

OTIMIZAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE SUPORTES MECÂNICOS PARA DUTOS SUBMERSOS

Victor da Mata Bandeira, vmbandeira@yahoo.com.br¹
Armando Carlos de Pina Filho, pina-filho@deg.ee.ufrj.br²
Flávio de Marco Filho, flavio@mecanica.ufrj.br¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica, CEP: 21945-970, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Expressão Gráfica, CEP: 21949-900, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Resumo: Atualmente o mercado offshore está muito aquecido devido, principalmente, à alta demanda de petróleo e gás. O segmento offshore é uma tendência crescente no mercado mundial e deve ser estudado e gerenciado de maneira efetiva. Em relação ao assentamento de uma tubulação no leito marinho, o mesmo é feito mediante a instalação de calços ou suportes. O calçamento de dutos submersos tem como objetivo nivelar a tubulação para que não ocorram vãos livres críticos, os quais poderiam comprometer a estrutura da tubulação, uma vez que as tensões atuantes na tubulação ultrapassariam a tensão de escoamento do material. Dessa forma, o suporte mecânico, tema desse trabalho, é um elemento de fundamental importância para dutos submersos. Sua estrutura e funcionamento devem ser estudados de forma detalhada para que possa sustentar adequadamente a tubulação, evitando qualquer problema nos dutos, o que poderia causar não somente problemas de distribuição dos fluidos, mas também sérios problemas ecológicos. Normalmente, as operações desse suporte são feitas por um ROV (remotely operated underwater vehicle), o qual realiza um monitoramento visual e aciona o mecanismo de “abraçamento” do duto e de extensão das pernas do suporte. Contudo, esse procedimento demanda um custo elevado. Logo, o objetivo do trabalho aqui apresentado é mostrar algumas informações relacionadas a esse suporte mecânico, sugerindo soluções para otimização de sua fabricação, procurando com isso uma redução de custos de operação. A partir dos resultados desse trabalho, espera-se adquirir conhecimentos que possam ajudar no projeto otimizado de um suporte mecânico de melhor custo/benefício, aplicado a dutos submersos.

Palavras-chave: CAD, Dutos, Mecanismos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, países de todo o mundo buscam sua auto-suficiência na produção de petróleo e gás. Devido à alta demanda de recursos petrolíferos, o mercado offshore vem ganhando importância no cenário mundial, tendo como uma de suas principais atividades, a extração de produtos brutos na área da plataforma continental. Em virtude disto, a instalação de dutos rígidos submarinos se fez como alternativa para as necessidades supracitadas, no que tange a proposição de estruturas destinadas a promover o escoamento da matéria-prima entre o poço e o continente.

O assentamento de tais dutos no leito marinho é realizado mediante a instalação de calços ou suportes, quando se faz necessária a redução de grandes vãos livres, resultante das irregularidades do perfil de fundo, assim como o isolamento elétrico nas regiões onde, inevitavelmente, há cruzamento de dutos. Este último se faz necessário para evitar possíveis interferências que podem vir a ocorrer no sistema de proteção catódica das linhas.

O suporte mecânico, objeto de estudo do presente trabalho, é um dispositivo presente na embarcação instaladora de dutos rígidos e, normalmente, tem suas operações realizadas por um ROV (Remotely Operated Underwater Vehicle), também presente na mesma embarcação, o qual realiza o acionamento dos mecanismos de extensão das pernas retráteis do suporte e de “abraçamento” do duto, além do monitoramento visual, através de uma câmera embutida, da descida do suporte até a região planejada.

O objetivo deste estudo é a proposta de um novo modelo de suporte mecânico cuja dependência de equipamentos para suas operações tornar-se-á nula, visando à diminuição dos custos de instalação das linhas de dutos rígidos submarinos, uma vez que as operações de instalação dos suportes em águas profundas requerem tempo e o custo diário do aluguel de uma balsa instaladora de médio porte gira em torno de US\$ 100.000,00.

Serão apresentadas informações referentes à construção e montagem dos suportes utilizados, dos parâmetros que influenciam diretamente seu dimensionamento, além da modelagem computacional por meio de técnicas de CAD dos novos mecanismos e das estruturas fundamentais do suporte.

