura maquinados y 53 mm como extremos de recalcadura, grado de acero X65 para aplicación de servicio en ácidos medios, 10.75" x 1.250"), respectivamente. Después de la recalcadura de ambos extremos de las tuberías, se diseñó y se utilizó una extinción crítica y tratamiento con calor de revenido para proporcionar las propiedades mecánicas finales. Otra vez se realizó la prueba no destructiva en el cuerpo de tubería, y la superficie de OD e ID de los extremos de recalcadura se maquinaron y después se inspeccionaron con inspección de partícula magnética húmeda y prueba ultrasónica manual. Finalmente, las tuberías se maquinaron por bisel para soldadura circunferencial. El comportamiento de soldadura y fatiga son concienzudamente caracterizados.

Después del tratamiento de extinción y de calor de revenido, el material después se caracterizó totalmente. El Límite Elástico (YS), la Resistencia a la Tracción Final (UTS) y la relación de YS/UTS a temperatura ambiente se evaluaron utilizando especímenes redondos

tanto longitudinales como transversales tomados de las regiones de Extremo de Recalcadura, Transición de Inclinación y Cuerpo de Tubería en dos cuadrantes, 0° y 180°.

Las durezas Vickers HV10 se midieron en las secciones de OD (diámetro externo), MW (pared media) e ID (diámetro interno) en 4 cuadrantes se tomaron a partir de las regiones de Extremo de Recalcadura, Transición de Inclinación y Cuerpo de Tubería. Las lecturas de dureza se tomaron a 1.5 mm desde el OD e ID. Además, se realizó la prueba de impacto de entalla Charpy V transversal a -30°C y -40°C para el caso 1 y el caso 2, respectivamente utilizando especímenes de 10x10. La resistencia de servicio en medios ácidos se analizó tanto en el cuerpo de tubería como los extremos de recalcadura a través de las Pruebas de Agrietamiento Inducido por Hidrógeno (HIC) de Flexión de Cuatro Puntas (FPBT).

La presente invención de esta manera describe una tubería de acero sin costura para un elevador catenario de acero con extremos de recalcadura que comprende en porcentaje en peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40-0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., Estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 máx., y PCM de no más de 0.23 y teniendo un límite elástico de por lo menos 4569.50 kg/cm² en el material que representa el cuerpo de tubería, la zona de transición y el extremo de recalcadura.

La microestructura novedosa del SCR de recalcadura que permite a la tubería de acero sin costuras lograr una mejora superior en la vida de fatiga incluye las siguientes propiedades mecánicas y requerimientos de corrosión para el SCR de Recalcadura como se muestra en el Cuadro 1. Los requerimientos mínimos están después de la especificación API 5L, 43^{ava}. Edición.

Cuadro 1 – Propiedades mecánicas y requerimientos de corrosión para SCR de Recalcadura

Requerimientos	Caso 1 de Servicio sin Medios Ácidos	Caso 2 Servicio con Medios Ácidos
Límite Elástico 0.5% EUL	4569.50 kg/cm ² (mínimo), 5624 kg/cm ² (máximo)	4569.50 kg/cm ² (mínimo), 5624 kg/cm ² (máximo)
Resistencia a la Tensión Final 0.5%EUL	5413.1 kg/cm ² (mínimo)	5413.1 kg/cm ² (mínimo)
Relación de Límite Elástico/Resistencia a la Tensión	0.89 (máximo)	0.89 (máximo)
Elongación (% in 2 ")	18% (mínimo)	18% (mínimo)
Dureza Vickers (HV10)	269 (máximo)	250 (máximo)
Valor de energía adsorbida para 3 especímenes individuales (Joules)	70 Individual mínimo, 90 Promedio mínimo at- 30°C	70 Individual mínimo, 90 Promedio mínimo -40°C
Dirección L-C de Desplazamiento de Abertura de Punta de Agrietamiento a -10°C (mm), 3 especímenes individuales	0.510 Individual mínimo,	0.510 Individual mínimo,
	0.635 Promedio mínimo	0.635 Promedio mínimo
HIC como por NACE TM0284 usando solución "A". Período de Prueba 96 hrs.		CTR 3.0% (máximo) CLR 10.0% (máximo) CSR 1.0% (máximo)
FPBT como por ASTM G48, solución de prueba "A" de NACE TM0177. Prueba de tensión 95% de SMYS. Período de Prueba 720 hrs.		Sin grietas después de 720 hrs

El Curado 2 muestra un resumen de microestructuras observadas. Todas las microestructuras son homogéneas en la pared media, la cual es la sección más crítica en donde principalmente la bainita, y una mezcla de ferrita acicular y no poligonal se observa independiente de la sección (cuerpo de tubería, transición o recalcadura). Existe una ligera presencia de martensita cerca de las secciones de OD e ID.

Cuadro 2 – Microestructura de la Tubería de Acero Sin Costuras de SCR de Recalcadura

	Cuerpo de Tubería	Transición	Recalcadura
ID	Bainita, Martensita Revenida y Ferrita Acicular	Bainita, Martensita Revenida y Ferrita Acicular	Bainita y presencia de Ferrita acicular y no poligonal
MW	Bainita y presencia de Ferrita acicular y no poligonal	Bainita, Ferrita Acicular y no poligonal	Bainita y Ferrita Acicular y no poligonal
OD	Bainita, Martensita Revenida y Ferrita Acicular	Bainita, Martensita Revenida y Ferrita Acicular	Bainita y presencia de Ferrita acicular y no poligonal

Se desarrolló un diseño de aleación específico y se fijaron parámetros de tratamiento con calor para obtener las características microestructurales deseadas en secciones tanto de cuerpo de tubería como de recalcadura de pared pesada. La combinación de los parámetros antes mencionados da como resultado excelentes propiedades mecánicas, las cuales satisfacen los objetivos de resistencia y corrosión.

La presente invención también describe un método para fabricar una tubería de acero sin costuras para el elevador catenario

de acero con extremos de recalcadura teniendo un límite elástico de al menos 4569.50 kg/cm² tanto en el cuerpo de tubería, transición como la zona de recalcadura, que comprende los pasos de: (a) proporcionar una tubería de acero que comprende en porcentaje en peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40- 0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., Estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 máx., y PCM no más de 0.23; (b) extinguir y revenir de entre 630-710°C.

Se utilizan múltiples pasos de ciclos de recalcadura y calentamiento entre cada operación de recalcadura para lograr el espesor requerido en los extremos de recalcadura para cada dimensión (espesor de pared de 35 mm y espesor de pared de 53 mm para el caso 1 y 2 antes mencionado) al final obtenido como los extremos de recalcadura maquinados antes mencionados.

Se realizaron pruebas de soldabilidad y fatiga completas para un gran número de tuberías para establecer el rendimiento de la fatiga. Estas pruebas se describen a continuación:

Programa de Soldadura

Se evaluaron las propiedades de las tuberías de recalcadura sometidas a diferentes ciclos térmicos inducidos por operaciones de soldadura, inicialmente soldando en una tubería con un espesor de

pared de 35 mm con la química como los extremos de recalcadura.

Las condiciones se resumen en el Cuadro 3, y han sido aplicadas en una configuración de bisel de soldadura según recomendado en el estándar API RP2Z; Calificación de Pre-
5 producción para Placas de Acero para Estructuras en Mar Abierto [1].

Esta preparación de soldadura específica con uno de los biseles a 0° permite cuantificar la tenacidad (impacto y prueba CTOD) de HAZ en condiciones más severas que con el bisel V o U convencional (el agrietamiento por fatiga es colocado en el material
10 de HAZ de grano grueso prescrito para al menos el 15% de los dos tercios centrales del espesor del espécimen).

Cuadro 3 – Condiciones de soldadura API RP2Z

15	Condiciones de soldadura API RP2Z en una tubería X70 con un espesor de 35mm			
	Entrada de Calor (kJ/mm)	Temperatura de Pre calentamiento (°C)	Temp. entrepasos (°C) pasos de llenado	Temp. entrepasos (°C) Pasos de cubierta
	0.6	100	100	100
	0.6	200	200	200
	0.8	150	150	150
	0.8	200	200	200
	0.8	200	200	250
	2.0	250	250	250
	3.0	250	250	250

20 La prueba de soldabilidad requiere de la caracterización de HAZ para dos casos sometidos a diferentes combinaciones de calor utilizando un bisel API PR2Z: Cuantificación de Pre-producción para Placas de Acero para Estructuras en Mar Abierto [8]. Todas las pruebas pasaron o excedieron los requerimientos incluyendo dureza
25 HV10 por abajo de 250 para el caso de servicio en medios ácidos

(Caso 2).

