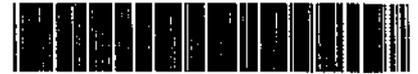




Repubblica Federativa do Brasil
 Ministério do Desenvolvimento, Indústria
 e do Comércio Exterior
 Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0203098-5 A**



(22) Data de Depósito: 30/07/2002
 (43) Data de Publicação: 01/06/2004
 (RPI 1743)

(51) Int. Cl.⁷.:
 F16L 9/18

Título: DUTOS DE PAREDE COMPOSTA PARA ÁGUAS ULTRA-PROFUNDAS

Inventor(es): COPPE/UFRJ- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (BR/RJ)

Inventor(es): Theodoro Antoum Netto, Ilson Paranhos, Roberto de Almeida, Segen Farid Estefen

Procurador: Joubert Gonçalves de Castro

(57) **Resumo:** "DUTOS DE PAREDE COMPOSTA PARA ÁGUAS ULTRA-PROFUNDAS". Trata a presente invenção de um duto de camada composta (DPC), que compreende um sistema tubular rígido em três camadas sobrepostas, com funções térmicas e mecânicas, para ser utilizado no transporte de hidrocarbonetos aquecidos ou fluidos em geral, em águas ultra-profundas.



Fig. 1



Fig. 2

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas"

Campo Técnico

A inovação ora proposta trata de um sistema tubular rígido de parede composta, para utilização no transporte de hidrocarbonetos aquecidos ou fluidos em geral em águas Ultra-Profundas.

Técnicas Anteriores

Concepções do tipo "pipe-in-pipe" para transporte de hidrocarbonetos já são atualmente empregadas na indústria de petróleo "offshore". Em geral, estas estruturas são adotadas visando primariamente um aumento da capacidade de isolamento térmico em relação a dutos de parede simples ou linhas tipo bundle. O material anular, nesses casos, é dimensionado para reduzir a troca térmica entre a mistura transportada e o meio externo, enquanto que os dutos interno e externo, são projetados para resistir aos carregamentos combinados de pressão interna e externa, tração e flexão. Esta pesquisa visou o estudo de concepções de dutos de parede composta (DPC), que pudessem atender concomitantemente e de forma integrada a requisitos térmicos e estruturais básicos de projeto.

Justificativa da presente invenção

A concepção do DPC estudado, consistiu de dois cilíndricos concêntricos de aço carbono preenchido em seu anular com um material alternativo. Sua geometria está representada de forma esquemática na Figura 1 (b), tendo como parâmetros o diâmetro interno do duto interno (d_i), a sua espessura (t_i), a espessura do anular (t_a) e a espessura do duto externo (t_e).

Estruturas sanduíche compostas de um material da camada intermediária de baixa densidade, baixa condutividade térmica e pequena resistência mecânica em relação aos materiais das camadas externa e interna têm grande potencial em oferecer viáveis concepções alternativas a estruturas convencionais. Isto pode ser obtido através da combinação de uma camada intermediária espessa com boa aderência às camadas adjacentes de maior esbelteza. Enquanto as camadas externa e interna conferem rigidez axial e à flexão, a camada intermediária deve ser capaz de, além de prover isolamento térmico, prevenir o deslizamento relativo entre as camadas externa e interna e mantê-las devidamente afastadas durante o carregamento.

Neste sentido, três materiais foram escolhidos para avaliar, através de diferentes casos, a viabilidade de dutos de parede composta: o aço carbono de alta resistência para as camadas interna e externa, e o cimento ou o polipropileno para o material anular. Devido às suas propriedades mecânicas, sua larga utilização em dutos para a indústria "offshore" e a facilidade de fabricação em escala comercial no mercado nacional, o aço carbono apresentou-se como uma opção natural para análise. O cimento foi escolhido devido ao seu baixo custo, facilidade de fabricação, moderada condutividade térmica e alta resistência à compressão. No entanto, é um material frágil e propício à nucleação e propagação de trincas durante a fabricação ou, principalmente, quando submetido a carregamento de tração. A adição de determinados componentes químicos pode, no entanto, aumentar sua tenacidade. O polipropileno apresenta comportamento hiperelástico (alongamento máximo em torno de 300%) e baixa condutividade térmica, tendo, no entanto, resistência à compressão inferior à do cimento. Adicionalmente, é uma matéria-prima mais cara, além de requerer um processo de fabricação do DPC mais complicado.