2. FUNDAMENTOS, TIPOS DE CALÇAMENTO E APLICAÇÕES

O projeto de calçamento de dutos submarinos prevê a suportação da linha com a finalidade de, não somente reduzir v os livres críticos - distância entre dois pontos no leito marinho, onde o duto não mant m contato como solo; onde as tensões atuantes na tubula o ultrapassam a tensão de escoamento – mas também isol -la eletricamente em regiões onde há cruzamento de dutos (Guo, 2005 e Braestrup, 2005). Assim, após o dimensionamento dos v os livres máximos admissíveis definidos em projeto, a linha lançada será inspecionada de modo a verificar a existência de v os livres acima dos admissíveis. Todos os v os livres identificados com medida superior   admissível e as regiões de cruzamentos serão calçados, de modo a evitar que a estrutura venha a sofrer danos futuros durante sua vida útil, causando problemas na distribui o dos fluidos, o que promoveria sérios problemas ecológicos.

Como os critérios para a escolha de qual tipo de calçamento (groutbags, mantas e blocos de concreto, e/ou suportes mecânicos) de dutos submarinos não são regidos por normas, o que   justificado pelo fato de projetos offshore serem estudos recentes, a defini o pelo tipo de suporta o   estipulada pela prática de constru o e montagem. Os principais critérios para tal escolha são a declividade do solo e a altura do v o livre, onde, para v os de altura superior a 3 m, a escolha mais adequada como medida mitigadora para corre o de v os livres   a do suporte mecânico (veja Tab. (1)).

Tabela 1. Aplica o dos calçamentos para os critérios de declividade do solo e altura de v o.

Declividade do leito marinho	Altura do V�o (h)		
	$h < 1 \text{ m}$	$1 \text{ m} < h < 3 \text{ m}$	$h > 3 \text{ m}$
0 a 3 graus	<i>Groutbags</i>	<i>Groutbags</i>	Suporte Mecânico
3 a 6 graus	<i>Groutbags</i>	<i>Groutbags</i> ou Suporte Mecânico	Suporte Mecânico
> 6 graus	<i>Groutbags</i> ou Suporte Mecânico	Suporte Mecânico	Suporte Mecânico

2.1. “Groutbags”

Sacos de cimento, ou groutbags, são bolsas preenchidas com pasta de cimento injetada, através de mangueiras de inje o, cujo posicionamento no solo marinho   executado com o auxílio de mergulhadores (Fig. (1)). A utiliza o de groutbags   mais comum em linhas atuantes em baixas profundidades, o que facilita o procedimento de inje o de cimento. Além disto, regiões com altos índices de desassoreamento também recorrem a este tipo de calçamento, visto que a instala o de tais calços   mais rápida e de menor custo, em compara o com as mantas e o suporte. Este fen meno requer análises de perfis de fundo regulares, para verifica o do efetivo apoio durante a vida útil do projeto.



Figura 1. Calçamento de dutos com groutbags.

2.2. Mantas de Concreto

Mantas de concreto são blocos de cimento unidos por cabos de polipropileno que imprimem   manta alta flexibilidade. A manta, também conhecida na indústria como mattress, apresenta como vantagem uma maior área lateral para possíveis deslizamentos do duto no plano de apoio, em compara o com os groutbags. Definido o v o a ser protegido, as mantas são posicionadas de acordo com defini o em projeto, como observado na Fig. (2).

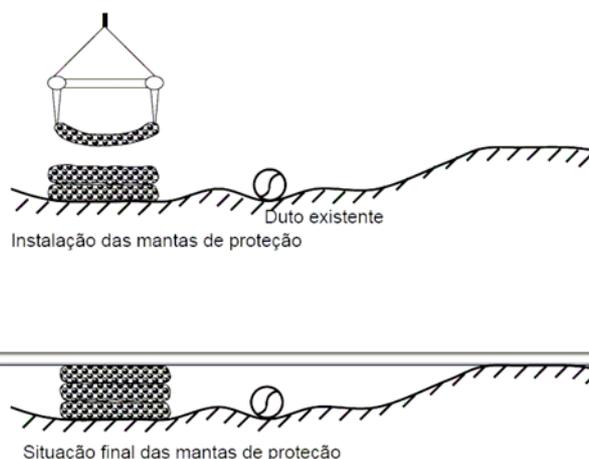


Figura 2. Posicionamento das mantas de proteção.

