



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0808963-9 A2



* B R P I 0 8 0 8 9 6 3 A 2 *

(22) Data de Depósito: 14/03/2008

(43) Data da Publicação: 26/08/2014
(RPI 2277)

(51) Int.Cl.:

C21D 9/08

C22C 38/18

E21B 17/00

F16L 13/02

F16L 23/024

(54) Título: TUBO DE AÇO SEM COSTURA PARA SER USADO COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA COM EXTREMIDADES REFORÇADAS, MÉTODO PARA FABRICAR UM TUBO DE AÇO SEM COSTURA PARA SER USADO COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA COM EXTREMIDADES REFORÇADAS, SEQUÊNCIA TUBULAR PARA SER USADA COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA **(57) Resumo:**

(30) Prioridade Unionista: 11/03/2008 US 12/073,879,
15/03/2007 US 60/918,065

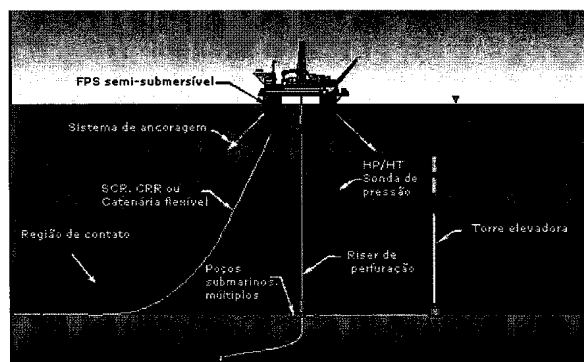
(73) Titular(es): Tubos de Aceros de Mexico, S.A.

(72) Inventor(es): Alfonso Garcia Izquierdo, Héctor Manuel
Quintanilla Carmona

(74) Procurador(es): Claudia Christina Schulz

(86) Pedido Internacional: PCT MX2008000041 de
14/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/111828de
18/09/2008



TUBO DE AÇO SEM COSTURA PARA SER USADO COMO RISER RÍGIDO EM
CATENÁRIA NA REGIÃO DE CONTATO

CAMPO DA INVENÇÃO

5

Esta invenção se refere a tubos de aço sem costura para serem usados como risers rígidos em catenária.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

10

Nos últimos anos, o interesse em explorar campos petrolíferos mediante plataformas localizadas em águas cada vez mais profundas aumentou consideravelmente. Como consequência, foram desenvolvidas várias soluções relacionadas a sistemas de produção marítimos. As soluções atualmente disponíveis se referem geralmente a sistemas de produção semi-flutuantes e flutuantes, os quais são submetidos a diversos movimentos com respeito ao leito marinho, principalmente devido aos fenômenos de ondas, correntes e marés. Os sistemas mencionados previamente são complementados por sistemas de riser adequados e compatíveis com estações de superfícies móveis.

25

Os Risers Rígidos em Catenária (SCR) representam um dos mais destacados sistemas de elevação que podem ser adotados em situações desafiantes como essa. Esse componente é normalmente submetido a um espectro completo de carregamento de fadiga relacionado tanto com a mobilidade da plataforma flutuante como com a

30

enorme linha de espaço livre e irrestrita que vai do leito marinho até a superfície. Consequentemente, uma grande preocupação ao projetar um SCR se relaciona com a resistência de fadiga. Já que a carga cíclica está predominantemente na direção axial, ela tensa de forma direta as juntas soldadas entre os tubos que se conectam. Essas juntas geralmente representam o ponto mais fraco com respeito à resistência de fadiga, sendo que a vida útil do riser inteiro é determinada pela capacidade de que esse componente resista ao carregamento de fadiga.

O riser rígido em catenária é uma solução comprovada e econômica para sistemas de elevação, como um riser de produção tie-back e como um riser de exportação dos Sistemas de Produção Flutuantes (FPS) no desenvolvimento de campos de petróleo e gás em águas profundas e ultra-profundas. A aplicação de SCRs é desafiada, em alguns casos, pelo alto dano de fadiga na região de contato (*Touch Down Zone* ou TDZ) a partir de uma combinação de parâmetros de campo específicos como tamanho do riser, características do fluido, movimentos do barco, parâmetros meteoceânicos, condições do solo e profundidade da água.

O requerimento de fabricação mais severo para os SCRs é a vida de fadiga das soldas circunferenciais na região de contato (TDZ), onde o riser toca o fundo do mar e se conecta com o resto da tubulação, conforme ilustrado na Figura 1. Nessa região, o riser atinge o

nível mais alto de dano de fadiga acumulada. Isso se deve a que nessa região ocorre o maior dobramento da linha catenária, em contraste com a total ausência de dobramento da porção da linha que se encontra no leito marinho. Devido aos vários movimentos dos FPS (ondas, marés, correntes, etc.), o segmento de linha da TDZ passa por ciclos de dobramento que vão de um dobramento máximo do riser até um dobramento nulo (reto). A gravidade do carregamento de fadiga na TDZ se complica ainda mais devido à presença de impactos contínuos da porção da linha quando ela entra em contato com o chão. Além disso, deve-se considerar que o mesmo impacto da linha poderia cavar um buraco em exata correspondência com a TDZ, aumentando a amplitude do ciclo de dobramento.

Em outras palavras, a movimentação constante do barco flutuante superior resulta em choques cíclicos do riser contra o fundo do mar de forma tal que, caso não esteja adequadamente fabricado, pode provocar uma falha de fadiga. Além do movimento do riser, outros fatores podem aumentar a gravidade da fadiga na TDZ como, por exemplo, amplo diâmetro do tubo, grande profundidade da água, correntes altas e ambientes ácidos corrosivos ("sour service").

Várias possíveis soluções para melhorar a vida de fadiga na TDZ do SCR foram identificadas e estudadas. Os SCRs são utilizados como sistemas de riser em projetos contínuos semi-submersíveis.

Opções alternativas para obter um aumento da vida de fadiga na TDZ nos desenvolvimentos em campos de águas profundas vêm sendo identificadas, com o objetivo de possibilitar o uso do SCR. Essas soluções incluem: usinamento do ID para melhor ajuste e uso de melhores técnicas de solda; uso de extremidades espessas soldadas em terra para garantir um melhor ajuste e reduzir o Fator de Concentração da Tensão (SCF); movimentação periódica do barco flutuante para distribuir os danos da fadiga através de uma maior extensão da TDZ; e o uso de aço revestido.

O processo de reforço é usado comumente na indústria para revestimentos e juntas com extremidades de rosca. Materiais de aço com maior conteúdo de carbono são normalmente usados para esta aplicação. O processo de reforço ainda não foi usado para o tubo soldável de qualidade SCR. Na maioria dos casos com rosca, porém, o aumento da vida de fadiga se limitou a um fator entre 2 e 3. No caso das aplicações de aço revestido, é possível obter um maior aumento da vida de fadiga. Além disso, a fabricação de risers em catenária alternativos foi desenvolvida alterando o material do tubo do riser (compostos, titânio) ou mediante fabricações híbridas (titânio e aço) ou, ainda, alterando a forma próxima ao leito marinho ao fornecer uma flutuabilidade considerável (W097/06341).

As fabricações alternativas se concentraram em melhorar a força do riser em catenária perto e sobre o leito marinho possibilitando, assim, seu uso em ambientes mais ásperos e em aplicações mais
5 desafiantes.

Portanto, existe a necessidade de melhorar a configuração dos Risers Rígidos em Catenária para a Região de Contato (SCR TDZ), de forma tal a obter um
10 aumento significativo da vida de fadiga, particularmente, aumentando a vida de fadiga dos SCR TDZ acima de 3, em ambientes ácidos-corrosivos e ambientes não ácidos-corrosivos com um tubo formado por três regiões: corpo do tubo, transição e extremidade
15 reforçada, conforme ilustrado na Figura 2.

Para suprir essa necessidade, foram desenvolvidos tubos reforçados para serem usados em juntas soldadas. O conceito simples para melhorar o desempenho da fadiga
20 consiste, neste caso, em reduzir localmente a tensão sofrida pela solda com respeito ao intervalo de tensão normalmente sofrido pelo corpo do tubo e, portanto, pela seção do riser na TDZ. Um SCR reforçado com nova composição e microestrutura química reduzida em carbono
25 foi, portanto, identificado para obter uma melhoria adicional na vida de fadiga, devido a que ela está contida na seção tubular do riser.

A viabilidade de fabricar um riser com extremidade
30 reforçada e espessa para a região de contato com melhor

resistência à fadiga varia, no entanto, segundo o grau do aço que pode ser soldado para aplicações de plataforma marítima. A viabilidade de fabricar um riser com extremidade espessa para a região de contato com
5 melhor resistência à fadiga é a chave para garantir que o SCR reforçado possua um valor prático em aplicações na TDZ.

Várias soluções de Risers Rígidos em Catenária
10 (SCR) incluem requerimentos de ambientes ácidos corrosivos moderados. A corrosão é o desempenho do riser em ambientes H₂S. As propriedades metalúrgicas que afetam o desempenho em ambientes que contêm H₂S incluem: composição química, limpeza do aço, método de
15 fabricação, força, quantidade de trabalho frio, condições de tratamento térmico e microestrutura. Devido a que o processo de fabricação do tubo reforçado inclui passos adicionais posteriores à fabricação do tubo sem costura, o produto final deve cumprir com
20 esses requerimentos.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção descreve um Riser Rígido em
25 Catenária (SCR) reforçado que apresenta uma nova composição química e microestrutura reduzida em carbono que alcança uma melhoria na vida em fadiga, ao estar integrado com a seção tubular do riser na região de contato. O SCR reforçado reduzido em carbono obtém as
30 propriedades desejadas mediante o tratamento térmico ao

qual é submetido. A nova composição e microestrutura química reduzida em carbono compreende, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carbono; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carbono e não mais de 0,23 de PCM; possuindo um Limite de Escoamento (YS) de pelo menos 65.000 psi, uma Resistência Máxima à Tração (UTS) de pelo menos 77.000 psi e um índice YS/UTS inferior a 0,89 no material que representa o corpo do tubo, a transição e a extremidade reforçada.

