



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102018072858-0 A2



(22) Data do Depósito: 07/11/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 26/05/2020

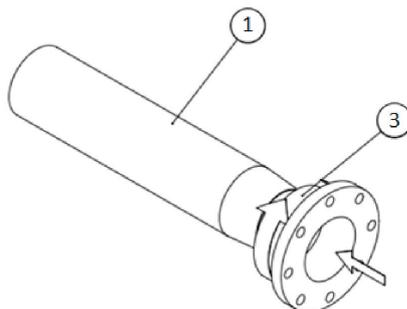
(54) **Título:** TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS, RISER SUBMARINO, PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS

(51) **Int. Cl.:** B23K 1/00; F16L 9/02; F16L 21/04; F16L 21/08.

(71) **Depositante(es):** PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS.

(72) **Inventor(es):** RICARDO REPPOLD MARINHO; RENAN MENSCH LANDELL; RAFAEL EUGENIO DOS SANTOS; MARIANE CHLUDZINSKI; MARCELO TORRES PIZA PAES; GIOVANI DALPIAZ; FABIANO MATTEI; EDUARDO HIPPERT JUNIOR; AFONSO REGULY.

(57) **Resumo:** "TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS, RISER SUBMARINO, PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS" A presente invenção se refere a um tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), um processo e um sistema para fabricação desses tubos rígidos metálicos (T, T1, T2), e um riser submarino, construído a partir desses tubos rígidos metálicos (T, T1, T2), voltado para aplicação em campos de produção offshore, independente da altura da lâmina de água do ambiente e/ou dos contaminantes do fluido produzido.



“TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS, RISER SUBMARINO, PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção se refere a um tubo rígido metálico com extremidades mais espessas, um processo e um sistema para fabricação de tubo rígido metálico com extremidades mais espessas, e um riser submarino, construído com os tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas, voltado para aplicação em campos de produção offshore, independente da altura da lâmina de água do ambiente e/ou dos contaminantes do fluido produzido. O tubo rígido metálico da presente invenção pode ser bimetálico.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

[002] O transporte de óleo e gás produzidos no leito marinho até as plataformas de petróleo em campos offshore é feita por risers submarinos, que são tubulações suspensas (sem pontos de apoio entre o leito marinho e a plataforma).

[003] As recentes descobertas em campos offshore do pré-sal apresentam duas características importantes: lâminas de água mais profundas (aproximadamente 2200 m) e alta corrosividade do fluido produzido/extraído, devido à presença de contaminantes (especialmente H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub>). Estas características demandam a utilização de tubos com elevada espessura de parede para suportar as cargas dinâmicas mais severas nesse ambiente e inviabilizam o emprego de tubos de aço carbono.

[004] Uma maneira alternativa mais atraente para os risers submarinos nos campos do pré-sal é o emprego de tubos rígidos

bimetálicos (*clad & liner*). Estes tubos apresentam uma camada interna (revestimento) de material resistente à corrosão (por exemplo, uma liga de níquel IN625) envolvida por uma camada de aço API 5L, e podem ser fabricados através de chapas colaminadas (*clad*) ou através da inserção mecânica de um revestimento interno (*liner*).

[005] As rotas industriais para fabricação destes tubos apresentam uma limitação em relação à máxima espessura de parede do tubo e a mínima relação diâmetro/espessura do tubo possível de ser obtida. Dessa forma, os projetos de tubulação de risers submarinos atuais consideram tubos com espessuras até o limite da capacidade de produção dos fornecedores mundiais.

[006] Para contornar essa limitação da fabricação de tubos bimetálicos, são utilizados tubos onde apenas as extremidades são mais espessas. Essa configuração permite reduzir localmente a tensão global aplicada, melhorando o desempenho dos tubos em fadiga. Um exemplo desse processo é o descrito no documento CN 102174878 B, em que as extremidades, que possuem paredes mais espessas, são soldadas junto ao corpo do tubo, deixando uma linha de soldagem nas superfícies interna e externa do tubo. No entanto, são nessas soldagens entre os tubos e as extremidades onde os eventuais defeitos de soldagem estão presentes e, conseqüentemente, onde ocorrem as falhas. Ainda, as extremidades mais espessas do tubo revelado em CN 102174878 B possuem um padrão rosqueado na superfície externa, indicando que a conexão entre os tubos é feita por rosca, sem a possibilidade de utilizar uma soldagem por fricção circunferencial.