Há, ainda, o caso do uso de suportes formados por blocos de concreto, os quais são instalados antes mesmo do lançamento da linha, para o alinhamento dos flanges nos pontos de conexão com os spools – trechos de tubulação, retos ou curvados, inseridos nas ligações entre a linha e um ponto fixo (Ex. Riser), cuja finalidade é absorver o deslocamento da linha, causado pela diferença de temperatura do fluido e do meio, e da elevada pressão interna. O dimensionamento destes deve prever uma tolerância lateral devido aos freqüentes erros na trajetória de lançamento em relação à diretriz teórica da linha projetada preconizada na norma DnV OS-F101 (2007).

2.3. Suportes Mecânicos

O suporte mecânico é uma estrutura em aço, construído de modo a realizar a proteção das redes de dutos submarinos instaladas em solo marinho, geralmente em águas profundas. Constituído de quatro partes permanentes, a saber – braçadeira, estrutura, pernas fixas e retráteis e sapatas, o suporte é capaz de promover o nivelamento da tubulação para várias condições de inclinação e altura dos vãos, assim como da batimetria do leito marinho (Fig. (3)). Suas partes estruturais estabelecem conexão através de juntas soldadas, pinos e encaixes, que serão analisados para verificação da integridade estrutural do suporte.

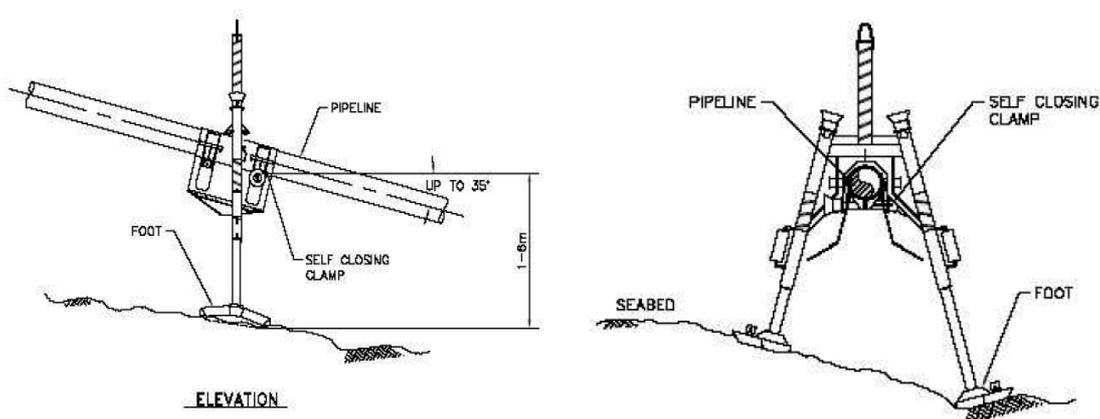


Figura 3. Vistas lateral e frontal de um suporte mecânico instalado.

O projeto de dimensionamento de suportes mecânicos atuantes em linhas submarinas vem ganhando interesse no cenário offshore mundial, devido às novas descobertas de poços de petróleo em águas profundas como, por exemplo, o campo de Tupi, no litoral paulista.

Em geral, os suportes mecânicos são mais adequados para o uso em águas profundas, uma vez que, nestes casos, torna-se dispendioso o uso e o dimensionamento de mangueiras para injeção, tendo em vista as grandes pressões hidrostáticas.

Não existe nenhum padrão de suporte mecânico definido para cada situação (comprimento e altura de vão livre), não existindo impedimento algum para a criação de novas características e dimensões para um novo suporte, desde que ele atenda às necessidades estruturais do duto, conforme observado na Fig. (4).