La caracterización HAZ ha sido corrida en ambas tuberías de recalcadura con un espesor de 28 mm y 45 mm en los extremos de recalcadura, con las condiciones de soldadura listadas en el Cuadro

5 4. Los consumibles y entrada de calor utilizados son:

- STT de Lincoln para el paso de raíz, entrada de calor 0.55-0.75 kJ/mm,

- P-GMAW para pasos de llenado y cobertura con entrada de calor 0.6 kJ/mm,

10 - SAW para pasos de llenado y cobertura con entrada de calor igual o mayor que 0.8 kJ/mm.

**Cuadro 4 – Condiciones de soldadura API RP2Z en ambas
tuberías de recalcadura X65**

15

Condiciones de soldadura API RP2Z en ambas tuberías de recalcadura X65			
Entrada de Calor (kJ/mm)	Temperatura de precalentamiento (°C)	Temp. entrepasos (°C) pasos de llenado	Temp. entrepasos (°C) pasos de cubierta
0.8	200	200	250
1.5	250	250	250
3.0	250	250	250

Caracterización de HAZ: prueba y resultados

- Dureza:

20 En la tubería con un espesor de 35 mm, las indentaciones de dureza en HAZ están localizadas en líneas paralelas al cuerpo de tubería, a 1.5 mm desde el diámetro interno y externo de la tubería y

cada 4 mm a través del espesor.

Para satisfacer los requerimientos de 250 Hv10 máximo en HAZ (desde la raíz hasta la parte superior) para aplicación de servicio en medios ácidos, las condiciones de soldadura son:

- 5 - una entrada de calor mínima de 0.65 kJ/mm combinada con una temperatura de precalentamiento de 200°C para paso de raíz,
- una entrada de calentamiento mínima de 0.8 kJ/mm combinada con una temperatura entre pasos de 200°C para pasos de llenado,
- 10 - una entrada de calentamiento mínima de 0.8 kJ/mm combinada con una temperatura entre pasos de 250°C para pasos de cubierta.

Además, para la cubierta, la última perla no está sobre un lado de un bisel pero está depositada dentro de la anchura de la
15 preparación de soldadura de manera que cada paso de cubierta en los bordes del bisel obtiene el beneficio de un efecto de revenida de los pasos subsecuentes de cubierta. En los extremos de recalcadura con un espesor de 28 y 45 mm, aplicando las condiciones de soldadura antes mencionadas, la dureza en HAZ no excede a 250
20 HV10.

Las macro-secciones típicas de las soldaduras API RP2Z producidas para dos entradas de calor se muestran en la Figura 3. Estas soldaduras después se probaron para propiedades de dureza y tenacidad (Charpy y CTOD).

- 25 - Tenacidad:

La prueba de impacto corre a -40°C , de la línea de fusión + 1 mm a la línea de fusión + 3 mm, en soldaduras que corren sobre una tubería con un espesor de 35 mm y una entrada de calor alta (2 y 3 kJ/mm). La energía adsorbida obtenida está por arriba de 200 J para cada espécimen.

En las soldaduras de extremos de recaladura, estos valores de energía adsorbida muy altos en HAZ se duplican, sin considerar el espesor de pared y las condiciones de soldadura: valor mínimo logrado 200 J, valor máximo logrado 450 J.

Además, la prueba CTOD (SENB, especímenes Bx2B) en Haz como por API RP2Z corre a -10°C . Con la escala de entrada de calor de 0.8 a 1.5 kJ/mm, la cual es típica de soldadura de campo, los valores de CTOD obtenidos son de 1.0 a 1.5 mm, lo cual muestra una excelente ductilidad de HAZ.

Desarrollo de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)

Con el fin de forzar al agrietamiento por fatiga a iniciar lejos del área de soldadura y así cuantificar mejor la resistencia de fatiga del diseño de recaladura, se desarrolló una especificación de procedimiento de soldadura específico y se utilizó para que las soldaduras sean completamente de fatiga de escala completa: selección de una soldadura consumible con tenacidad muy alta, remoción de raíz soldada y refuerzo de la cubierta.

La prueba de escala completa muestra un excelente

comportamiento de fatiga de uniones circunferenciales de recalcadura. En ambos casos, los datos corresponden a falla, o descargas, más allá de la curva media objetivo para los grupos de pruebas, demostrando que ambas geometrías de recalcadura soldada
5 circunferencial califican como componente de clase superior (B1 en DNV-RP-C203) para resistencia a la fatiga. Los resultados de la curva media pueden verse en las Figuras 8 y 13 para el caso 1 y caso 2, respectivamente.

10

EJEMPLOS

Se utilizaron tuberías de acero sin costura de recalcadura de Pared Pesada con las siguientes características:

Caso 1: cuerpo de tubería 273.1 mm OD por 22.0 mm WT, 28 mm WT como Extremos de Recalcadura maquinados y 35 mm
15 como extremos de recalcadura, grado de acero X65 para aplicación de servicio sin medios ácidos (10.75" x 0.866").

Caso 2: cuerpo de tubería de 273.1 mm OD por 31.8 mm WT, 45 mm WT como Extremos de Recalcadura maquinados y 53 mm como extremos de recalcadura, grado de acero X65 para aplicación
20 de servicio en medios ácidos (10.75" x 1.250").

Caso (1) Servicio en Medios Ácidos para SCR TDZ de Recalcadura de 10.75" x 0.866" WT X65

Las Figuras 4(a) y 4(b) y 5 muestran el límite elástico (YS),
25 Resistencia a la Tracción Final (UTS) y la relación de YS/UTS

evaluadas a temperatura ambiente para material extinguido y revenido. Los especímenes redondos longitudinales y transversales tomados de secciones que representan el Extremo de Recalcadura, Transición de Inclinación y Cuerpo de Tubería se probaron en dos cuadrantes, 0° y 180°. Todos los especímenes son redondos estándares, excepto por aquellos del cuerpo de tubería en la dirección transversal, que son de sub-tamaño redondo. Las Figuras 4(a) y 4(b) muestran todos los valores de YS y UTS obtenidos de la prueba a la tracción en las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente.

Las Figuras 4(a) y (b) muestran que todos los valores del Límite Elástico obtenidos están por arriba de un mínimo de 4569.5 kg/cm² y no exceden al máximo de 5624 kg/cm². Todos los valores de Resistencia a la Tracción Final obtenidos están por arriba de un mínimo establecido de 5413.1 kg/cm².

La Figura 5 muestra que, para la relación de YS/UTS, todos los valores están por abajo de 0.89, el cual se establece como la especificación máxima de YS/UTS. Los valores de la relación de YS/UTS se muestran en la Figura 5 para las direcciones tanto longitudinal como transversal.

Prueba de Dureza

Para el material en la "condición extinguida y revenida", la Dureza Vickers HV10 (e lecturas por fila) se midió en las secciones de OD, MW e ID en 4 cuadrantes tomados de las regiones de

Extremo de Recalcadura, Transición de Inclinación y Cuerpo de Tubería. Las lecturas de dureza se tomaron a 1.5 mm desde el diámetro externo (OD) y diámetro interno (ID). Los resultados de la prueba del material HV10 extinguido y revenido se muestran en la

5 Figura 6.

Aunque el material del caso 1 inicialmente no se considera para aplicación de servicio en medios ácidos, como se muestran en la Figura 6, todas las lecturas de dureza están por abajo de 250HV10 (22 HRC) de acuerdo con el requerimiento NACE para el material que

10 será utilizado en ambientes en medios ácidos.

Prueba de Tenacidad

La característica de mecánica de fractura se evaluó utilizando la Prueba de Impacto de Entalla Charpy V Transversal. La

15 temperatura de prueba es de -30°C. Se tomaron grupos de tres especímenes de tamaño completo (10x10 mm) de las regiones de extremo de recalcadura, transición de inclinación y cuerpo de tubería en dos cuadrantes, 0° y 180°, para cada muestra de material extinguido y revenido.