A presente invenção também descreve um método para fabricar um tubo de aço sem costura para ser usado como riser rígido em catenária com extremidades reforçadas que possua um limite de escoamento de pelo menos 65.000 psi, tanto no corpo do tubo como na zona de transição e na zona de reforço, compreendendo os seguintes passos:

(a) oferecer um tubo de aço compreendendo, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carbono; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de

nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carbono e não mais de 0,23 de PCM; (b) reforçar as extremidades do tubo em várias etapas com
5 ciclos alternados de aquecimento intermediário para obter a espessura desejada; (c) resfriar e temperar entre 630 e 710°C; e (d) usinar as extremidades reforçadas.

10

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 mostra a configuração de Riser Rígido em Catenária de uma configuração preferida da presente invenção.

15

A Figura 2 ilustra uma configuração do tubo com uma extremidade reforçada de uma configuração preferida da presente invenção.

20

A Figura 3 mostra seções macro típicas de soldas RP2Z para diferentes condições de solda do tubo de uma configuração preferida da presente invenção.

25

As Figuras 4 (a) e (b) mostram os resultados de tração para a direção longitudinal e para a direção transversal de uma configuração preferida da presente invenção.

A Figura 5 ilustra os resultados do índice Y/T longitudinal e transversal de uma configuração preferida da presente invenção.

5 A Figura 6 mostra a dureza Vickers HV10 de uma configuração preferida da presente invenção.

A Figura 7 ilustra o ensaio de impacto transversal Charpy V Notch a -30°C de uma configuração preferida da
10 presente invenção.

A Figura 8 mostra a curva média para espécimes X65 de $10\frac{3}{4}"$ x $0,866"$ de uma configuração preferida da presente invenção.

15 As Figuras 9 (a) e (b) mostram os resultados de tração para a direção longitudinal e para a direção transversal de uma configuração preferida da presente invenção.

20 A Figura 10 ilustra os resultados do índice Y/T longitudinal e transversal de uma configuração preferida da presente invenção.

25 A Figura 11 mostra a dureza Vickers HV10 de uma configuração preferida da presente invenção.

A Figura 12 ilustra o ensaio de impacto transversal Charpy V Notch a -30°C de uma configuração preferida da
30 presente invenção.

A Figura 13 mostra a curva média para espécimes X65 de 10 3/4" x 1.,250" de uma configuração preferida da presente invenção.

5

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Conforme ilustrado na Figura 1, a presente invenção descreve um SCR reforçado que apresenta uma nova composição química e microestrutura reduzida em carbono
10 que alcança uma melhoria na vida em fadiga, ao estar integrado com a seção tubular do riser na região de contato. O SCR reforçado reduzido em carbono alcança suas propriedades desejadas através do tratamento térmico ao qual é submetido.

15

O grau do aço contemplado para ser usado no SCR reforçado da presente invenção é o X-65 (um limite de escoamento de pelo menos 65.000 psi no corpo do tubo e nas extremidades reforçadas).

20

A estrutura da liga consiste em um aço reduzido em C (0,13 no máx.), reduzido em Mn (1,5 no máx.) com adições de elementos de microliga como Nióbio, Titânio (0,1 no máx. de Nb e Ti), Cromo and Molibdênio (1,2 no
25 máx. de Cr e Mo). O propósito de adicionar esses últimos dois elementos de liga é aumentar a dureza e facilitar uma transformação martensítica-bainítica nas extremidades reforçadas espessas e no corpo do tubo, alcançando maiores níveis de força. O equivalente de
30 carbono (CE) é projetado para não superar 0,43,

conforme o requerido pela API 5L. Preferentemente, o equivalente de carbono se limita a 0,41. A configuração preferida da presente invenção não deve superar 0,39.

5 Os tubos são laminados a quente utilizando um esquema de laminação controlada com recristalização, fabricados a partir de palanquilhas de seção circular obtidas a partir de um processo de lingotamento contínuo (CC). Após a laminação a quente, os tubos são
10 inspecionados com métodos não-destrutivos como a inspeção eletromagnética, a inspeção de partículas magnéticas em via úmida e o ensaio ultrassônico, com o objetivo de encontrar qualquer defeito longitudinal ou transversal em superfícies internas ou externas e de
15 verificar a espessura da parede. Os tubos são então reforçados por reaquecimento de suas extremidades acima da temperatura de dissolução do Nb (C, N), de modo a oferecer um fluxo plástico adequado durante cada operação de reforço, controlando, ao mesmo tempo, o
20 tamanho de grão austenítico por precipitação de finas partículas TiN. O raio ótimo na transição reforço-corpo do tubo é modelado através da Análise de Elemento Finito (FEA), sendo que o Fator de Concentração de Tensão (SCF) resultou ser 1,135 e 1,12 para o Caso 1
25 (Corpo do tubo de 273,1 mm OD por 22,0 mm WT, 28 mm WT como extremidades reforçadas usinadas e 35 mm como extremidades reforçadas, aço de grau X65 para aplicação em ambientes não ácidos-corrosivos, 10,75" x 0,866") e Caso 2 (Corpo do tubo de 273,1 mm OD por 31,8 mm WT, 45
30 mm WT como extremidades reforçadas usinadas e 53 mm

como extremidades reforçadas, aço de grau X65 para aplicação em ambientes ácidos corrosivos, 10,75" x 1,250"), respectivamente. Após reforçar ambas extremidades dos tubos, um tratamento térmico crítico de resfriamento e têmpera é criado e utilizado para conferir as propriedades mecânicas finais. São realizados novamente ensaios não-destrutivos no corpo do tubo, sendo que a superfície OD e ID das extremidades reforçadas são usinadas e depois inspecionadas com inspeção de partículas magnéticas em via úmida e ensaio ultrassônico manual. Finalmente, os tubos são usinados em ângulo para solda circunferencial. A solda e o comportamento de fadiga são caracterizados em detalhe.

Após o tratamento térmico de resfriamento e têmpera, o material é então caracterizado completamente. O limite de escoamento (YS), a resistência máxima à tração (UTS) e o índice YS/UTS em temperatura ambiente são avaliados usando tanto espécimes arredondados longitudinais como transversais retirados das regiões de Extremidade Refoçada, Transição da Curva e Corpo do Tubo em dois quadrantes, 0° e 180°.

As durezas Vickers HV10 são medidas nas seções OD (diâmetro externo), MW (parede intermediária) e ID (diâmetro interno) em 4 quadrantes e são tomadas nas regiões de Extremidade Reforçada, Transição da Curva e Corpo do Tubo. As leituras de dureza são tomadas a 1,5

mm do OD e ID. Além disso, realiza-se um ensaio de impacto transversal Charpy V notch a -30°C e -40°C para o Caso 1 e Caso 2 respectivamente, usando espécimes de 10x10 mm. A resistência a ambientes ácidos corrosivos é avaliada tanto no corpo do tubo como nas extremidades reforçadas por Fissuramento Induzido por Hidrogênio (HIC) e Ensaio de Dobramento de Quatro Pontos (FPBT).

A presente invenção descreve, portanto, um tubo de aço sem costura para ser usado como riser rígido em catenária com extremidades reforçadas que compreendem, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carbono; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carbono e não mais de 0,23 de PCM; possuindo um limite de escoamento de pelo menos 65.000 psi no material que representa o corpo do tubo, a zona de transição e a extremidade reforçada.

A nova microestrutura do SCR reforçado que permite que o tubo de aço sem costura alcance uma melhora na vida de fadiga inclui as seguintes propriedades mecânicas e requerimentos de corrosão para o SCR reforçado, conforme indicado no Quadro 1. Os

requerimentos mínimos estão de acordo com a especificação API 5L, 43ª edição.

Quadro 1 - Propriedades mecânicas e requerimentos de corrosão para o SCR reforçado

Requerimentos	Ambiente não ácido corrosivo Caso 1	Ambiente ácido corrosivo Caso 2
Limite de escoamento 0,5% EUL	65.000 psi (mínimo), 80.000 psi (máximo)	65.000 psi (mínimo), 80.000 psi (máximo)
Resistência máxima à tração 0,5% EUL	77.000 psi (mínimo)	77.000 psi (mínimo)
Índice Limite de escoamento / Resistência à tração	0,89 (máximo)	0,89 (máximo)
Elongação (% em 2 ")	18% (mínimo)	18% (mínimo)
Dureza Vickers (HV10)	269 (máximo)	250 (máximo)
Valor da energia absorvida para 3 espécimes individuais (Joules)	70 mínimo individual, 90 mínimo médio a - 30°C	70 mínimo individual, 90 mínimo médio a -40°C
Deslocamento de abertura da ponta da fissura na direção L-C a -10°C (mm), 3 espécimes individuais	0,510 mínimo individual,	0,510 mínimo
	0,635 mínimo médio	0,635 mínimo médio
HIC conforme NACE TM0284 usando solução "A". Duração do ensaio: 96 horas.		CTR 3,0% (máximo) 0,0% (máximo) CSR 1,0% (máximo)
FPBT conforme ASTM G48, solução de ensaio "A" da NACE TM0177. Tensão do ensaio: 95% SMYS. Duração do ensaio: 720 horas.		Nenhuma fissura após 720 horas

O Quadro 2 apresenta um resumo das microestruturas observadas. Todas as microestruturas são homogêneas na parede intermediária, a qual é a seção mais crítica onde se observa principalmente bainita e uma mistura de ferrita acicular e não-poligonal, independentemente da seção (corpo do tubo, zona de transição ou zona de

reforço). Existe uma ligeira presença de martensita nas proximidades das seções OD e ID.