[007] Um recalque mecânico (*upset*) ou usinagem integral do corpo de tubos espessos têm sido empregados em tubos de aço carbono

para risers submarinos. Entretanto, nenhuma dessas alternativas é viável para tubos rígidos metálicos, pois (i) um fluxo de massa durante a conformação e mistura de materiais distintos piora a resistência a corrosão do tubo; e (ii) demandam uma elevada espessura inicial do tubo.

[008] A presente invenção apresenta uma solução técnica para o problema da limitação da fabricação de tubos metálicos e risers submarinos com um novo processo e sistema de fabricação de tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas, em que uma camada de sobre-espessura, em formato de anel cilíndrico, é colocada nas extremidades do tubo através da soldagem por fricção circunferencial (chamada também de soldagem por união sólida ou atrito ou centelhamento), a camada ainda pode ser feita de um metal diferente do tubo. Os risers submarinos da presente invenção são aptos para serem usados em lâminas de água ultra profundas, como em campos do pré-sal.

#### OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[009] O objetivo da presente invenção é fornecer tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas para serem usados em risers submarinos que suportem cargas dinâmicas mais severas em ambientes offshore de águas ultra profundas, por exemplo, em campos do pré-sal. Os tubos podem ser bimetálicos.

[0010] Um outro objetivo da presente invenção é fornecer um processo de fabricação de tubos metálicos que possuem camada de sobre-espessura externa nas extremidades aplicada por soldagem por fricção.

[0011] Um objetivo adicional da presente invenção é fornecer um sistema de fabricação de tubos bimetálicos que possuem camada de sobre-espessura externa nas extremidades aplicada por soldagem por fricção.

## DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

[0012] A presente invenção consiste de um tubo rígido metálico com extremidades mais espessas, um riser submarino formado pelos tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas, um processo e um sistema para fabricação do mesmo, que possui uma camada de sobre-espessura externa nas extremidades aplicada por soldagem por fricção circunferencial.

[0013] A soldagem por fricção circunferencial mostrou ser um método versátil de fabricação de tubos com sobre-espessura nas extremidades, produzindo tubos rígidos metálicos adequados para uso em risers submarinos para lâminas de água ultra profundas, que demandam um melhor desempenho em fadiga. Os tubos rígidos metálicos utilizados são os já comercialmente disponíveis.

[0014] O processo compreende aplicar uma camada de sobre-espessura (material adicional) em uma extremidade de um tubo rígido metálico sem afetar negativamente suas propriedades mecânicas e metalúrgicas. A aplicação da camada é feita por soldagem por fricção circunferencial.

[0015] A extremidade com a camada de sobre-espessura soldada possui um diâmetro externo superior ao diâmetro externo do tubo rígido metálico e a geometria externa igual ao da camada de sobre-espessura aplicada. A configuração final do processo fornece tubos rígidos metálicos com maior resistência à fadiga e sem prejudicar as propriedades mecânicas e metalúrgicas do material original.

[0016] O sistema compreende uma camada de sobre-espessura, um tubo rígido metálico, e meios de soldagem por fricção circunferencial que irão aplicar a camada de sobre-espessura na extremidade do tubo rígido

metálico.

[0017] A presente invenção proporciona uma melhoria das classes de fadiga em projeto de risers submarinos, com a diminuição local das tensões globais nas extremidades com a camada de sobre-espessura aplicada por soldagem de fricção.

#### DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0018] A descrição detalhada apresentada adiante faz referência às figuras anexas, as quais:

- a **figura 1A** mostra o perfil de uma seção transversal de uma extremidade de um tubo rígido metálico do estado da técnica;

- a **figura 1B** mostra o perfil de uma seção longitudinal de um tubo rígido metálico do estado da técnica;

- a **figura 2A** mostra o perfil de uma seção transversal de uma extremidade de um tubo rígido metálico da presente invenção; e

- a **figura 2B** mostra o perfil de uma seção longitudinal de um tubo rígido metálico da presente invenção;

- a **figura 3** mostra um segmento do riser submarino da presente invenção, que consiste de dois tubos da presente invenção unidos por um anel consumível (soldagem por fricção radial);

- a **figura 4A** mostra o processo da presente invenção de aplicação de uma camada de sobre-espessura em uma extremidade de um tubo rígido metálico;

- a **figura 4B** mostra o tubo rígido metálico com a camada de sobre-espessura aplicada na extremidade com o processo da presente invenção;

- a **figura 5A** mostra o processo da presente invenção de aplicação de uma camada de sobre-espessura com geometria externa

específica em uma extremidade de um tubo rígido metálico;

- a **figura 5B** mostra o tubo rígido metálico com a camada de sobre-espessura com geometria externa específica aplicada na extremidade com o processo da presente invenção;

- a **figura 6A** mostra o processo da presente invenção de aplicação de uma camada de sobre-espessura inter-aplicada em uma extremidade de um tubo rígido metálico; e

- a **figura 6B** mostra o tubo rígido metálico com a camada de sobre-espessura inter-aplicada na extremidade com o processo da presente invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0019] A descrição que se segue partirá de concretizações preferenciais da invenção. Como ficará evidente para qualquer técnico no assunto, no entanto, a invenção não está limitada a essas concretizações particulares.

[0020] As figuras 1A e 1B ilustram um tubo rígido metálico 1 com uma camada de revestimento interna R do estado da técnica.

[0021] As figuras 4B, 5B, e 6B, mostram os tubos rígidos metálicos T, T1, T2 da presente invenção e as figuras 4A, 5A, e 6A mostram o processo da presente invenção, que compreende aplicar uma camada de sobre-espessura 2, 3, 5 na extremidade do tubo rígido metálico 1.

[0022] As extremidades dos tubos 1, nas figuras 4A e 5A, apresentam uma diminuição no diâmetro externo, enquanto a extremidade 4 do tubo 1 da figura 6A possui uma configuração com um vão interno para acomodar a camada de sobre-espessura 5. A diminuição das extremidades do tubo 1 nas figuras 4A e 5A é apresentada de forma exagerada, dado que essa redução é mínima, e a configuração da extremidade 4 da figura 6A é

variável para atender aos requisitos necessários da camada de sobre-espessura 5. A presente invenção não visa conformar as extremidades dos tubos 1 para receber as camadas de sobre-espessura 2, 3, 5, pois essa configuração das extremidades já vem dos fornecedores de tubos rígidos metálicos 1.

[0023] As figuras 4B, 5B, e 6B, mostram os tubos rígidos metálicos T, T1, T2 com variações de camadas de sobre-espessura 2, 3, 5 que podem ser aplicadas nas extremidades do tubo rígido metálico 1. Essas variações não são limitativas, mas exemplificam os diferentes tipos de camadas que podem ser aplicados pelo processo e sistema da presente invenção.

[0024] O processo de fabricação de um tubo rígido metálico T, T1, T2 com camada de sobre-espessura 2, 3, 5 nas extremidades da presente invenção compreende:

- posicionar uma camada de sobre-espessura 2, 3, 5 sobre uma extremidade um tubo rígido metálico 1, em que a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 tem formato de anel;

- soldar por fricção circunferencial a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 no tubo rígido metálico 1, onde a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 é rotacionada e comprimida sobre o tubo 1, que é mantido estático.

[0025] A soldagem por fricção produz calor pelo atrito entre as superfícies de contato (superfície interna da camada de sobre-espessura 2, 3, 5 e superfície externa do tubo rígido metálico 1) que, dessa forma, promove as condições termodinâmicas necessárias para unir as duas partes.

[0026] Uma importante vantagem da soldagem da camada de sobre-espessura 2, 3, 5 no tubo rígido metálico 1 é que não há alteração das propriedades mecânicas e metalúrgicas da camada do tubo 1 e do

revestimento interno R, caso esteja presente no tubo 1.