20 La Figura 7 muestra que todos los valores individuales de Energía Adsorbida están por arriba de 70 Joules, la cual se establece como el objetivo mínimo y 90 Joules como el promedio mínimo de 3 especímenes. La temperatura de transición obtenida en la dirección transversal utilizando especímenes de entallado Charpy

25 V de 10x10 en el material que representa el cuerpo de tubería y

extremo de recalcadura está por abajo de -60°C como se muestra en los Cuadros 5(a) y (b).

Cuadro 5 – Curva de Temperatura de Transición. (a) Cuerpo de Tubería y (b) Extremo de Recalcadura

5

Resultados de prueba de entallado Charpy V transversal (Joules), espécimen de 10x10											
Muestra	Tubería/ Extremo	Ubicación	Temp. prueba $^{\circ}\text{C}$	1	% Sh.A	2	% Sh.A	3	% Sh.A	Energía Adsorbida Prom. (J)	Area de Esfuerzo Cortante Prom. (%)
64283	Extremo Norte de Tubería 10	Cuerpo de tubería	-30	439	100	419	100	443	100	434	100
			-40	440	100	408	100	415	100	421	100
			-50	435	100	355	100	437	100	409	100
			-60	357	100	451	100	280	100	363	100

10

(a)

15

Transverse Charpy V-Notch test results (Joules), 10x10 mm specimen											
Muestra	Tubería/ Extremo	Ubicación	Temp. prueba $^{\circ}\text{C}$	1	% Sh.A	2	% Sh.A	3	% Sh.A	Energía Adsorbida Prom. (J)	Area de Esfuerzo Cortante Prom. (%)
64286	Pipe 15 South End	Upset End	-30	425	100	428	100	431	100	428	100
			-40	388	100	374	100	435	100	399	100
			-50	424	100	422	100	435	100	427	100
			-60	344	100	384	100	394	100	374	100

20

(b)

Los resultados CTOD que representan el cuerpo de tubería y extremo de recalcadura, como se muestra en el Cuadro 6, muestran resultados excepcionales por arriba de 0.6 mm a -30°C .

25

Cuadro 6 – Resultados CTOD que Representan (a) Cuerpo de Tubería (b) Extremo de Recalcadura

5

CUERPO DE TUBERÍA – RESULTADOS DE PRUEBA CTOD ESPECIMEN BX2B RECTANGULAR DE ORIENTACION LONGITUDINAL								
Muestra	Tubería	Extremo	Temperatura de Prueba °C	Delta (mm)			Valor CTOD Delta Promedio (mm)	Valor CTOD Delta Mínimo (mm)
				1	2	3		
64283	10	North	-10	1.54	1.51	1.49	1.51	1.49
64286	915	South	-30	1.49	1.52	1.39	1.47	1.39
Especificación Mínima							0.635	0.510

(a)

10

EXTREMO DE RECALCADURA – RESULTADOS DE PRUEBA CTOD ESPECIMEN BX2B COMPACTO DE ORIENTACION LONGITUDINAL								
Muestra	Tubería	Extremo	Temperatura de Prueba °C	Delta (mm)			Valor CTOD Delta Promedio (mm)	Valor CTOD Delta Mínimo (mm)
				1	2	3		
64283	10	Norte	-10	1.13	1.11	1.10	1.11	1.10
64286	15	Sur	-30	1.15	1.11	1.13	1.13	1.11
Minimum Specification							0.635	0.510

(b)

15

Análisis Microestructural

Se prepararon muestras a partir de un material así extinguido y así extinguido y revenido para el análisis microestructural. La cara transversal hacia el eje de enrollamiento metalúrgicamente se preparó rellenando con arena un papel de arena 600 y pulido a una apariencia de tipo espejo con pasta de diamante y atacado químicamente con Nital al 2% para realizar observaciones microestructurales a través de microscopio óptico.

Las microestructuras se observaron en las secciones OD, MW e ID de regiones de cuerpo de tubería, transición de inclinación y extremo de recalcadura. Se obtuvieron dos cuadrantes, 0° y 180°,

fotomicrografías a 500X representando la microestructura a partir de OD, MW e ID.

En este caso, la microestructura observada en el cuerpo de tubería después de la extinción consistió de una mezcla predominantemente de bainita y ferrita acicular a través del espesor de pared y una ligera presencia de martensita cerca de la superficie externa e interna. Similarmente, se observaron bainita y ferrita acicular y algunas regiones de ferrita no poligonal a través del espesor de pared en la sección de recalcadura.

El tamaño de grano austenítico anterior (PAGS) se midió utilizando análisis de imagen en el material así extinguido atacado químicamente con ácido pícrico acuoso en muestras del cuerpo de tubería y el extremo de recalcadura a cuadrantes de 0° y 180°, dando como resultado un tamaño promedio de 9/10 ASTM.

La microestructura después del tratamiento de revenido consistió predominantemente de bainita y ferrita acicular que se observaron a través del espesor de pared en el material representando el cuerpo de tubería, transición de inclinación y extremo de recalcadura.

20

Resultados de Prueba de Fatiga

Los resultados de prueba de fatiga se muestran en la Figura 8. Los resultados de prueba muestran un funcionamiento de fatiga muy alto en los extremos de recalcadura, transición y cuerpo de tubería.

25

Caso (2) SCR TDZ de Recalcadura 10 ¾" OD x 1.250"WT X65**Servicio en Medios Acidos**

Para el caso (2), además de toda la prueba destructiva incluyendo tracción, dureza y tenacidad realizada en el caso (1), se
5 realizó la Prueba de Agrietamiento Inducido por Hidrógeno de Servicio en Medios Acidos como por NACE TM0284 y Agrietamiento por Esfuerzo de Sulfuro utilizando la prueba de Flexión de Cuatro Puntas. La Figura 9 muestra los resultados de tracción, en donde se puede ver que los valores del Límite Elástico obtenidos están por
10 arriba de 4569.5 kg/cm² y no exceden al valor máximo de 5624 kg/cm². Todos los valores de resistencia a la tracción final obtenidos están por arriba de 5413.1 kg/cm², los cuales se establecen como el mínimo especificado.

Todos los valores de relación de YS/UTS está por abajo de
15 0.89 como se muestra en la Figura 10 tanto para dirección longitudinal como transversal.

Como se muestra en la Figura 11, todas las lecturas de dureza están por abajo de 250 HV10 (22 HRc) de acuerdo con los requerimientos de NACE MR0175 para materiales que serán
20 utilizados en ambientes en medios ácidos.

Para este caso (2), la temperatura de prueba Charpy es de -40°C. Se tomaron grupos de tres especímenes de tamaño completo (10x10 mm) de la pared media de las regiones de extremo recalcadura, transición de inclinación y cuerpo de tubería en dos
25 cuadrantes 0° y 180°, a partir del material extinguido y revenido.

Como se muestra en la Figura 12, todos lo resultados están por arriba de los valores de energía absorbida mínimos esperados de 70 Joules mínimo individual y 90 Joules como promedio mínimo de 3 especímenes.

- 5 Se obtuvieron curvas de transición de impacto de Entallado Charpy V Transversal a partir de 2 muestras, una representando el extremo de recalcadura y la otra representando el cuerpo de tubería del material extinguido y revenido para cada caso.

10 La temperatura de transición obtenida en la dirección transversal utilizando especímenes de 10 x 10 de Entallado Charpy V es de entre -50°C y 60°C para el material que representa el extremo de recalcadura y por abajo de -70°C para el material que representa el cuerpo de tubería como se muestra en el Cuadro 9.

15 Como se muestra en la Figura 12, todos los resultados estuvieron por arriba de los valores mínimos esperados de 70 Joules mínimo individual y 90 Joules como promedio mínimo de 3 especímenes.

20 Se obtuvieron curvas de transición de impacto de Entallado Charpy V transversal a partir de 2 muestras, una representando el extremo de recalcadura y la otra representando el cuerpo de tubería del material extinguido y revenido para cada caso.