Quadro 2 - Microestrutura do tubo de aço sem costura para ser usado como SCR reforçado

	Corpo do tubo	Zona de transição	Zona de reforço
ID	Bainita, Martensita temperada e Ferrita acicular	Bainita, Martensita temperada e Ferrita acicular	Bainita e presença de Ferrita acicular e não-poligonal
MW	Bainita e presença de Ferrita acicular e não-poligonal	Bainita, Ferrita acicular e não-poligonal	Bainita, Ferrita acicular e não-poligonal
OD	Bainita, Martensita temperada e Ferrita acicular	Bainita, Martensita temperada e Ferrita acicular	Bainita e presença de Ferrita acicular e não-poligonal

Um design específico de liga é desenvolvido e parâmetros de tratamento térmico são configurados para obter as características microestruturais desejadas tanto no corpo do tubo como nas seções de reforço das paredes pesadas. A combinação dos parâmetros acima mencionados resulta em excelentes propriedades mecânicas que cumprem com os objetivos de força e corrosão.

A presente invenção também descreve um método para fabricar um tubo de aço sem costura para ser usado como riser rígido em catenária com extremidades reforçadas, que possua um limite de escoamento de pelo menos 65.000 psi, tanto no corpo do tubo como na zona de transição e na zona de reforço, compreendendo os seguintes passos:

(a) oferecer um tubo de aço compreendendo, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carbono; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de

níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de
5 cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carbono e não mais de 0,23 de PCM; (b) resfriar e temperar entre 630 e 710°C.

São usadas várias etapas de ciclos de reforço e
10 aquecimento entre cada operação de reforço para obter a espessura requerida nas extremidades reforçadas para cada dimensão (espessura de parede de 35 mm e espessura de parede de 53 mm para os casos 1 e 2 acima mencionados) para obter finais como as extremidades
15 reforçadas usinadas acima descritas.

Ensaio de soldabilidade e de fadiga completa são realizados em um grande número de tubos para determinar o desempenho de fadiga. Esses ensaios são descritos a
20 seguir:

Programa de solda

As propriedades dos tubos reforçados estão sujeitas
25 a vários ciclos térmicos diferentes induzidos por operações de solda são avaliadas inicialmente mediante a soldagem de um tubo com paredes de 35 mm de espessura com a química como extremidades reforçadas.

As condições são resumidas no Quadro 3, tendo sido aplicadas em uma configuração de bisel para solda, conforme recomendado pela API RP2Z; "Qualificação de pré-produção para chapas de aço para estruturas de plataformas marítimas"[1].

Esta preparação específica de solda com um dos biséis a 0° permite quantificar a tenacidade (ensaio de impacto e CTOD) da zona afetada pelo calor (HAZ) em condições mais severas do que com o bisel convencional V ou U (a fissura de fadiga é colocada no material da HAZ de granularidade grossa prescrito, por pelo menos 15% dos dois terços centrais da espessura do espécime).

Quadro 3 - Condições de solda conforme API RP2Z

Condições de solda conforme API RP2Z em tubo X70 com 35 mm de espessura			
Fornecimento de calor (kJ/mm)	Temperatura de pré-aquecimento (°C)	Temp. de interpasse (°C) Passes de enchimento	Temp. de interpasse (°C) Passes de cobertura
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

Os ensaios de soldabilidade requerem a caracterização da HAZ para dois casos sujeitos a diferentes combinações de calor usando um biselado API RP2Z: "Qualificação de pré-produção para chapas de aço para estruturas de plataformas marítimas" [8]. Todos os ensaios passam ou superam os requerimento, incluindo

dureza HV10 abaixo de 250 para o caso de ambientes ácidos corrosivos (Caso 2).

A caracterização da HAZ foi executada em ambos tubos reforçados com 28 mm e 45 mm de espessura na extremidade reforçada, com as condições de soldagem listadas no Quadro 4. Os fornecimentos de consumíveis e calor usados são:

- Lincoln STT para passe de raiz com fornecimento de calor de 0,55 a 0,75 kJ/mm;

- P-GMAW para passes de enchimento e cobertura com fornecimento de calor de 0,6 kJ/mm;

- SAW para para passes de enchimento e cobertura com fornecimento de calor igual ou superior a 0,8 kJ/mm.

Quadro 4 - Condições de solda conforme API RP2Z em ambos tubos reforçados X65

Condições de solda conforme API RP2Z em ambos tubos reforçados X65			
Fornecimento de calor (kJ/mm)	Temperatura de pré-aquecimento (°C)	Temp. de interpasse (°C) Passes de enchimento	Temp. de interpasse (°C) Passes de cobertura
0,8	200	200	250
1,5	250	250	250
3,0	250	250	250

Caracterização da HAZ: ensaios e resultados

- Dureza:

No tubo de 35 mm de espessura, as indentações de dureza da HAZ se localizam em linhas paralelas ao corpo

do tubo, a 1,5 mm do diâmetro interno e externo do tubo e cada 4 mm ao longo da espessura.

Para cumprir com os requerimentos de 250 Hv10 no máximo na HAZ (da raiz à cobertura) para um aplicação em ambiente ácido corrosivo, as condições de solda são:

- um fornecimento de calor de, no mínimo, 0,65 kJ/mm, combinado com uma temperatura de pré-aquecimento de 200°C para o passe de raiz;
- um fornecimento de calor de, no mínimo, 0,8 kJ/mm combinado com uma temperatura de interpasse de 200°C para os passes de enchimento;
- um fornecimento de calor de, no mínimo, 0,8 kJ/mm, combinado com uma temperatura de interpasse de 250°C para os passes de cobertura.

Além disso, para a cobertura, a última gota não está em um dos lados do bisel, senão que se encontra depositada dentro da largura da preparação da solda, de modo tal que cada passe de cobertura nas pontas do bisel obtenha o benefício de um efeito de têmpera dos passes de cobertura seguintes. Nas extremidades reforçadas com espessura de 28 e 45 mm, aplicando as condições de solda acima mencionadas, a dureza na HAZ não supera 250 HV10.

As típicas macro seções nas soldas API RP2Z produzidas para dois fornecimentos de temperatura são ilustrados na Figura 3. Essas soldas passam, então, por

ensaios para medir as propriedades de dureza e tenacidade (Charpy e CTOD).

- Tenacidade:

5 O teste de impacto é realizado a -40°C , da linha de fusão + 1mm à linha de fusão + 3mm, em soldas realizadas em tubos de 35 mm de espessura e alto fornecimento de calor (2 e 3 kJ/mm). A energia absorvida obtida supera 200 J para cada espécime.

10

Nas soldas das extremidades reforçadas, esses valores de energia absorvidas muito altos na HAZ são duplicados, independentemente da espessura da parede e das condições de solda: o valor mínimo foi de 200 J e o
15 valor máximo foi de 450 J.

Além disso, o ensaio CTOD (espécimes SENB, Bx2B) na HAZ conforme a API RP2Z é realizado a -10°C . Com um intervalo de fornecimento de calor de 0,8 a 1,5 kJ/mm,
20 o que é típico de solda em campo, os valores de CTOD obtidos foram de 1,0 a 1,5 mm, o que demonstra uma excelente ductilidade da HAZ.

Desenvolvimento da Especificação do Procedimento de

25

Solda (WPS)

No intuito de forçar que a fissura de fadiga se inicie longe da área de solda, permitindo melhor quantificar a resistência à fadiga da estrutura do
30 reforço, foi desenvolvida e aplicada uma especificação

para um procedimento de soldagem particular, no qual as soldas passam por ensaios de fadiga de escala completa: seleção de um consumível de solda com tenacidade muito alta, remoção da raiz da solda e refoço da cobertura.

5

Os ensaios de escala completa mostram um comportamento de fadiga excelente das juntas circunferenciais reforçadas. Em ambos casos, os dados correspondem a falhas, ou descargas, muito além da
10 curva média alvo para os conjuntos de ensaios, demonstrando que ambas geometrias dos reforços de solda circunferencial podem ser classificadas como um componente de alta classe (B1 em DNV -RP-C203) para a resistência à fadiga. Os resultados da curva média
15 podem ser observados nas Figuras 8 e 13 para o caso 1 e o caso 2, respectivamente.

Exemplos

20 São usados tubos de aço sem costura reforçados nas paredes pesadas com as seguintes características:

Caso 1: corpo do tubo com 273,1 mm de OD por 22,0 mm de WT, 28 mm de WT como extremidades reforçadas
25 usinadas e 35 mm como extremidades reforçadas, aço de grau X65 para uma aplicação em ambiente não ácido-corrosivo (10,75" x 0,866")

Caso 2: corpo do tubo com 273,1 mm de OD por 31,8
30 mm de WT, 45 mm de WT como extremidades reforçadas

usinadas e 53 mm como extremidades reforçadas, aço de grau X65 para uma aplicação em ambiente ácido corrosivo (10,75" x 1,250").