Obviamente, há inúmeras combinações de materiais e geometrias capazes de satisfazer os mesmos requisitos térmicos e estruturais. Entre outros, o peso submerso total da estrutura, a disponibilidade de matéria-prima, e o custo de fabricação, montagem e instalação do DPC devem ser fatores preponderantes na escolha otimizada de materiais e dimensões. Apesar destes fatores terem indiretamente influenciado na seleção dos casos estudados, os resultados apresentados no escopo deste projeto visaram comprovar em tese a viabilidade técnica da concepção para aplicações em águas profundas e ultra-profundas, sem compromisso com a otimização de um projeto específico (o que conferiria um caráter muito peculiar às conclusões obtidas).

Inicialmente, o estudo enfocou a determinação numérica da pressão de colapso e das cargas limites de flexão (momento fletor e curvatura) para diferentes configurações de DPC's. Não-linearidades geométrica e dos materiais foram incorporadas nas análises através de modelos numéricos apropriados baseados no método dos elementos finitos. Modelos reduzidos de DPC's em cimento e polipropileno foram fabricados e testados sob pressão hidrostática até o colapso e posterior propagação da falha. Os resultados obtidos (ver

Tabela 1), onde σ_{oi}, σ_{oe} representam as tensões de escoamento dos tubos interno e externo e P_{co} pressão de colapso, serviram para calibrar o modelo numérico desenvolvido visando seu futuro uso como ferramenta de projeto de dutos de parede composta para águas ultra-profundas. Finalmente, um breve estudo comparativo entre o desempenho estrutural sob carregamento combinado de seis diferentes DPC's e suas contrapartes em parede simples de aço, foi realizado (ver Figura 2), onde a tabela (a) representa as pressões de colapso, o gráfico (b) as curvas de resistência e a tabela (c) os pesos estruturais.

Além do aumento da rigidez à flexão da seção transversal, obtida através do desmembramento de um duto simples em duas cascas cilíndricas, separadas por um material anular alternativo, configurações de parede composta têm grande potencialidade na solução de problemas, em que o isolamento térmico da estrutura é um parâmetro crítico de projeto. O possível uso de materiais anulares capazes de prover coeficientes de transferência de calor equivalentes que atenuem a troca de calor entre a mistura óleo-gás-água e o ambiente externo torna esta concepção tecnicamente bastante conveniente.

A determinação da capacidade necessária de isolamento térmico de um duto, no entanto, é extremamente peculiar ao sistema submarino em análise (distâncias a serem percorridas, vazão do poço, pressão, temperatura, etc.). Adicionalmente, ao serem estabelecidos os requisitos de isolamento térmico da linha, devem-se considerar com o maior grau de aproximação possível, por exemplo, as propriedades físicas do fluido transportado (densidade, viscosidade, capacidade térmica, condutividade térmica, etc.). Custos de construção e de operação, segurança e operacionalidade também são parâmetros importantes no processo de dimensionamento.

O problema foi analisado no escopo da pesquisa de forma simplificada, sob duas perspectivas. Inicialmente, foi conduzido um estudo paramétrico com objetivo de analisar a influência de diferentes espessuras e condutividades térmicas do material do anular no coeficiente global de transferência de calor calculado analiticamente. Partindo-se do pressuposto que o coeficiente global de transferência de calor necessário para evitar um resfriamento indesejável da mistura é conhecido, os resultados obtidos permitem identificar diferentes configurações capazes de satisfazer requisitos de isolamento térmico de projeto. Posteriormente, foi realizada

uma análise teórica da convecção da mistura óleo-gás-água transportada e condução térmica em estruturas sólidas de dutos de parede composta. A determinação do perfil longitudinal de temperatura através da solução numérica das equações de estado permitiu quantificar as variáveis de projeto predominantes para a garantia de temperaturas adequadas da mistura ao longo da linha.

Como enfatizado anteriormente, o estudo realizado não manteve compromisso com um projeto específico, já que variadas combinações de materiais e parâmetros geométricos podem satisfazer os mesmos requisitos térmicos e estruturais. Entretanto, os resultados obtidos demonstraram claramente um grande potencial de utilização de configurações de parede composta em águas profundas e ultra-profundas, por indicarem sua capacidade em atender de maneira eficaz e de forma integrada requisitos térmicos e estruturais de projeto, sem representar maiores dificuldades operacionais ou de fabricação em relação a dutos convencionais.