25 La temperatura de transición obtenida en la dirección transversal utilizando especímenes de 10 x 10 de entallado Charpy V es de entre -50°C y -60°C para el material que representa el extremo de recalcadura y por abajo de -70°C para el material que representa

el cuerpo de tubería como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7 – Curva de Temperatura de Transición. (a) Cuerpo de tubería y (b) Extremo de Recalcadura

5

10

Resultados de prueba de Entallado Charpy V Transversal (Joules), especímenes de 10 x 10											
Muestra	Tubería/ Extremo	Ubicación	Temperatura de Prueba °C	1	% Sh.A	2	% Sh.A	3	% Sh.A	Energía Absorbida Prom. (J)	Area de Esfuerzo Prom. (%)
64521	Extremo Norte de Tubería 10	Cuerpo de Tubería	-20	436	100	450	100	439	100	442	100
			-30	432	100	440	100	422	100	431	100
			-40	434	100	442	100	446	100	441	100
			-50	446	100	436	100	449	100	444	100
			-60	384	100	440	100	439	100	421	100
			-70	398	100	424	100	435	100	419	100

(a)

15

20

Resultados de prueba de Entallado Charpy V Transversal (Joules), especímenes de 10 x 10											
Muestra	Tubería/ Extremo	Ubicación	Temperatura de Prueba °C	1	% Sh.A	2	% Sh.A	3	% Sh.A	Energía Absorbida Prom. (J)	Area de Esfuerzo Prom. (%)
64518	Extremo de Tubería Norte 6	Extremo de recalcadura	-20	422	100	447	100	409	100	426	100
			-30	430	100	430	100	452	100	437	100
			-40	429	100	428	100	424	100	427	100
			-50	443	100	449	100	405	100	432	100
			-60	9	0	439	100	432	100	294	67
			-70	6	0	415	100	444	100	288	67

(b)

Los resultados de CTOD del material que representa el cuerpo de tubería y el extremo de recalcadura están por arriba de 0.6 mm a -10°C como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8 – Resultados de CTOD que Representan (a) Cuerpo de Tubería y (b) Extremo de Recalcadura

5

RESULTADOS DE PRUEBA DE CUERPO DE TUBERIA – CTOD ESPECIMEN BX2B DE ORIENTACION LONGITUDINAL								
Muestra	Tubería	Extremo	Temperatura de Prueba °C	Delta (mm)			Valor CTOD Delta Prom. (mm)	Valor mínimo CTOD Delta (mm)
				1	2	3		
64577	9	Norte	-10	1.50	1.55	1.54	1.53	1.50
64578	9	Sur	-10	1.61	1.56	1.57	1.58	1.56
Especificación Mínima							0.635	0.510

(a)

10

RESULTADOS DE PRUEBA DE EXTREMO DE RECALCADURA – CTOD ESPECIMEN COMPACTO DE ORIENTACION LONGITUDINAL								
Muestra	Tubería	Extremo	Temperatura de Prueba °C	Delta (mm)			Valor CTOD Delta Prom. (mm)	Valor mínimo CTOD Delta (mm)
				1	2	3		
64577	9	North	-10	1.13	1.14	1.07	1.11	1.07
64578	9	South	-10	1.14	1.15	1.17	1.15	1.14
Minimum Specification							0.635	0.510

(b)

15

Prueba de Corrosión Solamente para el Caso (2)

Agrietamiento Inducido por Hidrógeno

20 Se realizó la prueba HIC en una muestra representando el extremo de recalcadura y en otra representando el cuerpo de tubería para el Caso 2. Cada grupo de 3 especímenes (3 cuadrantes, 0°, 120° y 240°) representando el cuerpo de tubería y otro grupo representando el extremo de recalcadura se probó como por NACE TM0284 utilizando la Solución "A", el período de prueba fue de 96 horas. Los resultados se muestran en los Cuadros 9 y 10.

25

Cuadro – 9 Resultados de Prueba de Agrietamiento Inducido por Hidrógeno – Cuerpo de Tubería

5

RESULTADOS DE PRUEBA DE AGRIETAMIENTO INDUCIDO POR HIDROGENO – CUERPO DE TUBERIA										
SOLUCION A: NACE TM 0284										
Especimen	Sección	Grieta		Salientes	Agrietamiento Prom. De Sección			Agrietamiento Prom. De Cupón		
		Long. (mm)	Ancho (mm)		% CSR	% CLR	% CTR	% CSR	% CLR	% CTR
1	A1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	Ninguna	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	A3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
2	B1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	Ninguna	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	B3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
3	C1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	Ninguna	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	C3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			

10

15

Cuadro 10 - Resultados de Prueba de Agrietamiento Inducido por Hidrógeno – Extremo de Recalcadura

RESULTADOS DE PRUEBA DE AGRIETAMIENTO INDUCIDO POR HIDROGENO – EXTREMO DE RECALCADURA										
SOLUCION A: NACE TM 0284										
Especimen	Sección	Grieta		Salientes	Agrietamiento Prom. De Sección			Agrietamiento Prom. De Cupón		
		Long. (mm)	Ancho (mm)		% CSR	% CLR	% CTR	% CSR	% CLR	% CTR
1	A1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	None	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	A3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
2	B1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	None	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	B3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
3	C1	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	None	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C2	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			
	C3	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00		0.00	0.00	0.00			

Estos cuadros muestran que no se encontraron ni grietas ni salientes después del período de prueba, mostrando que todos los requerimientos para la prueba de Agrietamiento Inducido por Hidrógeno se satisfacen.

Agrietamiento por Tensión de Sulfuro

Se realizó la Prueba de Flexión de Cuatro Puntas SSC en 1 muestra representando el extremo de recalcadura y otra

representando el cuerpo de tubería. Cada grupo de 3 especímenes (3 cuadrantes, 0°, 120° y 240°) representando el cuerpo de tubería y otro grupo representando el extremo de recalcadura se probaron como por ASTM G48. Se consideró la solución "A" de prueba de NACE TM0177.

La tensión de prueba es 95% del Límite Elástico Mínimo Especificado (SMYS) y dos períodos de prueba de 96 horas y 720 horas. Los resultados se muestran en los Cuadros 11 y 12.

Cuadro 11 – Resultados de Prueba de Flexión de Cuatro Puntas SSC Representando el Material del Cuerpo de Tubería (a) Después de 96 Horas de Exposición (a) y Después de 720 Horas de Exposición

15

AGRIETAMIENTO DE TENSION POR SULFURO – PRUEBA DE FLEXION DE CUATRO PUNTAS SOLUCION "A" NACE 0177-96 – DURACION DE PRUEBA: 96 HORAS CUERPO DE TUBERIA						
Especimen No.	Valores Iniciales		Valores Finales		Tensión Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló
2	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló
3	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló

(a)

20

AGRIETAMIENTO DE TENSION POR SULFURO – PRUEBA DE FLEXION DE CUATRO PUNTAS SOLUCION "A" NACE 0177-96 – DURACION DE PRUEBA: 720 HORAS CUERPO DE TUBERIA						
Especimen No.	Valores Iniciales		Valores Finales		Tensión Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló
2	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló
3	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló

(b)

25

**Cuadro 12 – Resultados de Prueba de Flexión de Cuatro Puntas
SSC Del Extremo de Recalcadura (a) Después de 96 horas de
Exposición (b) Después de 720 Horas de Exposición**

5

AGRIETAMIENTO DE TENSION POR SULFURO – PRUEBA DE FLEXION DE CUATRO PUNTAS SOLUCION "A" NACE 0177-96-DURACION DE PRUEBA: 96 HORAS EXTREMO DE RECALCADURA						
Especimen No.	Valores Iniciales		Valores Finales		Tensión Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló
2	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló
3	2418.32	2.72	2503.61	3.57	95	No falló

(a)

10

AGRIETAMIENTO DE TENSION POR SULFURO – PRUEBA DE FLEXION DE CUATRO PUNTAS SOLUCION "A" NACE 0177-96-DURACION DE PRUEBA: 720 HORAS EXTREMO DE RECALCADURA						
Especimen No.	Valores Iniciales		Valores Finales		Tensión Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló
2	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló
3	2809.95	2.70	2980.25	3.62	95	No falló

(b)

15

Los Cuadros 11 y 12 muestran que todos los especímenes de Flexión de Cuatro Puntas pasaron exitosamente la prueba de SSC después del período de prueba, se sometieron a esfuerzo a 95%SMYS, no se observaron grietas después de 96 horas y aún

20 después de 720 horas.