[0027] A presente invenção compreende ainda um riser submarino que é formado com a conexão de vários tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas (T, T1, T2). A figura 3 mostra um segmento de riser submarino da presente invenção, com dois tubos T conectados por soldagem por fricção circunferencial com um anel consumível (A).

[0028] O sistema de fabricação de um tubo rígido metálico com camada de sobre-espessura nas extremidades da presente invenção compreende:

- um tubo rígido metálico 1;
- uma camada de sobre-espessura 2, 3, 5 em formato de anel;
- meios de soldagem por fricção;
- onde os meios de soldagem rotacionam e comprimem a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 sobre o tubo 1, que é mantido estático.

[0029] O tubo rígido metálico 1 pode conter ou não um revestimento interno R anticorrosivo. A camada de sobre-espessura 2, 3, 5 pode ser de um metal diferente do metal do tubo rígido metálico 1. Caso o metal da camada de sobre-espessura seja diferente do metal do tubo rígido metálico, o tubo produzido será um tubo bimetálico.

[0030] A soldagem por fricção circunferencial (ou radial) é um processo de junção de materiais no estado sólido por meio de um anel consumível que apresenta elevada qualidade e baixíssimo nível de descontinuidades, sendo amplamente conhecido e aplicado para a soldagem de extremidades entre tubos. A vantagem de empregar esse processo em tubos rígidos metálicos reside no fato de que a região interna do tubo, geralmente feita com um material resistente à corrosão, não é atingida

durante o ciclo térmico de soldagem e não tem sua característica química degradada. Além disso, a precisão dimensional no diâmetro interno é mantida no tubo após a soldagem do anel.

[0031] A presente invenção utiliza a soldagem por fricção para soldar uma camada de sobre-espessura 2, 3, 5 nas extremidades de um tubo rígido metálico 1, mas sem utilizar um anel consumível, pois é a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 que é rotacionada e comprimida em relação ao tubo 1. É importante notar que, apesar de a camada de sobre-espessura 2, 3, 5 ser aplicada da mesma forma que um anel consumível, a camada 2, 3, 5 não é consumível e suas características geométricas externas, que vão configurar a geometria externa das extremidades dos tubos rígidos metálicos 1, não são afetadas e também não afetam a aplicabilidade da soldagem por fricção circunferencial.

[0032] Um exemplo de meio capaz de ser utilizado no processo e no sistema da presente invenção para a fabricação dos tubos rígidos metálico da presente invenção T, T1, T2 é a máquina de solda por fricção a topo em elementos tubulares, descrita no documento BR 10 2013 013252-7 A2. A máquina de BR 10 2013 013252-7 A2 também é capaz de realizar a soldagem por fricção com um anel consumível entre tubos da presente invenção T, T1, T2, para formação do riser submarino da presente invenção, sem prejudicar as propriedades e características da superfície interna do tubo 1, tal como ilustrado pela figura 3.

[0033] A presente invenção proporciona inúmeras vantagens, tais como:

- (a) viabilizar o emprego de tubos bimetálicos em águas ultra profundas com carregamento dinâmico relevante;
- (b) preservar a região interna do tubo, que pode ser de

material resistente à corrosão, pois a região não é atingida durante o ciclo térmico da soldagem e, portanto, não tem suas características químicas e propriedades degradadas;

(c) manter a precisão dimensional do diâmetro interno do tubo após a etapa de soldagem;

(d) utilizar a soldagem por fricção circunferencial para aplicar as camadas de sobre-espessura nas extremidades de tubo, que é um método versátil de fabricação e pode ser aplicado por empresas locais em tubos já disponíveis no mercado;

(e) aproveitar tubos metálicos ou bimetálicos, com ou sem camada de revestimento interna, já disponíveis no mercado para serem utilizados como base para a fabricação dos novos tubos da presente invenção; e

(f) eliminar as tensões são causadas pela soldagem entre o tubo e as extremidades mais espessas, dado que as extremidades mais espessas dos tubos da presente invenção são obtidas pela aplicação de camadas de sobre-espessura nas extremidades do tubo.