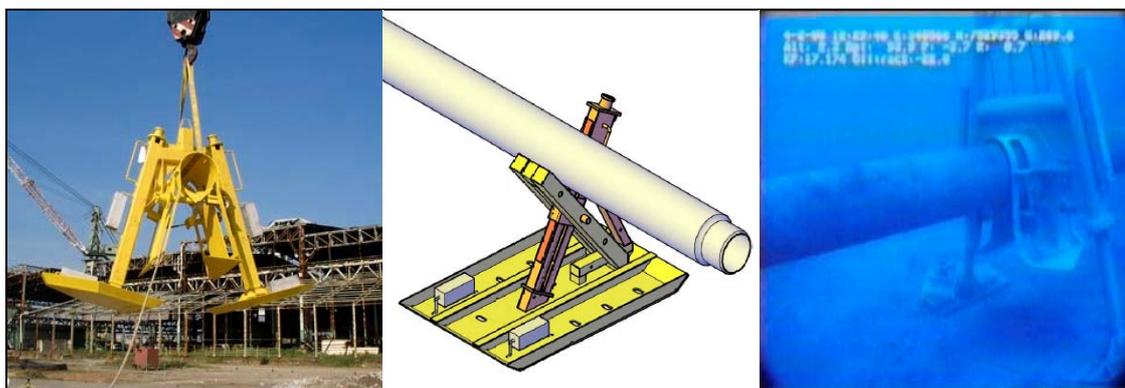


Figura 4. Exemplos de suportes utilizados.

3. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para o presente estudo, realizou-se uma modelagem computacional de suporte mecânico tradicional, através do *software* AUTOCAD. O objetivo desta modelagem é obter um melhor entendimento da estrutura do suporte, compreendendo seus mecanismos atuadores, permitindo a otimização de tais suportes para diminuição dos custos de projeto. O suporte mecânico modelado se encontra na Fig. (5):

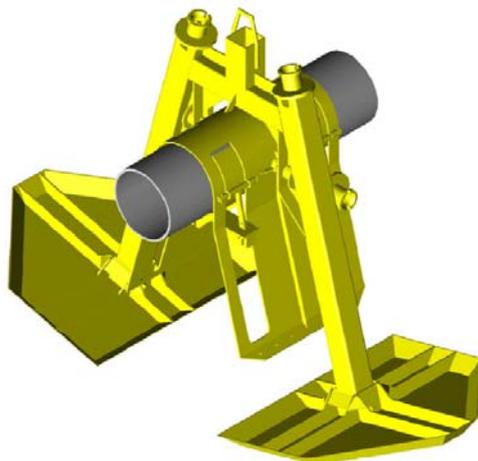


Figura 5. Modelagem computacional do Suporte Mecânico em AUTOCAD.

A atuação do suporte se dá exatamente no “abraçamento” do duto, quando este se encontra em situações de vão livre, e no processo de extensão das pernas retráteis que promove, em muitos casos, o primeiro toque do suporte no solo e o afundamento das sapatas como garantia de fixação.

4. MECANISMOS DE OPERAÇÃO DO SUPORTE MECÂNICO

Serão explanados, neste tópico, os mecanismos de operação dos suportes mecânicos tradicionais, bem como os mecanismos do suporte mecânico proposto neste estudo, no que diz respeito à utilização do ROV.

4.1. Mecanismos de Operação Existentes

4.1.1. Extensão das Pernas Retráteis

O conjunto de pernas do suporte mecânico se divide em fixas e móveis (ou retráteis). As pernas fixas são soldadas na região lateral da estrutura de suporte do suporte mecânico, de acordo com sua angulação previamente estabelecida. No interior da mesma, localiza-se um parafuso sem-fim passante engajado a uma porca, estando esta soldada à perna retrátil (interna a fixa) para estabelecimento da atuação de extensão e retração, conforme a utilização do ROV (Fig.(6) e Fig.(7)). O princípio de funcionamento do mecanismo é similar ao colar num sistema de parafusos de potência (Shigley et al., 2005).

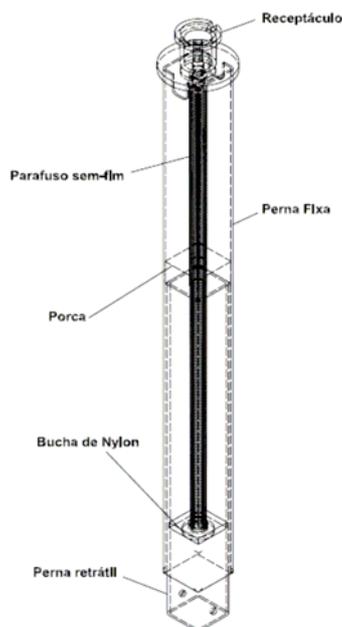


Figura 6. Esquema do conjunto de pernas do suporte mecânico.