5 **Caso (1) SCR reforçado para TDZ com 10,75" de OD por
0,866" de WT, de grau X65, em ambiente não ácido-
corrosivo**

As figuras 4 (a) e (b) e 5 ilustram o Limite de
10 Escoamento (YS), a Resistência Máxima à Tração (UTS) e
o Índice YS/UTS avaliado em temperatura ambiente para
materiais resfriados e temperados. Os espécimes
redondos longitudinais e transversais retirados das
seções que representam a Extremidade Reforçada, a
15 Transição da Curva e o Corpo do Tubo são testados em
dois quadrantes, 0° e 180°. Todos os espécimes possuem
um tamanho redondo padrão, exceto os do corpo do tubo
na direção transvesa que são redondos de menor tamanho.
A Figura 4 (a) e (b) apresenta todos os valores YS e
20 UTS obtidos no ensaio de tração nas direções
longitudinais e transversais, respectivamente.

A Figura 4 (a) e (b) mostra que todos os valores
para o Limite de Escoamento obtidos são superiores ao
25 mínimo de 65,000 psi e não superam os 80.000 psi
máximos. Todos os valores para a Resistência Máxima à
Tração estão acima do mínimo estabelecido de 77.000
psi.

A Figura 5 mostra que, para o Índice YS/UTS, todos os valores estão abaixo de 0,89, valor estabelecido como a especificação YS/UTS máxima. Os valores do Índice YS/UTS são apresentados na Figura 5, tanto para a direção longitudinal como para a transversal.

Ensaio de dureza

Para o material "na condição de resfriado e temperado", a Dureza Vickers HV10 (3 leituras por fila) é medida nas seções OD, MW e ID em 4 quadrantes tomado das regiões de Extremidade Reforçada, Transição da Curva e Corpo do Tubo. As leituras de dureza são tomadas a 1.5 mm do diâmetro externo (OD) e do diâmetro interno (ID). Os resultados do ensaio HV10 de materiais resfriados a temperados são apresentados na Figura 6.

Embora o material do caso 1 não seja considerado inicialmente para uma aplicação em ambiente ácido corrosivo, como mostra a Figura 6, todas as leituras de dureza estão abaixo de 250 HV10 (22 HRC), cumprindo com o requerimento NACE para materiais a serem usados em ambientes ácidos corrosivos.

Ensaio de tenacidade

A característica de fratura mecânica é avaliada com o ensaio de impacto transversal Charpy V Notch. A temperatura do ensaio é de -30°C. Conjuntos de três espécimes de tamanho completo (10x10 mm) são tomados

das regiões de Extremidade Reforçada, Transição da Curva e Corpo do Tubo em dois quadrantes, 0° and 180°, para cada amostra de material resfriado e temperado.

- 5 A Figura 7 mostra que todos os valores individuais de Energia Absorvida estão acima de 70 Joules, valor que se estabelece como objetivo mínimo e 90 Joules como média mínima de 3 espécimes. A temperatura de transição obtida na direção transversa usando espécimes Charpy V-
- 10 notch de 10x10 em materiais que representem o Corpo do Tubo e a Extremidade Reforçada estão abaixo de -60°C, conforme ilustram os Quadros 5 (a) e (b).

Quadro 5 - Curva de Temperatura de Transição. (a) Corpo do Tubo e (b) Extremidade Reforçada

15

Resultados do ensaio Charpy V-Notch transversal (Joules), espécime de 10x10 mm											
Amostra	Tubo / Extremidade	Localização	Temperatura do ensaio °C	1	% AC	2	% AC	3	% AC	Energia Absorvida Média (J)	Área de Cisalhamento (AC) Média (%)
64283	Tubo 10 / Extremidade norte	Corpo do tubo	-30	43 9	10 0	41 9	10 0	44 3	10 0	434	100
			-40	44 0	10 0	40 8	10 0	41 5	10 0	421	100
			-50	43 5	10 0	35 5	10 0	43 7	10 0	409	100
			-60	35 7	10 0	45 1	10 0	28 0	10 0	363	100

(a)

Resultados do ensaio Charpy V-Notch transversal (Joules), espécime de 10x10 mm											
Amostra	Tubo / Extremidade	Localização	Temperatura do ensaio °C	1	% AC	2	% AC	3	% AC	Energia Absorvida Média (J)	Área de Cisalhamento (AC) Média (%)
64286	Tubo 15 / Extremidade sul	Extremidade reforçada	-30	42 5	10 0	42 8	10 0	43 1	10 0	428	100
			-40	38 8	10 0	37 4	10 0	43 5	10 0	399	100
			-50	42 4	10 0	42 2	10 0	43 5	10 0	427	100
			-60	34 4	10 0	38 4	10 0	39 4	10 0	374	100

(b)

Os resultados CTOD representam o Corpo do Tubo e a Extremidade Reforçada, conforme apresentado no Quadro 6, exibem resultados excepcionais acima de 0,6 mm a - 30°C.

Quadro 6 - Resultados CTOD representando (a) Corpo do Tubo (b) Extremidade Reforçada

CORPO DO TUBO - RESULTADOS DO ENSAIO CTOD ORIENTAÇÃO LONGITUDINAL ESPÉCIME BX2B RETANGULAR								
Amostra	Tubo	Extremidade	Temperatura do ensaio °C	Delta (mm)			Valor Delta do CTOD Médio (mm)	Valor Delta do CTOD Mínimo (mm)
				1	2	3		
64283	10	Norte	-10	1,54	1,51	1,49	1,51	1,49
64286	915	Sul	-30	1,49	1,52	1,39	1,47	1,39
Especificação mínima							0,635	0,510

(a)

10

EXTREMIDADE REFORÇADA - RESULTADOS DO ENSAIO CTOD ORIENTAÇÃO LONGITUDINAL ESPÉCIME BX2B COMPACTO								
Amostra	Tubo	Extremidade	Temperatura do ensaio °C	Delta (mm)			Valor Delta do CTOD Médio (mm)	Valor Delta do CTOD Mínimo (mm)
				1	2	3		
64283	10	Norte	-10	1,13	1,11	1,10	1,11	1,10
64286	15	Sul	-30	1,15	1,11	1,13	1,13	1,11
Especificação mínima							0,635	0,510

(b)

Análise microestrutural

São preparadas amostras de materiais resfriados e de materiais resfriados e temperados para a análise microestrutural. A face transversal ao eixo de rolamento é metalograficamente preparada lixando com lixa 600 e polindo com pasta de diamante para obter uma aparência similar à de um espelho, sendo posteriormente

atacada com Nital 2% para realizar observações microestruturais com microscópio óptico.

5 As microestruturas são observadas nas seções OD, MW e ID das seções do Corpo do Tubo, da Transição da Curva e da Extremidade Reforçada. Dois quadrantes, 0° e 180°, fotomicrográficos a 500X são obtidos, representando a microestrutura do OD, MW e ID.

10 Neste caso, as microestruturas observadas no corpo do tubo após o resfriamento consistem predominantemente em uma mistura de bainita e ferrita acicular ao longo da espessura da parede e uma leve presença de martensita nas proximidades das superfícies externa e
15 interna. De maneira similar, a bainita, a ferrita acicular e algumas regiões de ferrita não-poligonal são observadas ao longo da espessura da parede na seção reforçada.

20 Os tamanhos de grão austeníticos prévios (PAGS) são medidos usando análise de imagens em material resfriado atacado com ácido ícrico aquoso saturado em amostras extraídas do corpo do tubo e da extremidade reforçada nos quadrantes 0° e 180°, resultando em um tamanho
25 médio de 9/10 ASTM.

As microestruturas após o tratamento de têmpera consistem predominantemente em bainita e ferrita acicular, sendo observadas ao longo da espessura da

parede do material que representa o corpo do tubo, a transição da curva e a extremidade reforçada.

Resultados do ensaio de fadiga

5

Os resultados do ensaio de fadiga são exibidos na Figura 8. Os resultados do ensaio mostram um desempenho de fadiga bastante alto nas extremidades reforçadas, na transição da curva e no corpo do tubo.

10

Caso (2) SCR reforçado para TDZ com 10 ¼" de OD por 1,250" de WT, de grau X65, em ambiente ácido corrosivo

Para o caso (2), além de todos os ensaios destrutivos realizados no caso (1), que incluem tração, dureza e tenacidade, é realizado o Ensaio de Fissuramento Induzido por Hidrogênio em Ambientes Ácidos Corrosivos conforme a NACE TM0284 e o Fissuramento sob Tensão do Sulfídeo usando o Ensaio de Dobramento de Quatro Pontos. A Figura 9 mostra os resultados da tração, podendo-se observar que os valores do Limite de escoamento (YS) obtidos estão acima de 65.000 psi e não superam o máximo valor de 80.000 psi. Todos os valores de Resistência máxima à tração (UTS) obtidos superam 77.000 psi, valor estabelecido como o mínimo especificado.

Todos os valores do Índice YS/UTS estão abaixo de 0,89, conforme indicado na Figura 10 tanto na direção longitudinal como na transversal.

Conforme indicado na Figura 11, todas as leituras de dureza estão abaixo de 250 HV10 (22 HRC), cumprindo com os requerimentos da NACE MR0175 para materiais a serem usados em ambientes ácidos corrosivos.

5

Para este caso (2), a temperatura do ensaio Charpy equivale a -40°C . Conjuntos de 3 espécimes de tamanho completo (10x10 mm) são retirados da parede intermediária nas regiões de extremidade reforçada, transição da curva e corpo do tubo em dois quadrantes, 0° e 180°, a partir de material resfriado e temperado. Conforme se observa na Figura 12, todos os resultados estão acima dos valores mínimos esperados de energia absorvida de 70 Joules no mínimo para um espécime e de 90 Joules no mínimo como média de 3 espécimes.