[0034] Assim, fica evidente a importância e os benefícios operacionais e econômicos trazidos pelo tubo rígido metálico com extremidades mais espessas, processo e sistema para fabricação de tubo rígido metálico com uma camada de sobre-espessura nas extremidades da presente invenção.

[0035] Além de todas as vantagens descritas acima, a presente invenção não apresenta as limitações dos processos existentes relacionadas à máxima espessura de parede do tubo e a mínima relação diâmetro/espessura do tubo possível de ser obtida. Os risers submarinos constituídos com os tubos rígidos metálicos com extremidades mais

espessas da presente invenção suportam cargas dinâmicas mais severas em ambientes offshore do pré-sal.

[0036] As geometrias das camadas de sobre-espessura apresentadas nas figuras são ilustrativas e não limitam a presente invenção. Alterações necessárias, de acordo com os tubos rígidos metálicos utilizados e os locais de aplicação dos tubos, são naturalmente derivadas da presente invenção e evidentes para um técnico no assunto.

## REIVINDICAÇÕES

1. Tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2) que compreende um tubo rígido metálico (1), caracterizado pelo fato de compreender uma camada de sobre-espessura (2, 3, 5) aplicada nas extremidades do tubo rígido metálico (1).

2. Tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) ser feita de um metal diferente do metal do tubo rígido metálico (1).

3. Tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) poder apresentar diferentes geometrias externas.

4. Tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o tubo rígido metálico (1) ter uma camada de revestimento interno anticorrosivo (R).

5. Riser submarino, caracterizado pelo fato de ser constituído por tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas (T, T1, T2) definidos da reivindicação 1, e que são conectados por soldagem.

6. Riser submarino, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato da conexão entre os tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas (T, T1, T2) ser feita por soldagem por fricção circunferencial com um anel consumível (A).

7. Processo de fabricação do tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2) definido na reivindicação 1, caracterizado por compreender as etapas:

- posicionar uma camada de sobre-espessura (2, 3, 5) sobre uma extremidade do tubo rígido metálico (1), em que a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) tem formato de anel;

- soldar por fricção circunferencial a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) no tubo rígido metálico (1), onde a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) é rotacionada e comprimida sobre o tubo (1), que é mantido estático.

8. Sistema de fabricação do tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2) definido na reivindicação 1, caracterizado por compreender:

- um tubo rígido metálico (1);
- uma camada de sobre-espessura (2, 3, 5) em formato de anel;

- meios de soldagem por fricção;
- em que os meios de soldagem por fricção rotacionam e comprimem a camada de sobre-espessura (2, 3, 5) sobre o tubo (1), que é mantido estático.

9. Sistema de fabricação do tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de os meios de soldagem por fricção fazerem a conexão entre tubos rígidos metálicos com extremidades mais espessas (T, T1, T2) para formar o riser submarino definido na reivindicação 5.