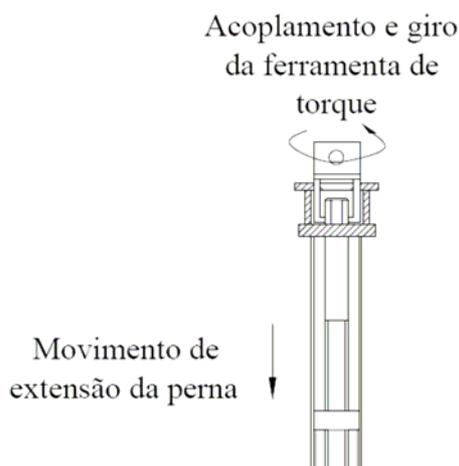


Figura 7. Rotação do parafuso sem-fim.

Comumente, os parafusos de potência utilizam-se de roscas ACME que não são tão eficientes quanto às roscas quadradas, devido à fricção adicional decorrentes da ação de calço (ou cunha), mas frequentemente é preferida por serem mais fáceis de usar e por permitir o uso de uma porca bi-partida, que pode ser ajustada para compensação do desgaste. Porém, como os suportes não são fabricados em larga escala, dimensionou-se o parafuso sem-fim com o rosqueado quadrado, para melhor rendimento.

Na medida em que uma ferramenta específica do ROV transmite o torque, quando acoplada à cabeça hexagonal do parafuso sem-fim, a porca inicia o movimento de descida fazendo com que a perna retrátil (interna à fixa) se estenda até o contato com o solo. No momento em que há o contato da sapata com o leito marinho, uma força de reação, proporcional ao afundamento, surge na direção axial do parafuso sem-fim (Fig.(7)). Por isto, é necessário observar três pontos fundamentais:

- a resistência mecânica do parafuso com relação à compressão;
- a resistência dos filetes da rosca engajados na porca;
- e o limite do torque aplicado pelo ROV, com relação ao afundamento desejado.

Como a carga de compressão no sem-fim é crescente, proporcional ao afundamento (Bowles, 1995), é de extrema importância avaliar a resistência do parafuso, assim como as tensões de flexão, compressão e torção que surgem nos filetes engajados da rosca. Também é necessário avaliar o torque máximo a ser utilizado, para correta escolha da ferramenta de torque do ROV e para determinação do tempo de operação do robô.

4.1.2. Abraçamento e Fixação do Duto

As braçadeiras são as estruturas responsáveis pelo “abraçamento” do duto, ou seja, pela fixação do mesmo ao suporte mecânico, seguido da utilização do ROV (Fig. (8)).



Figura 8. Estrutura das braçadeiras de um suporte mecânico tradicional.

As braçadeiras e sua estrutura são constituídas de chapas e placas, além de parafusos sem-fim, tubos, pinos e parafusos de fixação. Tais componentes são fabricados de acordo com o projeto de dimensionamento da braçadeira, onde leva-se em conta, basicamente, os carregamentos de peso próprio do duto em vão, adicionado do peso do fluido de operação para avaliação dos esforços nos componentes do mecanismo de abraçamento (“clamping”).

O suporte mecânico, ao ser içado e lançado ao mar, submerge até a profundidade e localização pré-determinadas (target area), sendo monitorado pela embarcação instaladora através de uma câmera áudio-visual embutida no ROV. Ao entrar em contato com o duto, o cabo de baixa resistência, que até então posicionava as braçadeiras em certa configuração inicial (angulação pré-determinada), estica e arrebenta, permitindo a rotação das braçadeiras através do tubo para pivoteamento (Fig. (9)). Seqüencialmente, o ROV passa a atuar nos parafusos sem-fim utilizando a ferramenta de torque.