As curvas de transição de impacto do Charpy V-Notch transversal são obtidas a partir de 2 amostras, uma representando a extremidade reforçada e outra representando o corpo do tubo a partir de um material resfriado e temperado para cada caso.

A temperatura de transição obtida na direção transversa usando espécimes Charpy V-notch de 10x10 está entre -50°C e -60°C para o material que representa a extremidade reforçada e abaixo de -70°C para o material que representa o corpo do tubo, segundo o indicado no Quadro 9.

Conforme ilustra a Figura 12, todos os resultados superaram os valores mínimos esperados de 70 Joules no mínimo para um espécime e de 90 Joules no mínimo como média de 3 espécimes.

5

As curvas de transição de impacto do Charpy V-Notch transversal são obtidas a partir de 2 amostras, uma representando a extremidade reforçada e outra representando o corpo do tubo a partir de um material resfriado e temperado para cada caso.

10

A temperatura de transição obtida na direção transversa usando espécimes Charpy V-notch de 10x10 está entre -50°C e -60°C para o material que representa a extremidade reforçada e abaixo de -70°C para o material que representa o corpo do tubo, segundo o indicado no Quadro 7.

15

Quadro 7 - Curva de Temperatura de Transição. (a) Corpo do Tubo e (b) Extremidade Reforçada

20

Resultados do ensaio Charpy V-Notch transversal (Joules), espécime de 10x10 mm											
Amostra	Tubo / Extremidade	Localização	Temperatura do ensaio °C	1	% AC	2	% AC	3	% AC	Energia Absorvida Média (J)	Área de Cisalhamento (AC) Média (%)
64521	Tubo 10 / Extremidade norte	Corpo do tubo	-20	43 6	10 0	45 0	10 0	43 9	10 0	442	100
			-30	43 2	10 0	44 0	10 0	42 2	10 0	431	100
			-40	43 4	10 0	44 2	10 0	44 6	10 0	441	100
			-50	44 6	10 0	43 6	10 0	44 9	10 0	444	100
			-60	38 4	10 0	44 0	10 0	43 9	10 0	421	100
			-70	39 8	10 0	42 4	10 0	43 5	10 0	419	100

(a)

Resultados do ensaio Charpy V-Notch transversal (Joules), espécime de 10x10 mm											
Amostra	Tubo / Extremidade	Localização	Temperatura do ensaio °C	1	% AC	2	% AC	3	% AC	Energia Absorvida Média (J)	Área de Cisalhamento (AC) Média (%)
64518	Tubo 6 / Extremidade norte	Extremidade reforçada	-20	42 2	10 0	44 7	10 0	40 9	10 0	426	100
			-30	43 0	10 0	43 0	10 0	45 2	10 0	437	100
			-40	42 9	10 0	42 8	10 0	42 4	10 0	427	100
			-50	44 3	10 0	44 9	10 0	40 5	10 0	432	100
			-60	9	0	43 9	10 0	43 2	10 0	294	67
			-70	6	0	41 5	10 0	44 4	10 0	288	67

(b)

Os resultados do CTOD a partir de um material que representa o corpo do tubo e a extremidade reforçada estão acima de 0,6 mm a -10°C, conforme se observa no Quadro 8.

Quadro 8 - Resultados do CTOD representando (a)

Corpo do Tubo (b) Extremidade Reforçada

CORPO DO TUBO - RESULTADOS DO ENSAIO CTOD ORIENTAÇÃO LONGITUDINAL ESPÉCIME BX2B								
Amostra	Tubo	Extremidade	Temperatura do ensaio °C	Delta (mm)			Valor Delta do CTOD Médio (mm)	Valor Delta do CTOD Mínimo (mm)
				1	2	3		
64577	9	Norte	-10	1,50	1,55	1,54	1,53	1,50
64578	9	Sul	-10	1,61	1,56	1,57	1,58	1,56
Especificação Mínima							0,635	0,510

10

(a)

EXTREMIDADE REFORÇADA - RESULTADOS DO ENSAIO CTOD ORIENTAÇÃO LONGITUDINAL ESPÉCIME COMPACTO								
Amostra	Tubo	Extremidade	Temperatura do ensaio °C	Delta (mm)			Valor Delta do CTOD Médio (mm)	Valor Delta do CTOD Mínimo (mm)
				1	2	3		
64577	9	Norte	-10	1,13	1,14	1,07	1,11	1,07
64578	9	Sul	-10	1,14	1,15	1,17	1,15	1,14
Especificação Mínima							0,635	0,510

(b)

RESULTADOS DO ENSAIO DE FISSURAMENTO INDUZIDO POR HIDROGÊNIO - CORPO DO TUBO SOLUÇÃO A: NACE TM 0284										
Espécime	Seção	Fissuramento		Bolhas	Fissuramento médio da seção			Fissuramento médio do cupom		
		Compr. (mm)	Largura (mm)		% CSR	% CLR	% CTR	% CSR	% CLR	% CTR
1	A1	0,00	0,00	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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							

**Quadro 10 - Resultados do Ensaio de Fissuramento
Induzido por Hidrogênio - Extremidade Reforçada**

RESULTADOS DO ENSAIO DE FISSURAMENTO INDUZIDO POR HIDROGÊNIO - EXTREMIDADE REFORÇADA SOLUÇÃO A: NACE TM 0284										
Espécime	Seção	Fissuramento		Bolhas	Fissuramento médio da seção			Fissuramento médio do cupom		
		Compr. (mm)	Largura (mm)		% CSR	% CLR	% CTR	% CSR	% CLR	% CTR
1	A1	0,00	0,00	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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	Nenhuma	0,00	0,00	0,00	0,00	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							

5

Esses quadros ilustram que nem as fissuras nem as bolhas são encontrados após o período de teste, indicando que todos os requerimentos para o Fissuramento Induzido por Hidrogênio são alcançados.

0

Fissuramento sob Tensão do Sulfídeo

O Ensaio de Dobramento de Quatro Pontos para o Fissuramento sob Tensão do Sulfídeo (SSC) é realizado em uma amostra que representa a extremidade reforçada e outra que representa o corpo do tubo. Cada conjunto de

5

3 espécimes (3 quadrantes, 0°, 120° e 240°) que representa o corpo do tubo, além de outro conjunto que representa a extremidade reforçada, é testado de acordo com a ASTM G48. A solução de ensaio "A" da NACE TM0177 é considerada. A tensão do ensaio é de 95% do Limite de Escoamento Mínimo Especificado (SMYS), sendo que dois períodos de teste, de 96 e 720 horas, são usados. Os resultados se apresentam nos Quadros 11 e 12.

Quadro 11 - Resultados do Ensaio de Dobramento de Quatro Pontos para o Fissuramento sob Tensão do Sulfídeo (SSC), representando material extraído do Corpo do Tubo (a) após 96 horas de exposição e (b) após 720 horas de exposição

FISSURAMENTO SOB TENSÃO DO SULFÍDEO (SSC) - ENSAIO DE DOBRAMENTO DE QUATRO PONTOS SOLUÇÃO "A" NACE 0177-96- DURAÇÃO DO ENSAIO: 96 HORAS. CORPO DO TUBO						
Espécime nº	Valores iniciais		Valores finais		Tensão Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou
2	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou
3	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou

(a)

FISSURAMENTO SOB TENSÃO DO SULFÍDEO - ENSAIO DE DOBRAMENTO DE QUATRO PONTOS SOLUÇÃO "A" NACE 0177-96- DURAÇÃO DO ENSAIO: 720 HORAS. CORPO DO TUBO						
Espécime nº	Valores iniciais		Valores finais		Tensão Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou
2	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou
3	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou

(b)

Quadro 12 - Resultados do Ensaio de Dobramento de Quatro Pontos para o Fissuramento sob Tensão do Sulfídeo (SSC) na Extremidade Reforçada (a) após 96 horas de exposição e (b) após 720 horas de exposição

FISSURAMENTO SOB TENSÃO DO SULFÍDEO (SSC) - ENSAIO DE DOBRAMENTO DE QUATRO PONTOS SOLUÇÃO "A" NACE 0177-96- DURAÇÃO DO ENSAIO: 96 HORAS. EXTREMIDADE REFORÇADA						
Espécime n°	Valores iniciais		Valores finais		Tensão Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou
2	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou
3	2418,32	2,72	2503,61	3,57	95	Não falhou

(a)

FISSURAMENTO SOB TENSÃO DO SULFÍDEO - ENSAIO DE DOBRAMENTO DE QUATRO PONTOS SOLUÇÃO "A" NACE 0177-96- DURAÇÃO DO ENSAIO: 720 HORAS. EXTREMIDADE REFORÇADA						
Espécime n°	Valores iniciais		Valores finais		Tensão Aplicada %SMYS	Resultado
	SATi	PHi	SATf	pHf		
1	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou
2	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou
3	2809,95	2,70	2980,25	3,62	95	Não falhou

(b)

Os quadros 11 e 12 mostram que todos os espécimes de Dobramento de Quatro Pontos passaram satisfatoriamente no ensaio SSC após o período de teste, tensado a 95% SMYS, não tendo sido observadas fissuras após 96 horas e até mesmo após 720 horas.

Caracterização microestrutural

São utilizados como material de caracterização um microscópio óptico e um microscópio eletrônico de varredura. A análise microestrutural é realizada nas seções OD, MW e ID do corpo do tubo, transição da curva e extremidade reforçada em dois quadrantes, 0° e 180°, para amostras na condição de resfriada e na condição de resfriada e temperada.