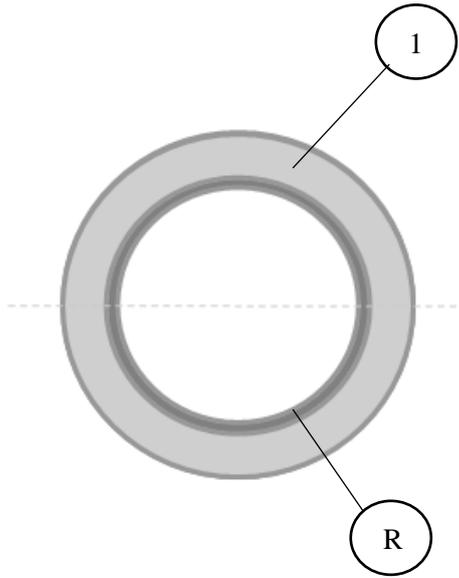


Figura 1A

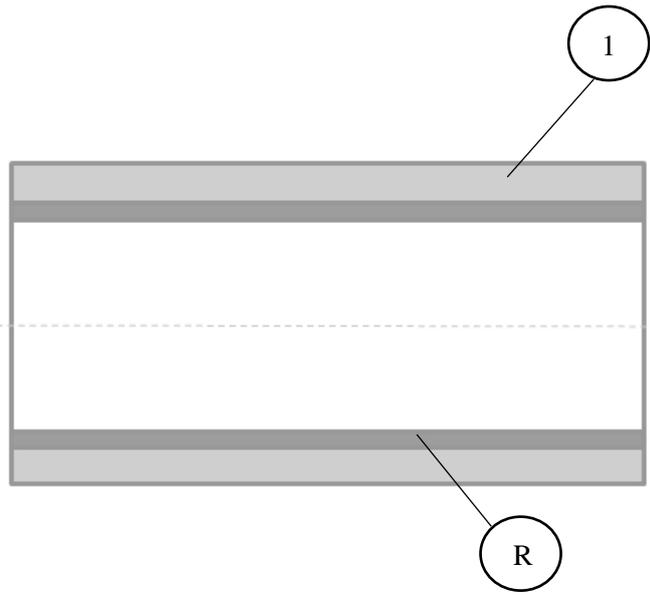


Figura 1B

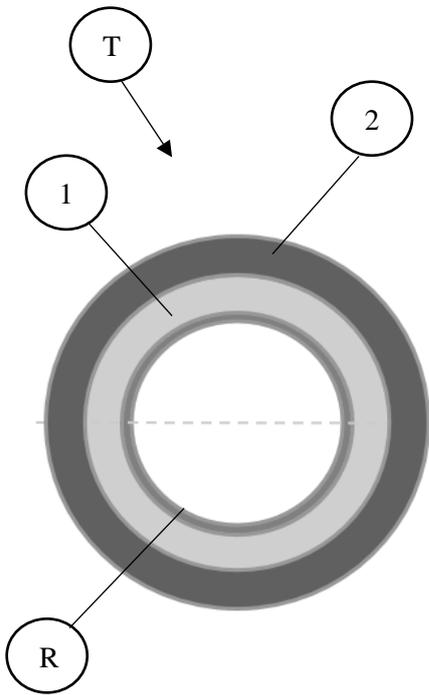


Figura 2A

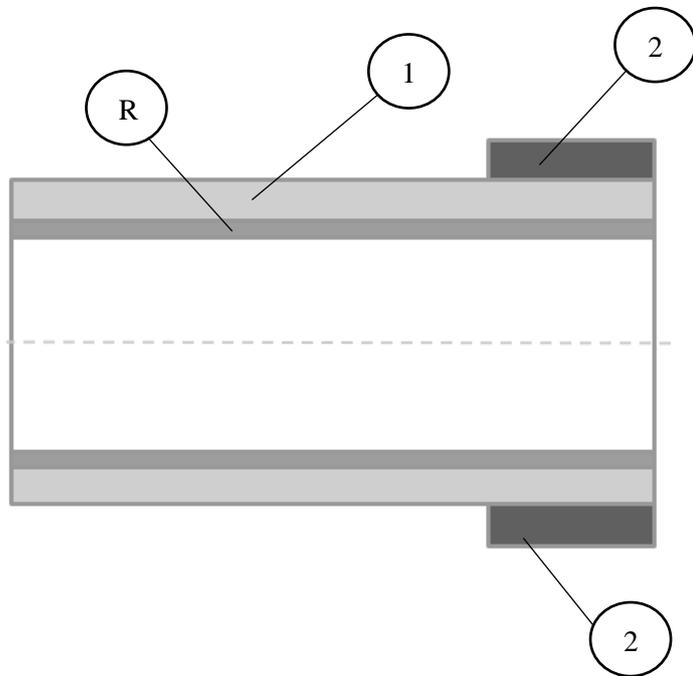


Figura 2B

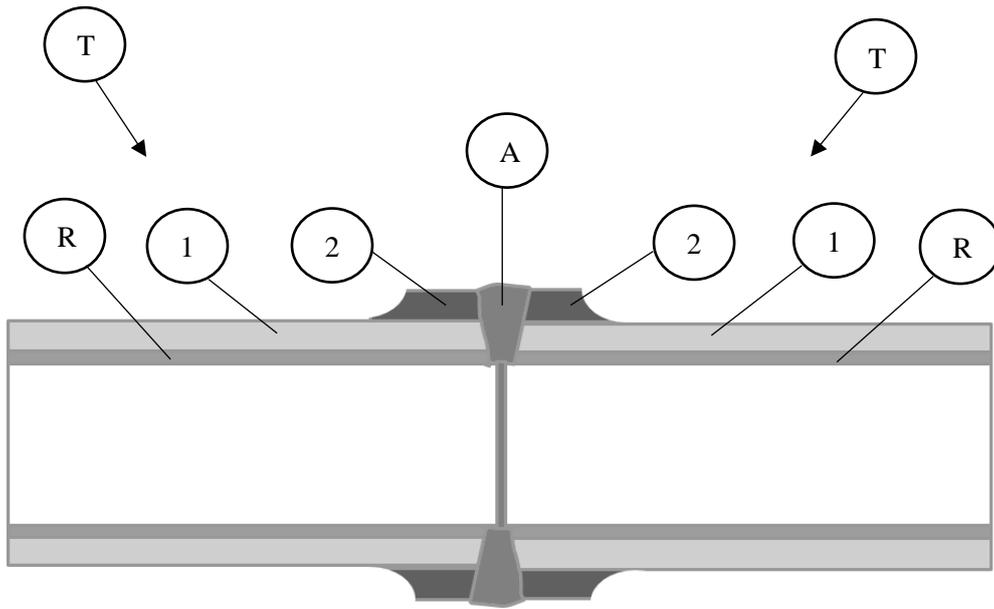


Figura 3

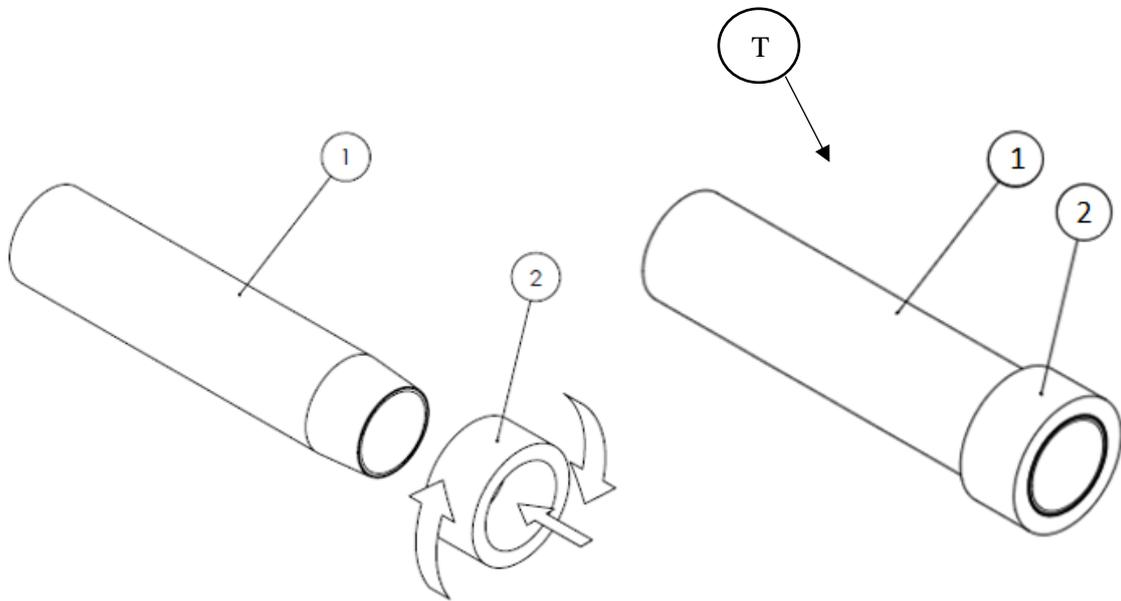


Figura 4A

Figura 4B

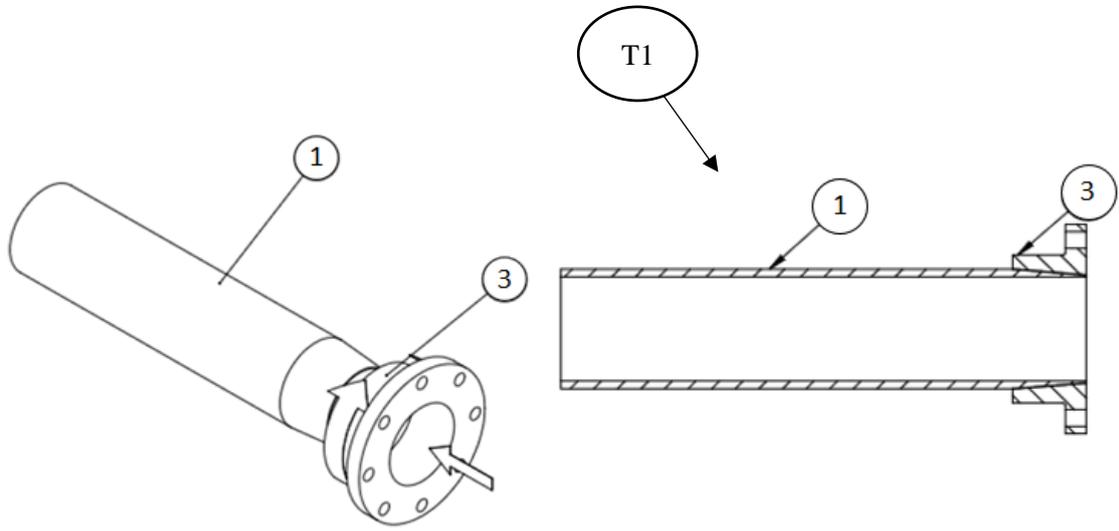