Sumário da Invenção

Assim sendo, a presente invenção trata de um duto de parede composta (DPC), que consiste de um sistema tubular rígido e multicamadas, com capacidade de isolamento térmico e

resistência mecânica necessárias, para ser utilizado no transporte de hidrocarbonetos aquecidos em águas ultra-profundas.

Descrição Detalhada da Invenção

A presente invenção descreve um sistema rígido em forma cilíndrica, com funções térmicas e resistência mecânica adequadas para instalação em águas ultra-profundas (profundidades superiores a 1500 metros), a ser utilizado no transporte de hidrocarbonetos aquecidos ou outros fluidos. A invenção consiste em um sistema composto de três camadas sobrepostas, conforme descrito na Figura 1 (a), vista em perspectiva do sistema, onde **A** representa a camada externa, **B** a camada intermediária e **C** a camada interna. As camadas externa e interna são tubos de ligas metálicas como o aço carbono, aço inoxidável, alumínio, titânio, etc. com ou sem costura (solda longitudinal). Na camada intermediária foram aplicados cimento ou polipropileno, podendo também, serem utilizados materiais cerâmicos, polímeros ou materiais compostos com baixa condutividade térmica, alta resistência mecânica e boa aderência aos tubos interno e externo.

Os desenhos, tabelas e dados acima citados, não devem ser considerados como limitadores do escopo da presente

invenção, pois a mesma pode ser apresentada, em maior número de camadas e/ou dimensões distintas, dependendo das condições de sua utilização.

REIVINDICAÇÕES

1- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" que consistem de um sistema composto de três ou mais camadas sobrepostas, caracterizados por uma camada interna e externa em ligas metálicas, como aço carbono, aço inoxidável, alumínio ou titânio dentre outras, e uma camada intermediária em cimento, polipropileno, materiais cerâmicos, polímeros ou materiais compostos com baixa condutividade térmica, alta resistência mecânica e boa aderência aos tubos internos e externos.

2- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela utilização preferencial de aço carbono, na confecção das camadas externa e interna.

3- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizados pela utilização preferencial de cimento, na confecção da camada intermediária.

4- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizados pela utilização preferencial de polipropileno, na confecção da camada intermediária.

5- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" conforme descrito na reivindicação 1, caracterizados por sua utilização no transporte de hidrocarbonetos aquecidos ou fluidos em águas ultra-profundas.

6- "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas" conforme descrito na reivindicação 1, caracterizados por atenderem concomitantemente e de forma integrada a requisitos térmicos e estruturais básicos de projeto.