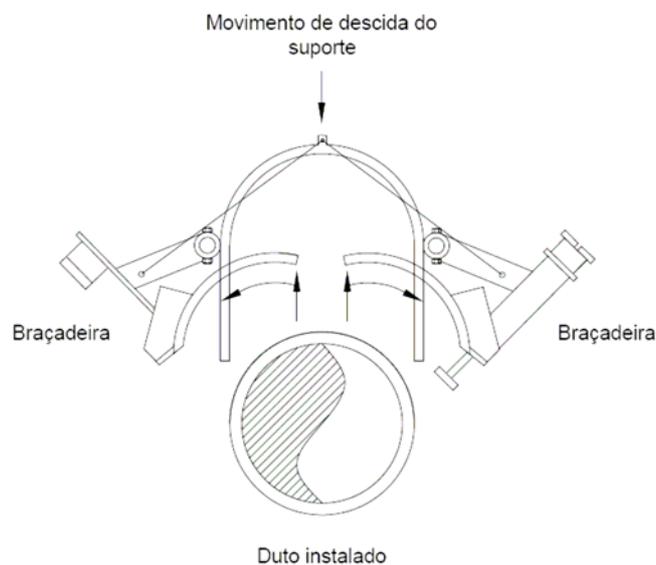


Figura 9. Princípio de funcionamento das braçadeiras.

Após o abraçamento do duto, segue-se a etapa de fixação do mesmo através da do giro do parafuso sem-fim, em que a porca acoplada em sua extremidade movimenta-se de acordo com o torque aplicado pelo ROV. O fechamento, no que tange a garantia de suportação do peso próprio do duto e do fluido, se dá pelo atrito entre a porca e as chapas soldadas nesta parte da braçadeira (Fig. (10)), onde é avaliado o fluxo de tensões cisalhantes.

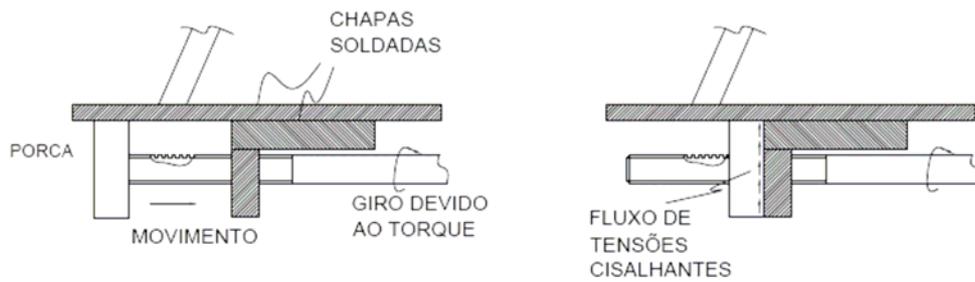


Figura 10. Princípio de fechamento e fixação do duto.

4.2. Mecanismos de Operação Propostos

4.2.1. Abraçamento e Fixação do Duto

O modelo utiliza estruturas de chapas, barras e placas em aço unidas por cordões de solda, além de elementos mecânicos tais como molas helicoidais (Fig. (11)).

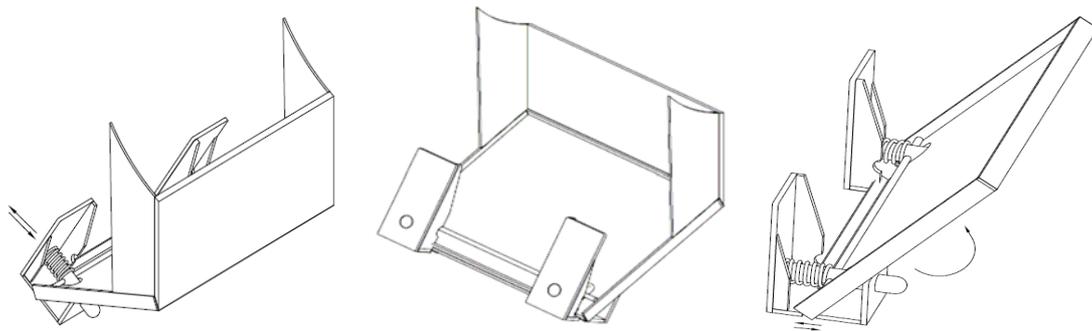


Figura 11. Mecanismo proposto de abraçamento e fixação do duto.