Caracterización Microestructural

Se utilizó Microscopia Optica y Microscopia Electrónica con Barrido para la caracterización de material. El análisis

25 microestructural se realizó en las secciones OD, MW e ID de las

regiones de cuerpo de tubería, transición de inclinación y extremo de recalcadura en dos cuadrantes 0° y 180° para muestras en la condición así extinguida y en la condición extinguida y revenida.

La microestructura así extinguida del cuerpo de tubería
5 consistió predominantemente de bainita y ferrita acicular en la pared media, cerca de la superficie externa e interna, se observó una ligera presencia de martensita.

La microestructura así extinguida de recalcadura consistió
predominantemente de bainita y ferrita acicular a través del espesor
10 de pared.

El PAGS se midió utilizando análisis de imagen en el material así extinguido, atacado químicamente con ácido pícrico acuoso en muestras del cuerpo de tubería y extremo de recalcadura. Se obtuvo un tamaño de PAGS promedio de 7/8 ASTM tanto para el cuerpo de
15 tubería como el extremo de recalcadura, respectivamente.

La microestructura en la pared media después del revenido consistió predominantemente de bainita y ferrita acicular en el cuerpo de tubería y transición de inclinación; y bainita, ferrita acicular y ferrita no poligonal en los extremos de recalcadura.
20

Resultados de Fatiga

Los resultados de la prueba de fatiga están graficados en la Figura 13. Los resultados de prueba muestran un funcionamiento muy alto de fatiga en los extremos de recalcadura, transición y cuerpo de
25 tubería.

La invención ha sido totalmente descrita y los resultados de fatiga experimentales muestran que el funcionamiento de fatiga para estas dos Soluciones de Recalcadura descritas anteriormente en el caso (1 y 2) se ha incrementado con un factor que varía de entre 3 y 5 15.

10

15

20

25

REIVINDICACIONES

1.- Una tubería de acero sin costura para un elevador catenario de acero con extremos de recalcadura, comprendiendo en
5 porcentaje en peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40- 0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., aluminio 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio no más de 0.10, cobre 0.20 máx., estaño 0.020 máx., y equivalente
10 de carbono 0.43 máx. y PCM de no más de 0.23 y teniendo un límite elástico de por lo menos 4569.5 kg/cm², la resistencia a la tracción final de por lo menos 5413.1 kg/cm² y una relación de YS/UTS por abajo de 0.89 en el material representando el cuerpo de tubería, la zona de transición y el extremo de recalcadura.

15 2.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la microestructura del material así extinguido y revenido es homogénea en la pared media, la cual es la sección más crítica y es principalmente bainita y una mezcla de ferrita acicular y no poligonal independientemente de la sección:
20 zonas de cuerpo de tubería, transición o extremo de recalcadura.

3.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tamaño de grano austenítico anterior tiene un tamaño promedio de al menos 7 ASTM tanto en el cuerpo de tubería como en los extremos de recalcadura.

25 4.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la

reivindicación 1, en donde el material en la condición así extinguida y revenida tiene un valor de Dureza Vickers HV10 por abajo de 250 tanto en el cuerpo de tubería como los extremos de recalcadura.

5 5.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los materiales del cuerpo de tubería y los extremos de recalcadura tienen un valor individual de energía absorbida por arriba de 70 Joules, y 90 Joules promedio de tres especímenes y la temperatura de transición en la dirección transversal está por abajo de -50°C.

10 6.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los materiales del cuerpo de tubería y los extremos de recalcadura exceden en por lo menos 2 veces el valor individual mínimo de 0.51 mm, requerido de la prueba de desplazamiento de abertura de punta de grieta (prueba de CTOD).

15 7.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, la cual es soldable en los extremos de recalcadura en una escala de entrada de calor de entre 0.8 KJ/mm y 1.5 KJ/mm, en donde la prueba de CTOD utilizando especímenes SENB, Bx2B tomados de la zona afectada por calor que corre a -10°C como por
20 API RP2Z, dio resultados de CTOD por arriba de 0.6 mm.

8.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 7, la cual es soldable en los extremos de recalcadura en una entrada de calor de entre 0.8 KJ/mm y 3.0 KJ/mm y la dureza en la zona afectada por calor es menor que 250 HV10.

25 9.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la

reivindicación 7, la cual es soldable en los extremos de recalcadura en una entrada de calor de entre 0.8 KJ/mm y 3.0 KJ/mm y los valores de energía absorbida evaluados en la línea de fusión + 1 mm en la zona afectada por calor están por arriba de 100 Joules.

5 10.- La tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 1, la cual es soldable en los extremos de recalcadura en una escala de entrada de calor de entre 0.8 KJ/mm y 3.0 KJ/mm, en donde la prueba de CTOD utilizando especímenes SENB, Bx2B tomados del eje del metal de soldadura que corre a -10°C dio valores
10 de CTOD por arriba de 0.6 mm.

 11.- Un método para fabricar un tubo de acero sin costura para un elevador catenario de acero con extremos de recalcadura teniendo un límite elástico de por lo menos 4569.5 kg/cm² tanto en el cuerpo de tubería, transición y zona de recalcadura, que comprende
15 los pasos de: (a) proporcionar una tubería de acero que comprende en porcentaje en peso, carbono 0.04-0.10, manganeso 0.40-0.70, silicio 0.15-0.35, cromo 0.40-0.70, molibdeno 0.40- 0.70, níquel 0.10-0.40, nitrógeno 0.008 máx., alúmina 0.010-0.045, azufre 0.005 máx., fósforo 0.020 máx., titanio 0.003-0.020, niobio 0.020-0.035, vanadio
20 no más de 0.10, cobre 0.20 máx., estaño 0.020 máx., y equivalente de carbono 0.43 máx. y PCM no más de 0.23; (b) recalcar los extremos de la tubería en múltiples pasos con ciclos de calentamiento intermedios para obtener el espesor requerido; (c) extinguir y revenir entre 630-710°C; (d) maquinar los extremos de
25 recalcadura.

12.- El método para fabricar una tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 11, en donde las tuberías se enrollaron por calor utilizando un esquema de enrollamiento controlado por recristalización, fabricadas a partir de palanquillas
5 redondas obtenidas mediante un procedimiento de colado continuo (CC).

13.- El método para fabricar una tubería de acero sin costura de acuerdo con la reivindicación 11, en donde las tuberías fueron recalculadas recalentando los extremos de tubería por arriba de la
10 temperatura de disolución de Nb (C, N) para proporcionar un flujo plástico adecuado durante cada operación de recalcado mientras se controla el tamaño de grano de la austenita a través de la precipitación de partículas finas de TiN.

14.- Una cadena de tubería para usarse como un elevador
15 catenario de acero para un ambiente de servicio sin medios ácidos utilizando las tuberías de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las tuberías están soldadas en los extremos de recalcadura.

15.- Una cadena de tubería para usarse como un elevador catenario de acero para un ambiente de servicio en medios ácidos
20 utilizando las tuberías de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las tuberías están soldadas en los extremos de recalcadura.