A microestrutura resfriada do corpo do tubo consiste predominantemente em bainita e ferrita acicular na parede intermediária e, próximo à superfície externa e interna, observa-se uma leve presença de martensita.

A microestrutura resfriada reforçada consiste predominantemente em bainita e ferrita acicular ao longo da espessura da parede.

O PAGES é medido usando análise de imagens em material resfriado atacado com ácido pícrico aquoso em amostras extraídas do corpo do tubo e da extremidade reforçada. Um tamanho de PAGES médio de 7/8 ASTM é obtido tanto para o corpo do tubo como para a extremidade reforçada, respectivamente.

25

A microestrutura na parede intermediária após a têmpera consiste predominantemente em bainita e ferrita acicular no corpo do tubo e na transição da curva; além de bainita, ferrita acicular e ferrita não-poligonal nas extremidades reforçadas.

Resultados de fadiga

Os resultados do ensaio de fadiga são graficados na Figura 13. Os resultados do ensaio indicam um
5 desempenho de fadiga muito alto nas extremidades reforçadas, na zona e transição e no corpo do tubo.

A invenção foi descrita completamente e os resultados da fadiga experimental obtidos mostram que o
.0 desempenho de fadiga para essas duas Soluções Reforçadas descritas nos casos acima (1 e 2) foi aumentado com um fator em um intervalo de entre 3 e 15.

REIVINDICAÇÕES

1.- Tubo de aço sem costura para ser usado como riser
rígido em catenária com extremidades reforçadas caracterizado
5 por compreender, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carvão;
0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70
de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de níquel; no
máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx.
0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de
10 titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio;
no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43
de equivalente de carvão e não mais de 0,23 de PCM;
caracterizado pelo fato de que o material que representa o
corpo do tubo, a zona de transição e as extremidades reforçadas
15 possui uma força de rendimento de pelo menos 65.000 psi, uma
força de tensão máxima de pelos menos 77.000 psi e um índice
YS/UTS inferior a 0,89; sendo que a microestrutura do material
resfriado e temperado é homogênea na parede média, a seção mais
crítica que está constituída por bainita e uma mistura de
20 ferrita acicular e/ou não-poligonal.

2.- Tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação
1, caracterizado pelo fato de que o anterior tamanho de grão
austenítico é, em média, de pelo menos 7 ASTM, tanto no corpo
25 do tubo como em suas extremidades reforçadas.

3.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura para
ser usado como riser rígido em catenária com extremidades
reforçadas caracterizado por possuir uma força de rendimento de
30 pelo menos 65.000 psi, tanto no corpo do tubo como na transição

e na zona de reforço, compreendendo os seguintes passos: (a) oferecer um tubo de aço compreendendo, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carvão; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10 a 0,40 de níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carvão e não mais de 0,23 de PCM; (b) reforçar as extremidades do tubo em várias etapas com ciclos alternados de aquecimento intermediário para obter a espessura desejada; (c) resfriar e temperar entre 630 e 710°C; e (d) usinar as extremidades reforçadas.

4.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que os tubos foram laminados a quente utilizando um esquema de laminação controlada com recristalização, fabricados a partir de um processo de lingotamento contínuo (CC).

20

5.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que, após a laminação a quente, os tubos foram inspecionados com métodos não-destrutivos como a inspeção eletromagnética, a inspeção de partículas magnéticas em via úmida e o teste ultrassônico, com o objetivo de encontrar qualquer defeito longitudinal ou transversal em superfícies internas ou externas e de verificar a espessura da parede.

25

6.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que os tubos foram reforçados por reaquecimento de suas extremidades acima da temperatura de dissolução do Nb (C, N), de modo a oferecer um fluxo plástico adequado durante cada operação de reforço controlando, ao mesmo tempo, o tamanho de grão austenítico por precipitação de finas partículas TiN.

7.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que ao reforçar ambas as extremidades dos tubos um tratamento térmico crítico de resfriamento e têmpera foi criado e utilizado para conferir as propriedades mecânicas finais.

8.- Método para fabricar um tubo de aço sem costura de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que os tubos foram usinados em ângulo para soldagem de perímetro.

9.- Sequência tubular para ser usada como riser rígido em catenária, caracterizada por ser usada em ambientes que não sejam ácidos corrosivos usando os tubos descritos na reivindicação 1, sendo que os tubos são soldados nas extremidades reforçadas.

10.- Sequência tubular para ser usada como riser rígido em catenária, caracterizada por ser usada em ambientes ácidos corrosivos usando os tubos descritos na reivindicação 1, sendo que os tubos são soldados nas extremidades reforçadas.