O suporte mecânico, ao descer até a profundidade desejada, toca a tubulação fazendo com que as braçadeiras girem até a acomodação do suporte no duto. O ângulo de rotação da braçadeira é limitado pela deflexão das molas, que possuem pinos como guias para garantir a estabilidade do conjunto mecânico. Quando a tubulação se acomoda, a braçadeira volta à sua posição original, mantendo uma área de contato com o duto, através de chapas soldadas na própria braçadeira, na posição vertical (Fig. (12)).

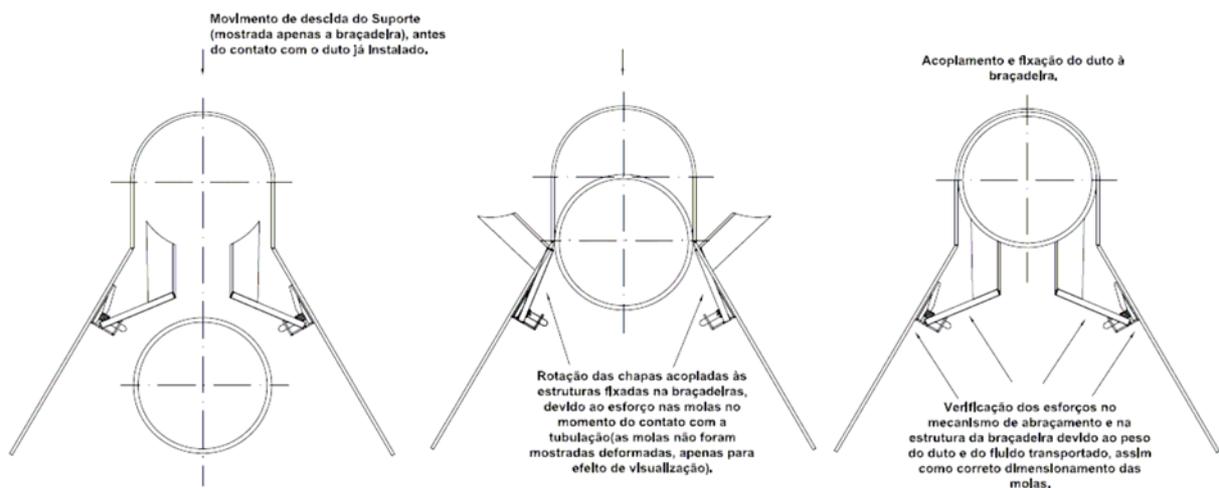


Figura 12. Acomodação do suporte ao duto.

O movimento de rotação se estabelece quando o duto toca a chapa principal que, seqüencialmente, empurra a barra passante pelos pinos guia das molas de compressão. Essa barra transmite a carga atuante dando início à deflexão das molas para o giro das chapas.

Quando do giro das braçadeiras no contato com a tubulação, a estrutura tende a sofrer esforços agravados pela grande redução de inércia que se faz necessária para garantir o movimento de rotação. Como medida mitigadora, chapas foram soldadas na região supracitada para compensar a falta de material (Fig. (13)).

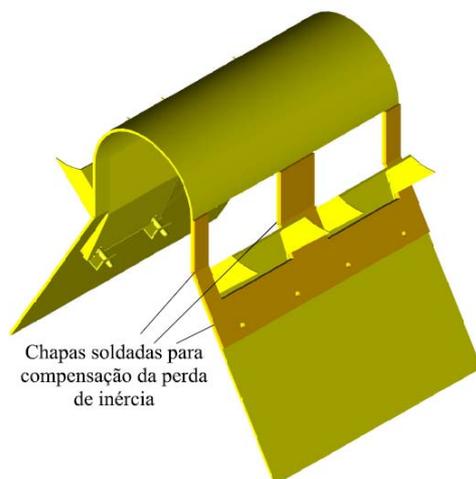


Figura 13. Chapas adicionadas à estrutura.

4.2.2. Sistema de Engrenamento – Extensão das Pernas

O mecanismo de extensão e retração das pernas, anteriormente executado pelo ROV no modelo de suporte tradicional, será implementado pelo sistema de engrenamento constituído por engrenagens cônicas de dentes retos. A escolha do tipo de engrenagem cônica se faz pelo fato destas engrenagens estarem disponíveis em muitos tamanhos comerciais, apresentando um menor custo de produção com relação à fabricação de outros tipos de engrenagens cônicas, especialmente em pequenas quantidades. Além disso, não existe a preocupação com o nível de ruído, já que tais engrenagens são utilizadas, geralmente, para velocidades na linha primitiva de até 5 m/s.