1/7

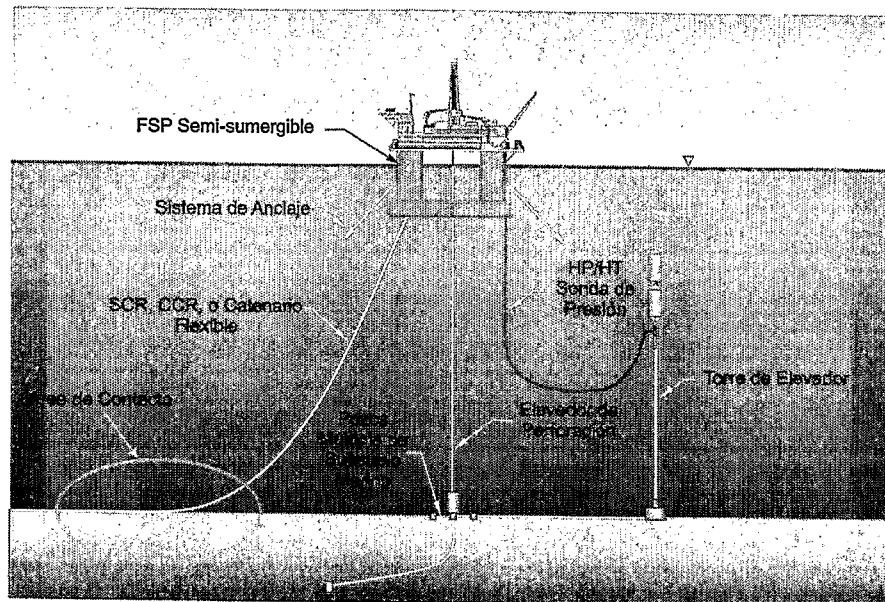


FIG. 1

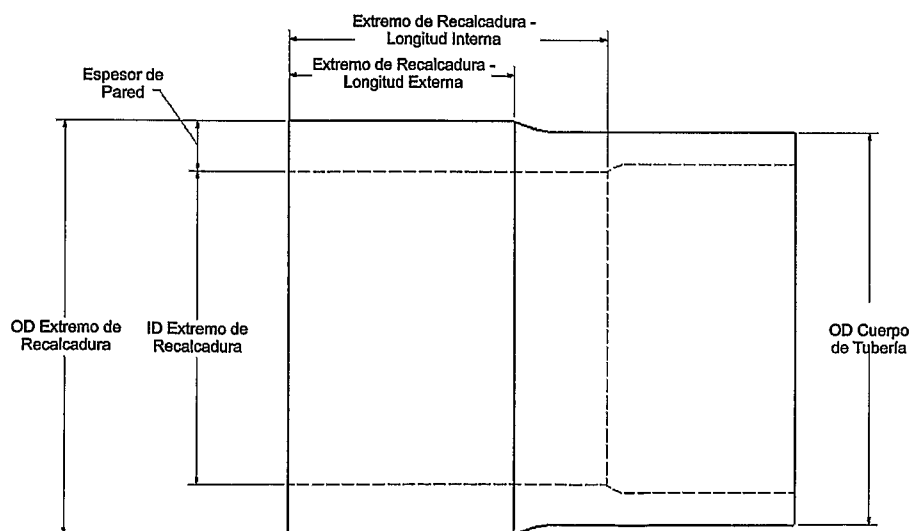
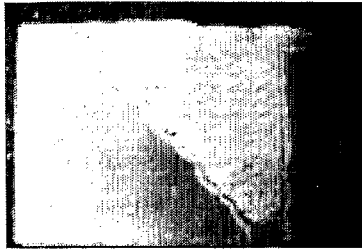
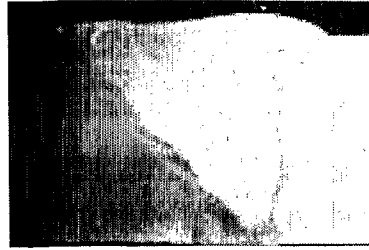