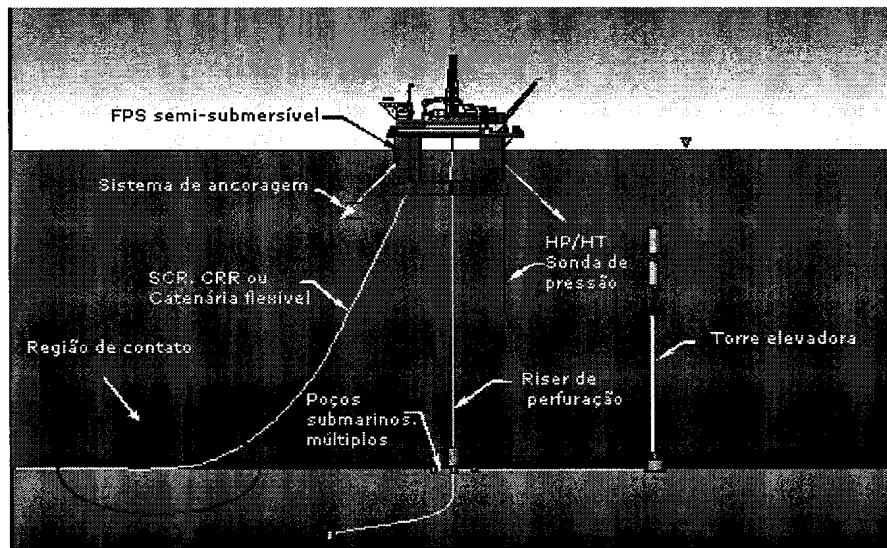


FIGURA 1

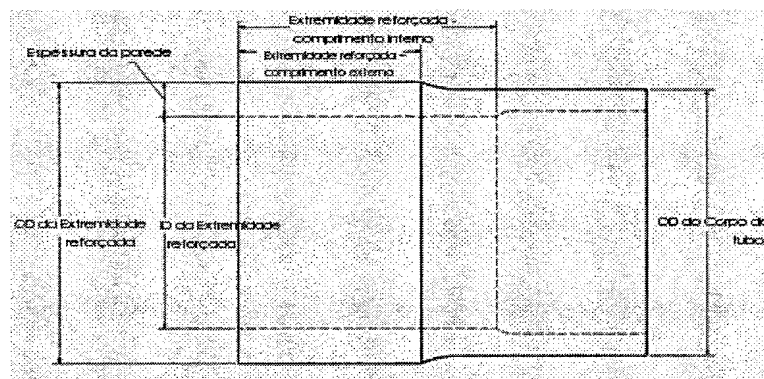


FIGURA 2

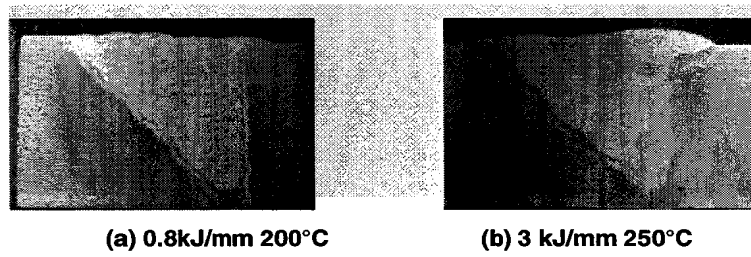


FIGURA 3

ENSAIO DE TRAÇÃO LONGITUDINAL

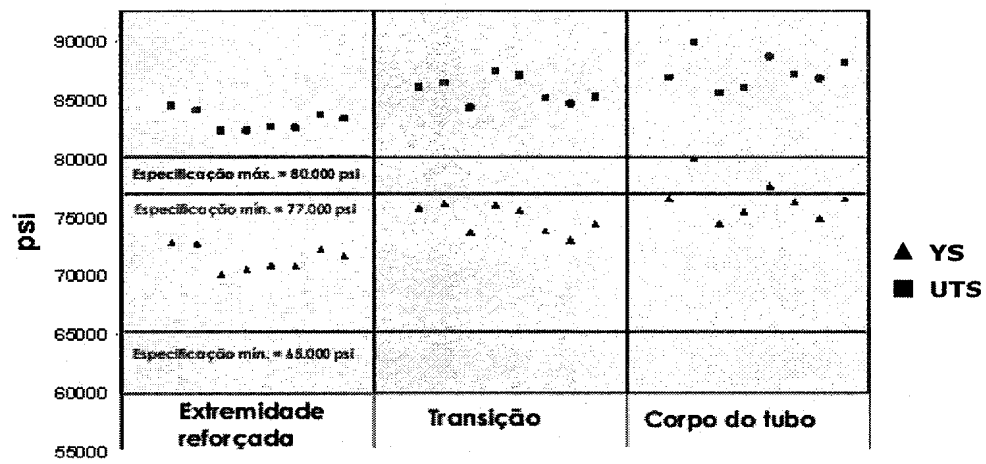


FIGURA 4a

ENSAIO DE TRAÇÃO TRANSVERSAL

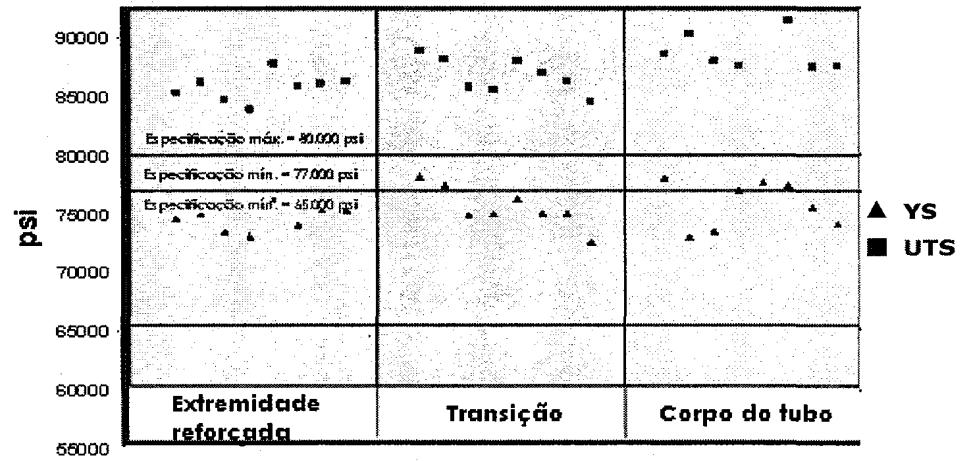


FIGURA 4b

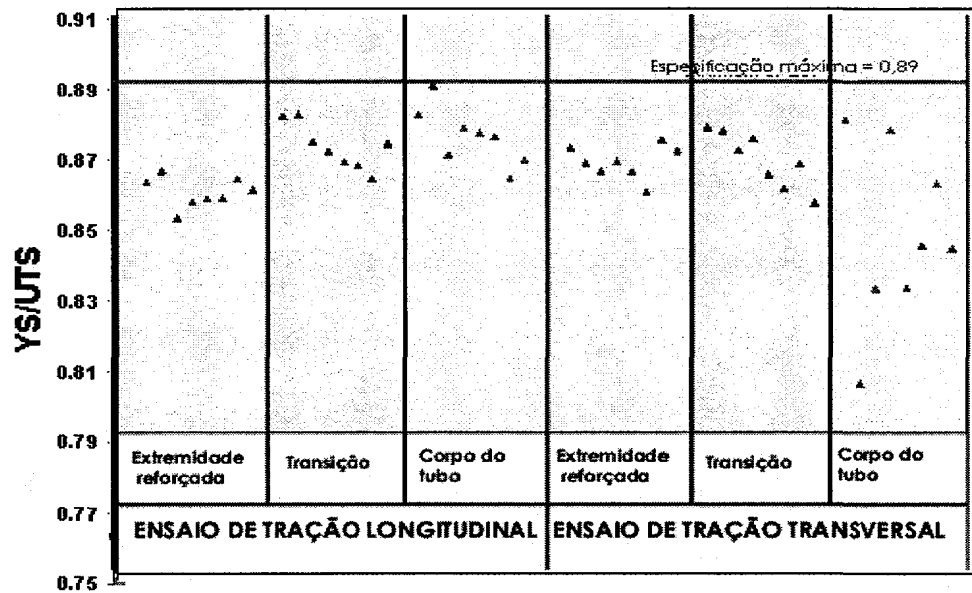


FIGURA 5

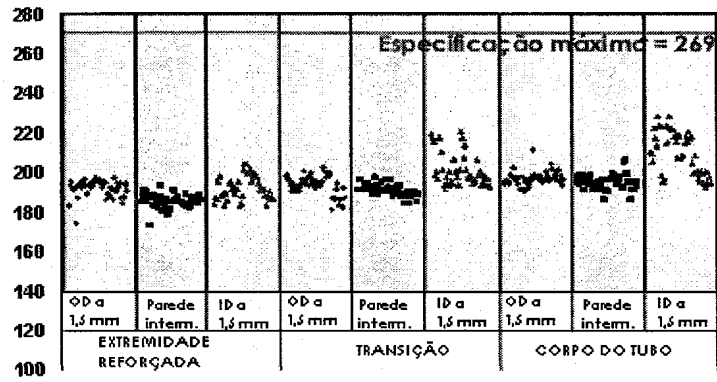


FIGURA 6

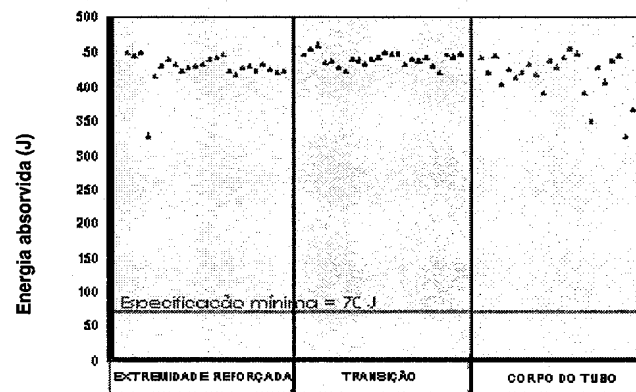


FIGURA 7

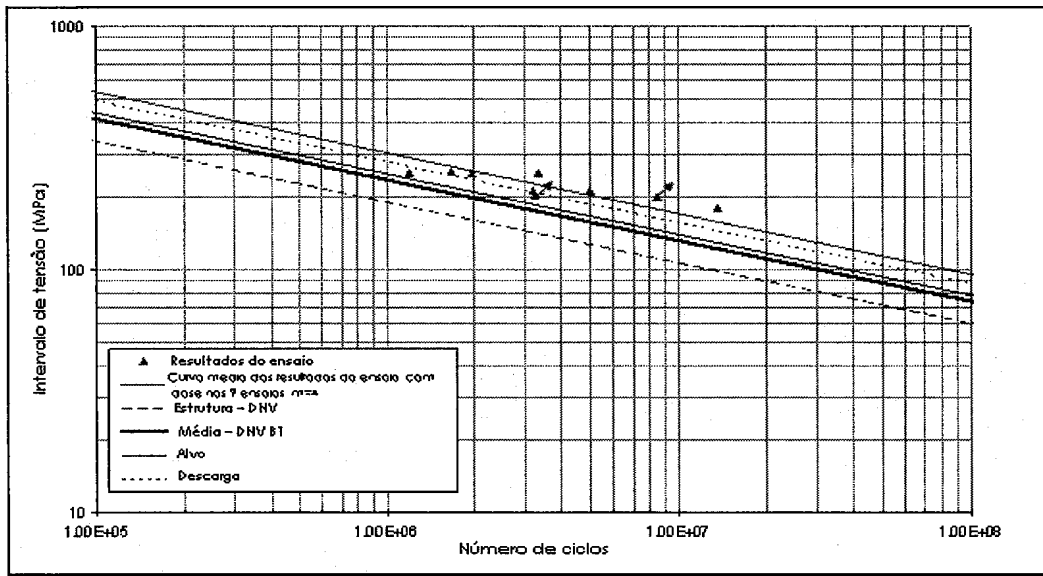


FIGURA 8

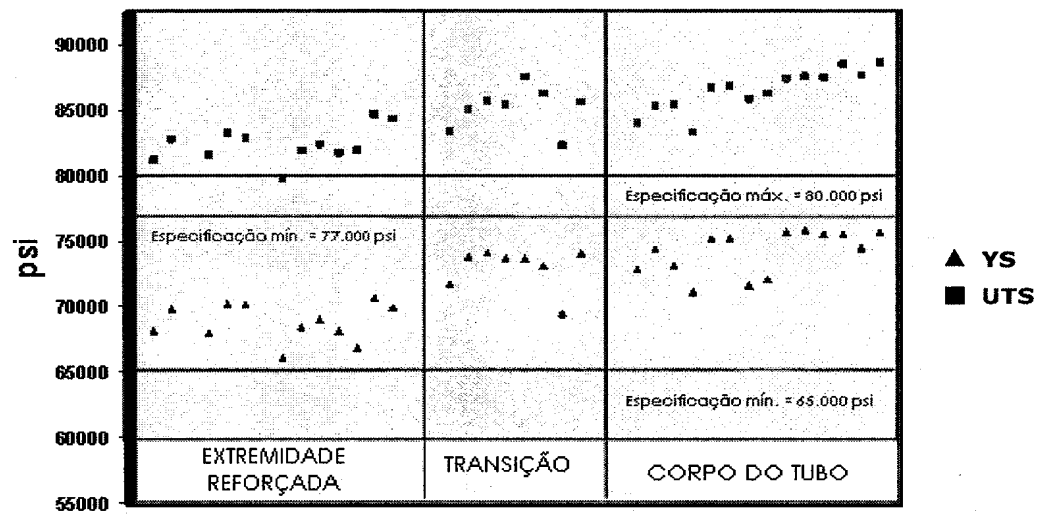


FIGURA 9a

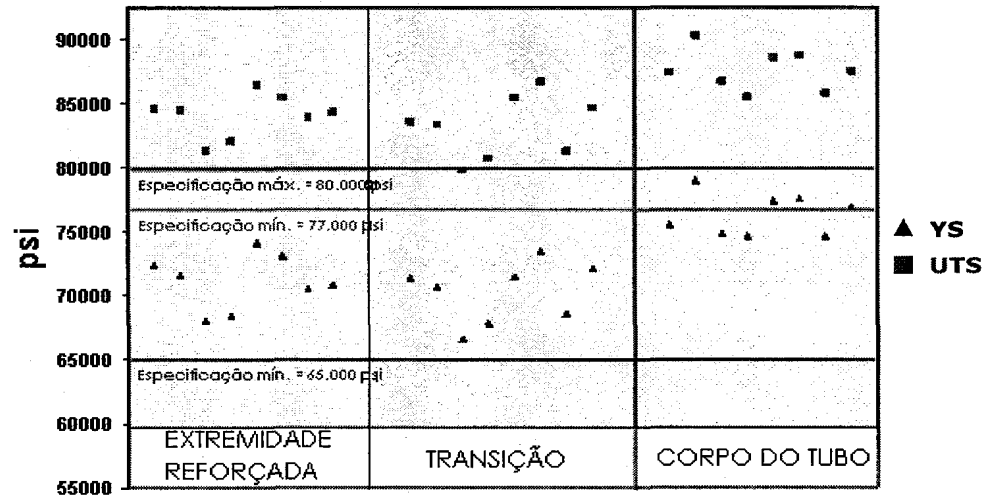


FIGURA 9b

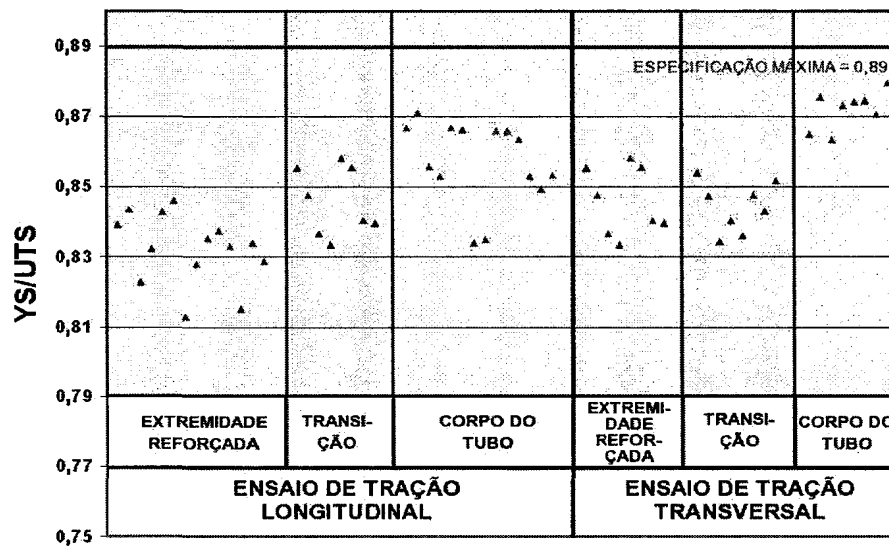


FIGURA 10

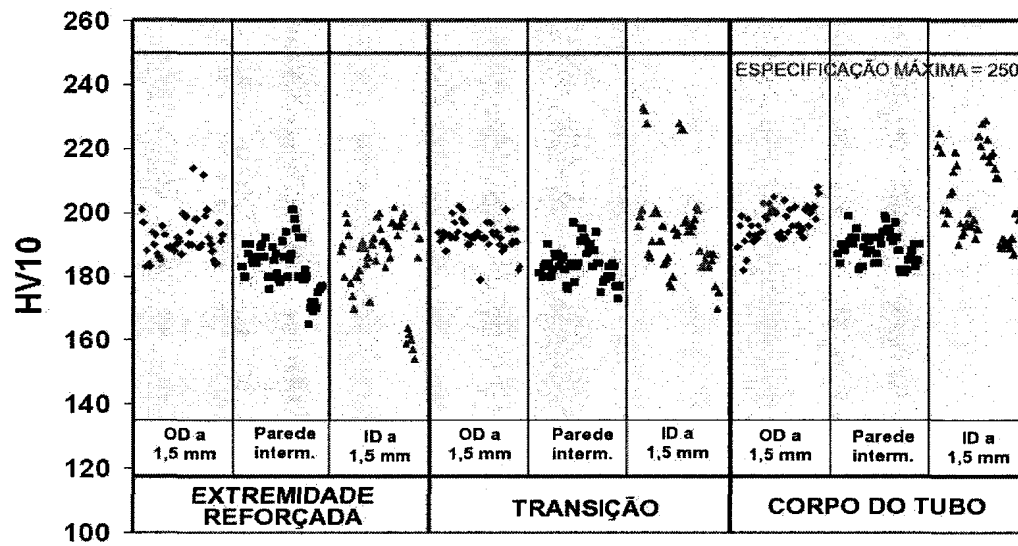


FIGURA 11

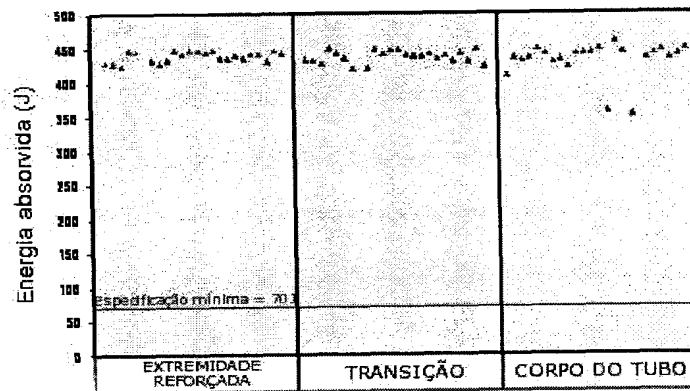


FIGURA 12

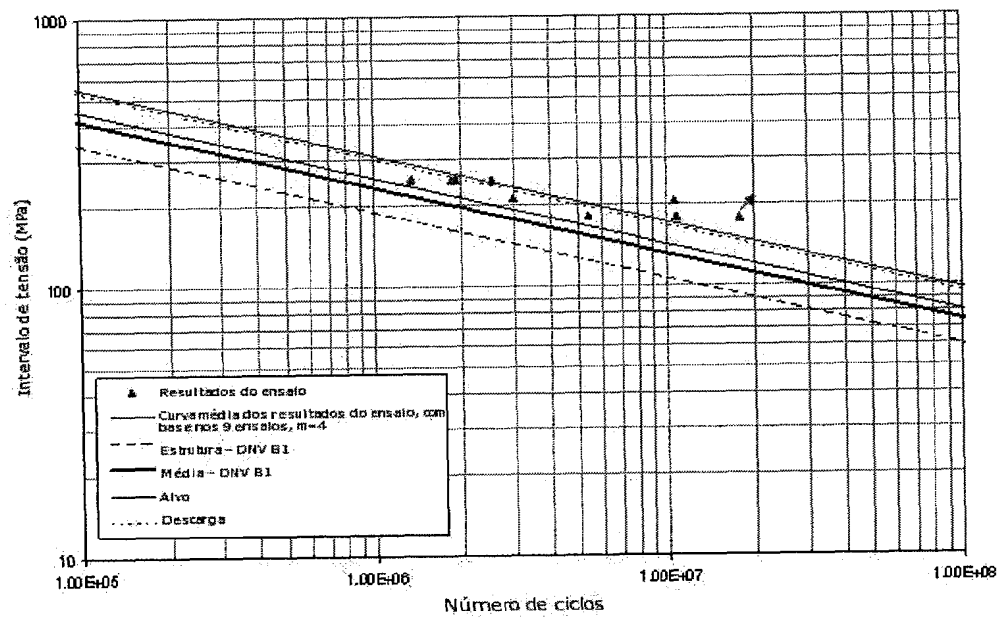


FIGURA 13

RESUMO

TUBO DE AÇO SEM COSTURA PARA SER USADO COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA COM EXTREMIDADES REFORÇADAS, MÉTODO PARA FABRICAR UM
5 **TUBO DE AÇO SEM COSTURA PARA SER USADO COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA COM EXTREMIDADES REFORÇADAS, SEQUÊNCIA TUBULAR PARA SER USADA COMO RISER RÍGIDO EM CATENÁRIA**