FIGURAS

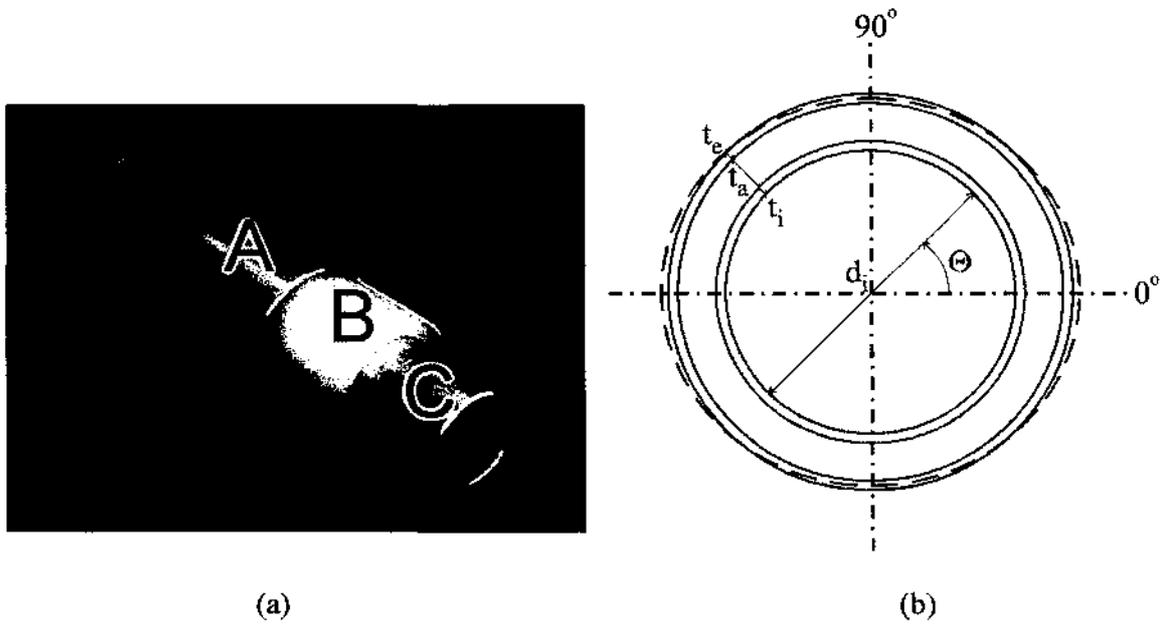


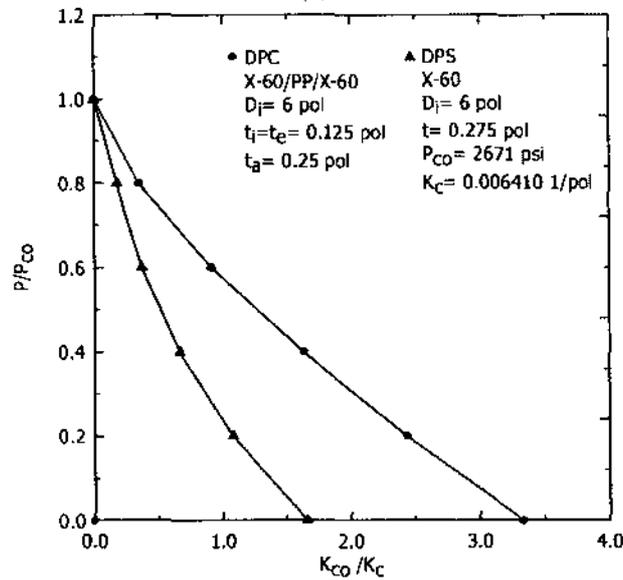
Figura 1

D_i (mm)	t_i (mm)	σ_{oi} (MPa)	t_e (mm)	σ_{oe} (MPa)	t_a (mm)	P_{co} (Mpa)
45.91	1.62	199.79	1.62	200.93	11.29	43.35
47.10	1.63	195.20	1.65	192.10	11.13	34.09
47.40	1.68	180.71	1.47	141.57	4.23	10.98
47.37	1.67	180.71	1.47	141.57	4.30	12.11
46.28	1.68	186.82	1.62	206.52	11.26	37.64
46.52	1.62	194.37	1.61	206.52	11.10	31.14
46.54	1.70	186.82	1.46	141.57	4.62	20.31
46.65	1.69	186.82	1.49	160.37	4.69	17.13

Tabela 1

DPC					DPS		
D_i (pol)	t_f, t_e (pol)	t_a (pol)	Anular	P_{co} (psi)	D_i (pol)	t (pol)	D/t
6.0	0.125	0.25	PP	2628	6.0	0.275	23.8
			CMT	4172		0.350	19.1
6.0	0.1875	0.75	PP	5341	6.0	0.405	16.8
			CMT	8267		0.545	13.0
6.0	0.25	1.25	PP	7692	6.0	0.520	13.5
			CMT	12324		0.740	10.1

(a)



(b)

DPC						DPS		
t_f, t_e (pol)	t_a (pol)	Anular	P_a (lb/pé)	P_{tot} (lb/pé)	P_{sub} (lb/pé)	t (pol)	P_a, P_{tot} (lb/pé)	P_{sub} (lb/pé)
0.125	0.25	PP	17.371	19.385	2.286	0.275	18.447	3.475
		CMT		21.187	4.087	0.350	23.759	8.094
0.1875	0.75	PP	28.563	35.185	11.433	0.405	27.731	11.547
		CMT		41.109	17.357	0.545	38.133	20.590
0.25	1.25	PP	41.425	53.430	21.936	0.520	36.244	18.949
		CMT		64.169	32.675	0.740	53.319	33.794

(c)

Figura 2

RESUMO

Patente de Invenção para "Dutos de Parede Composta para Águas Ultra-Profundas".

Trata a presente invenção de um duto de camada composta (DPC), que compreende um sistema tubular rígido em três camadas sobrepostas, com funções térmicas e mecânicas, para ser utilizado no transporte de hidrocarbonetos aquecidos ou fluidos em geral, em águas ultra-profundas.