FIG. 2

2/7



(a) 0.8kJ/mm 200°C



(b) 3kJ/mm 250°C

FIG. 3

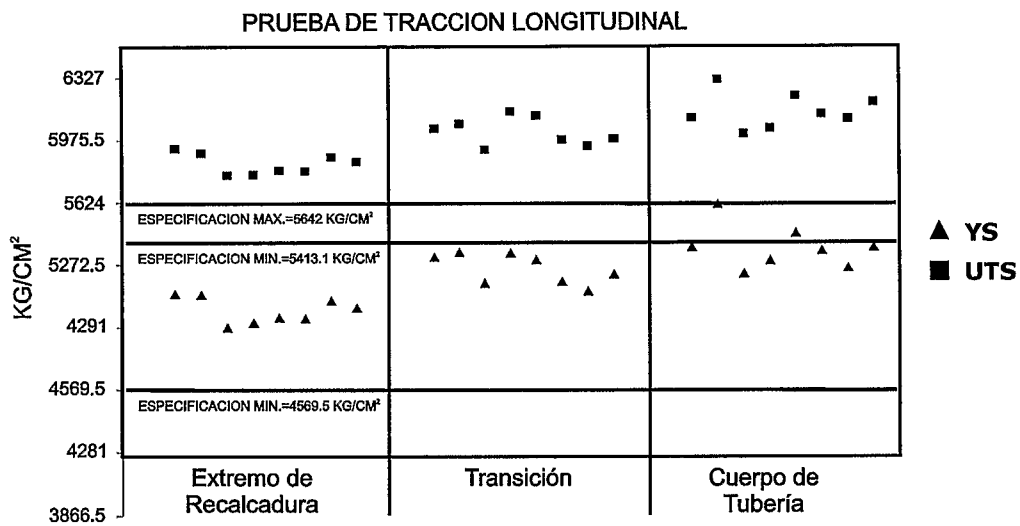


FIG. 4a

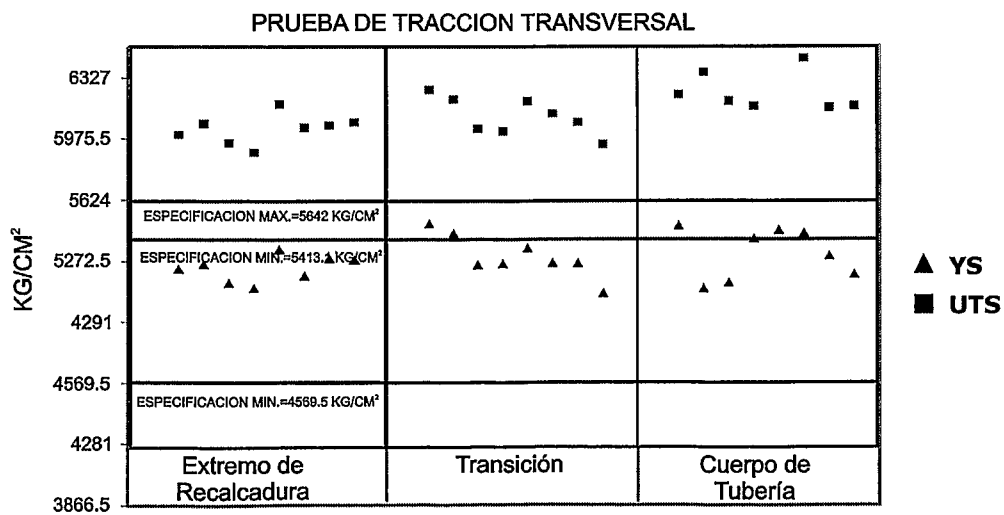


FIG. 4b

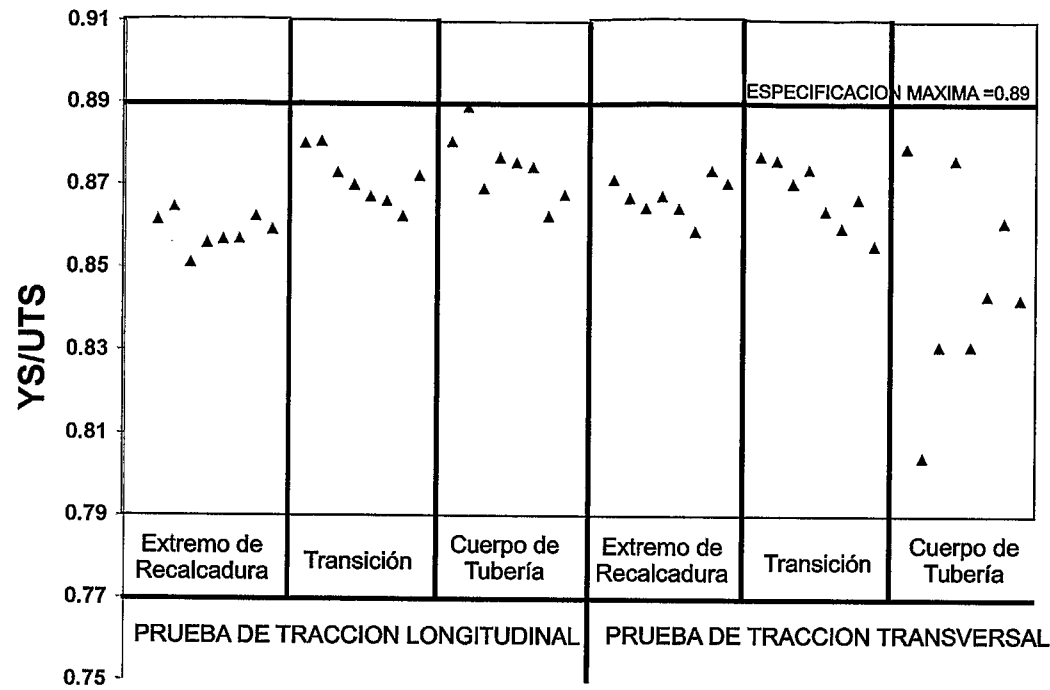


FIG. 5

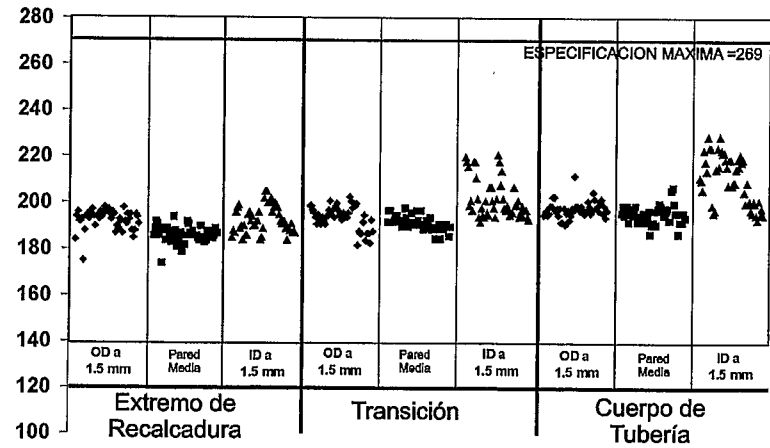


FIG. 6

4/7

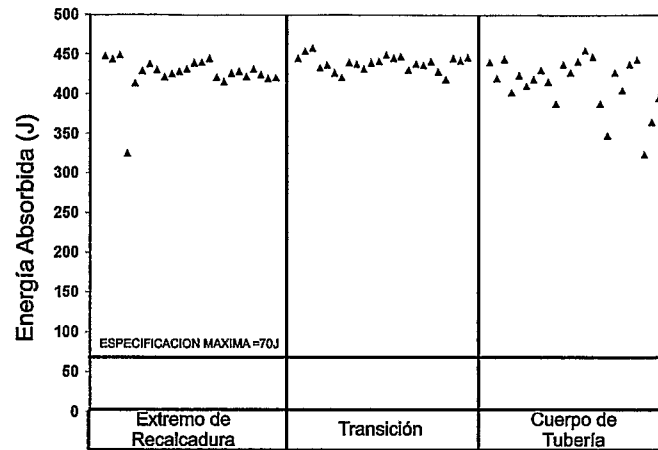


FIG. 7