A presente invenção descreve um riser rígido em catenária (SCR)
10 reforçado que apresenta uma nova composição e microestrutura química reduzida em carvão; descreve, ainda, o método de fabricação do mesmo, mediante o qual se obtém uma melhoria na vida em fadiga, ao estar integrado com a seção tubular do riser na região de touch down. O SCR reforçado reduzido em carvão
15 obtém as propriedades desejadas mediante o tratamento térmico ao qual é submetido. A nova composição e microestrutura química reduzida em carvão compreende, em porcentagem de peso: 0,04 a 0,10 de carvão; 0,40 a 0,70 de manganês; 0,15 a 0,35 de silicone; 0,40 a 0,70 de cromo; 0,40 a 0,70 de molibdênio; 0,10
20 a 0,40 de níquel; no máx. 0,008 de nitrogênio; 0,010 a 0,045 de alumínio; no máx. 0,005 de enxofre; no máx. 0,020 de fósforo; 0,003 a 0,020 de titânio; 0,020 a 0,035 de nióbio; não mais de 0,10 de vanádio; no máx. 0,20 de cobre; no máx. 0,020 de estanho; no máx. 0,43 de equivalente de carvão e não mais de
25 0,23 de PCM; possuindo uma força de rendimento de pelo menos 65.000 psi, uma força de tensão máxima de pelo menos 77.000 psi e um índice YS/UTS inferior a 0,89 no material que representa o corpo do tubo, a zona de transição e a extremidade reforçada.