Figura 5A

Figura 5B

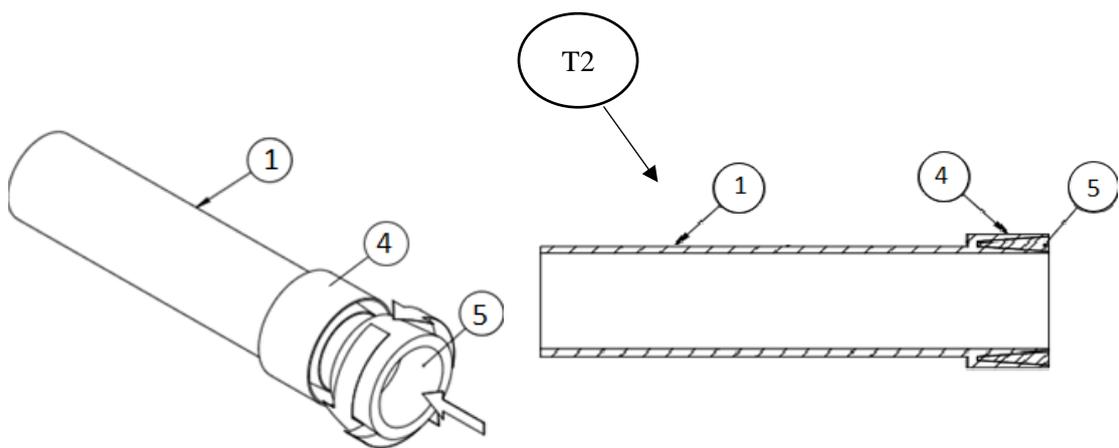


Figura 6A

Figura 6B

RESUMO

“TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS, RISER SUBMARINO, PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE TUBO RÍGIDO METÁLICO COM EXTREMIDADES MAIS ESPESSAS”

A presente invenção se refere a um tubo rígido metálico com extremidades mais espessas (T, T1, T2), um processo e um sistema para fabricação desses tubos rígidos metálicos (T, T1, T2), e um riser submarino, construído a partir desses tubos rígidos metálicos (T, T1, T2), voltado para aplicação em campos de produção offshore, independente da altura da lâmina de água do ambiente e/ou dos contaminantes do fluido produzido.