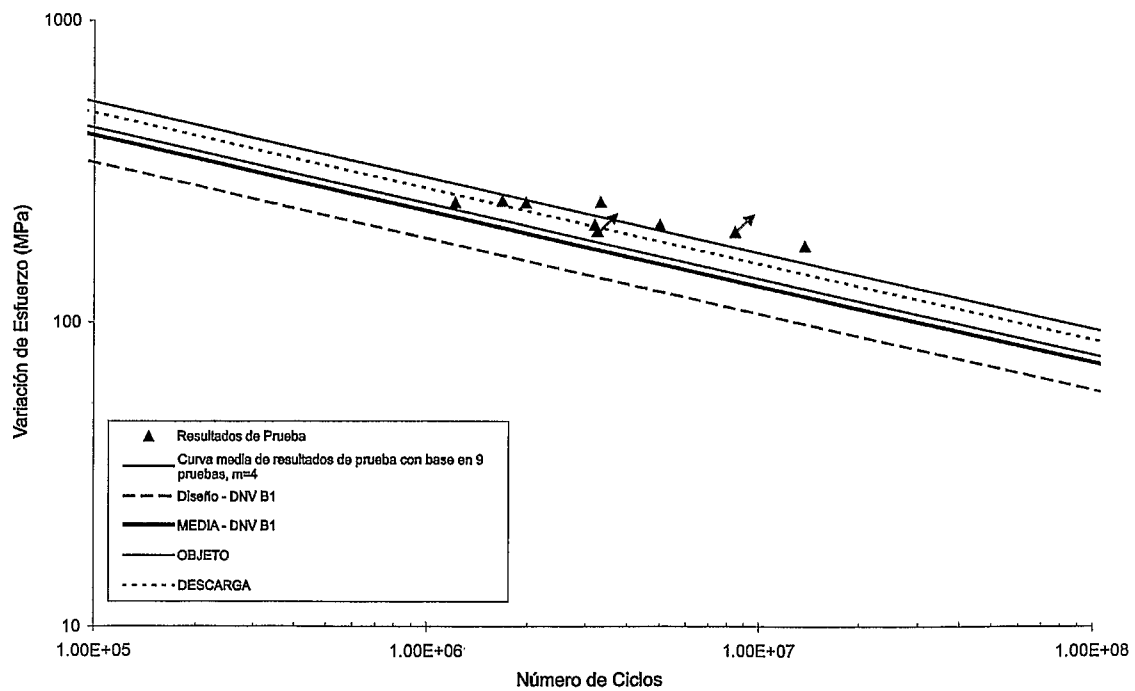


FIG. 8

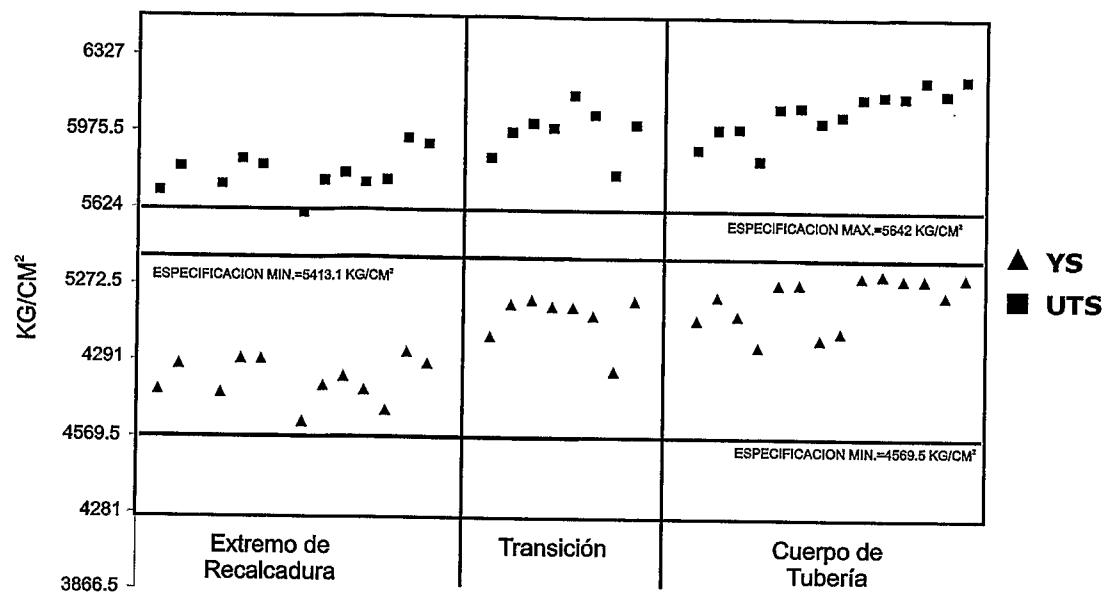


FIG. 9a

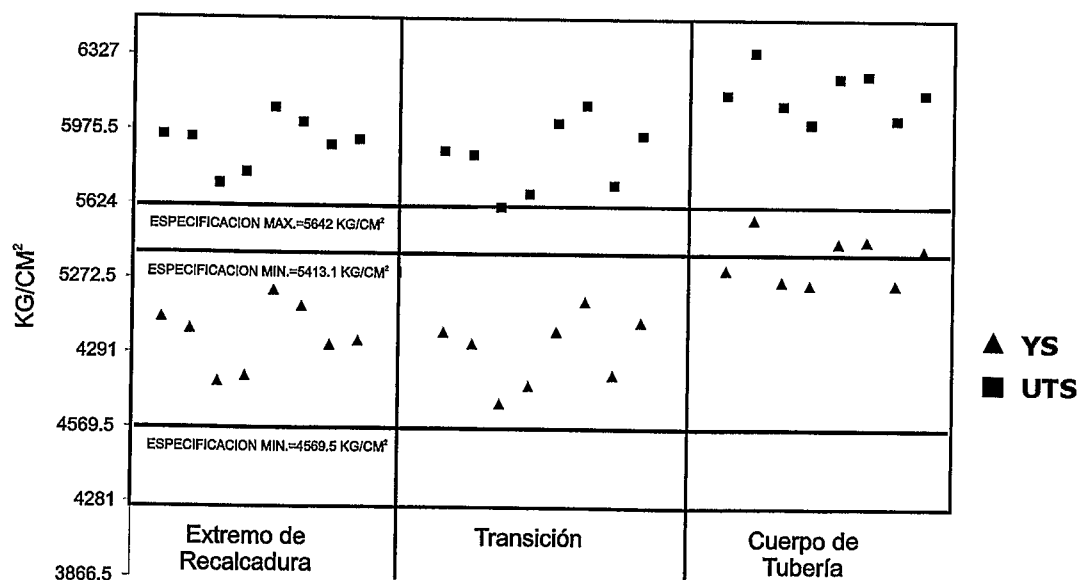


FIG. 9b

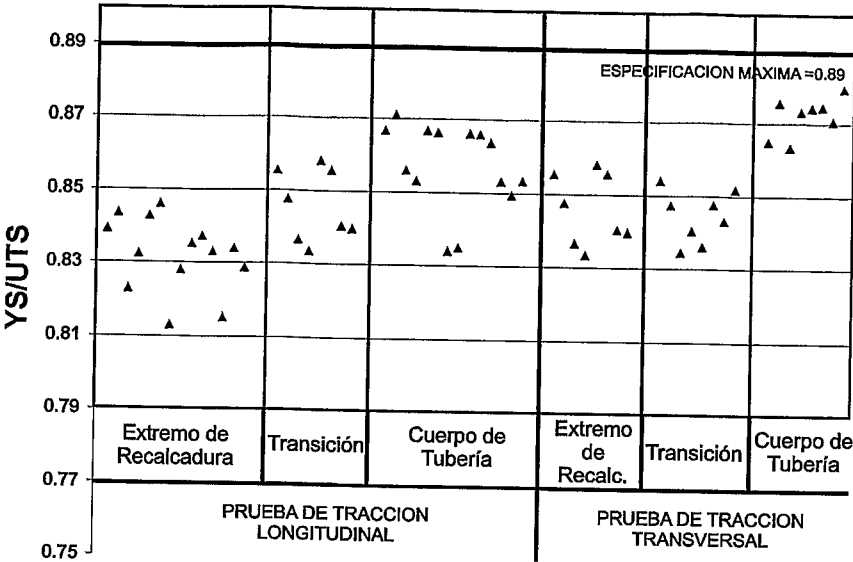


FIG. 10

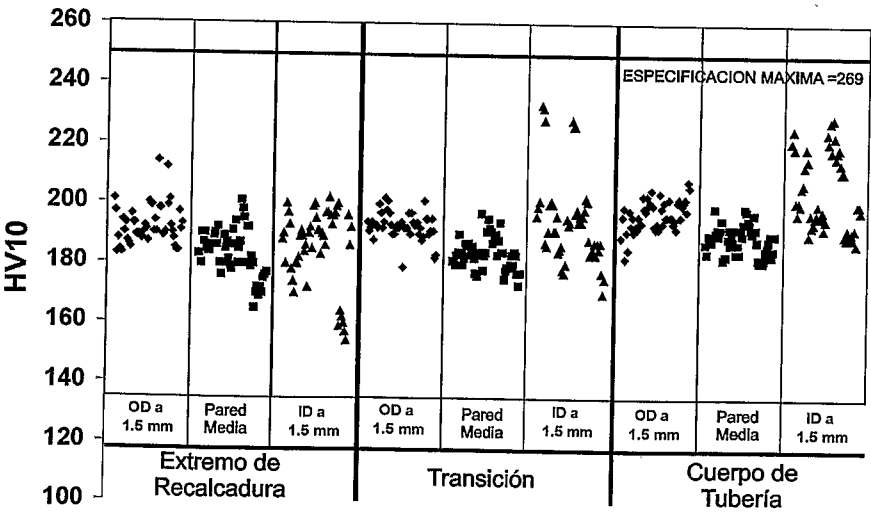


FIG. 11

7/7

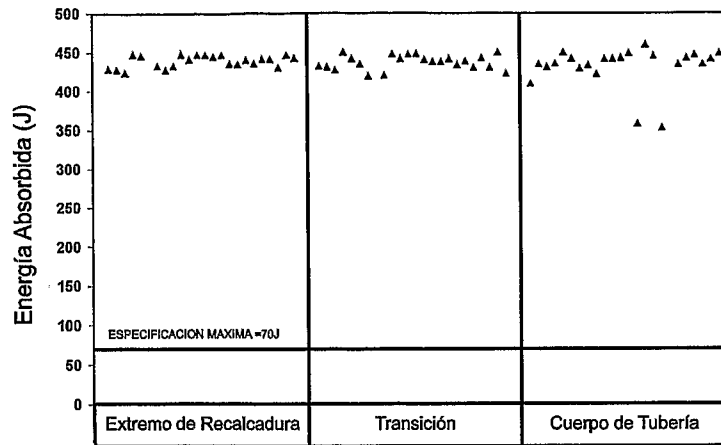


FIG. 12

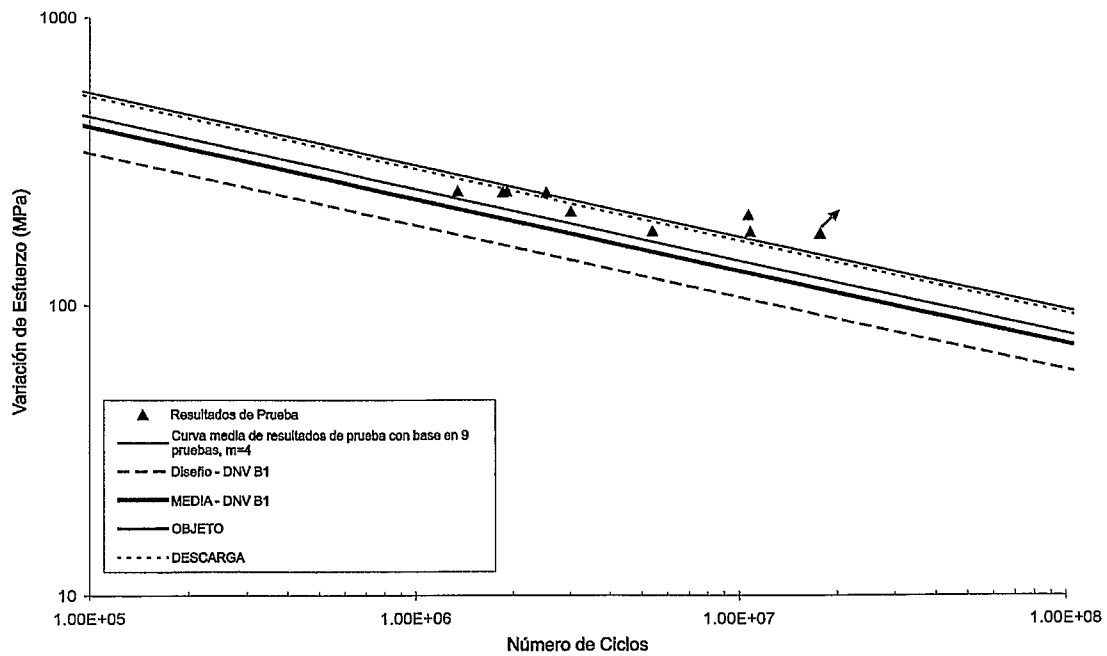


FIG. 13