As engrenagens cônicas são utilizadas para transmitir o movimento de rotação entre eixos que formam certo ângulo entre si (Fig. (14)). Dentre elas, as mais utilizadas são aquelas em que seus eixos formam um ângulo de 90 graus. Transmissões onde os ângulos entre eixos são diferentes de 90 graus são mais difíceis de projetar, devido à forma complexa e à dificuldade de montagem onde tais engrenagens são montadas.



Figura 14. Acoplamento de engrenagens cônicas de dentes retos.

Embora engrenagens cônicas sejam mais complexas com relação às engrenagens cilíndricas e helicoidais, no que diz respeito tanto à geometria quanto à fabricação e montagem, elas encontram larga aplicação em engenharia onde as condições para o arranjo das unidades costumam requerer transmissões entre eixos cruzantes.

O sistema de engrenamento proposto no novo modelo de suporte corresponde a um conjunto de três engrenagens cônicas de dentes retos idênticas, onde a conicidade de tais engrenagens possui valor de 10 graus. A engrenagem motora gira na rotação especificada do motor e transmite o movimento giratório às outras duas engrenagens. As engrenagens

movidas são construídas em sem-fins, fazendo com que suas respectivas porcas acopladas se movimentem, e com elas as pernas retráteis nas quais estão soldadas (Fig. (15)). Assim, o suporte mecânico abandona o uso do ROV para execução do mecanismo supracitado, necessitando, apenas, para o monitoramento visual da descida do suporte até a área planejada.

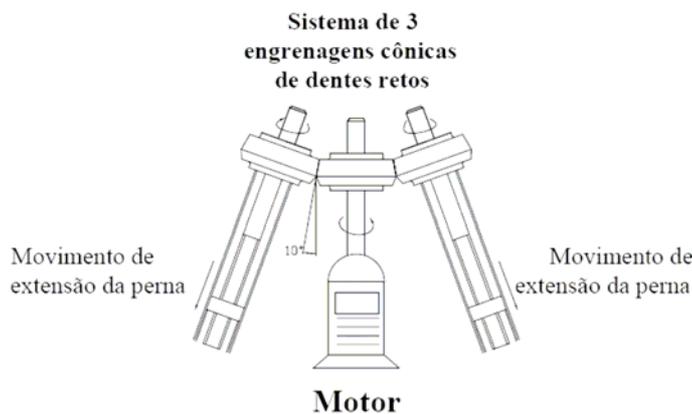


Figura 15. Desenho esquemático do conjunto motor - engrenagens.

Como a engrenagem motora trabalha em conjunto com as outras duas engrenagens simultaneamente, não existe preocupação com os esforços causados no eixo de transmissão da engrenagem principal, visto que tais esforços, oriundos do contato com as outras duas engrenagens, se anulam devido às ações das forças que surgem na mesma direção, porém, em sentidos contrários (Fig.(16)).

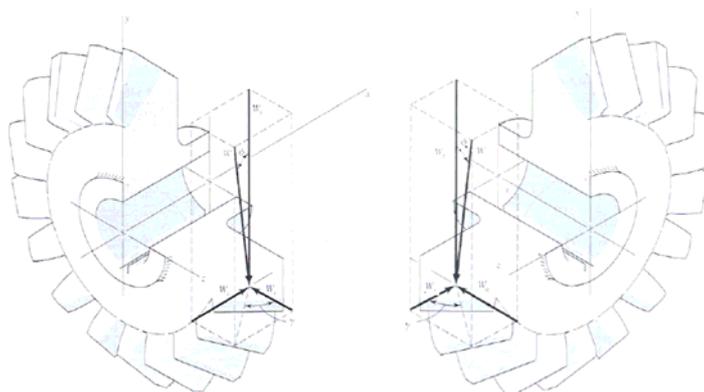


Figura 16. Diagrama de esforços na engrenagem motora – esforços nos contatos com as engrenagens.

O motor é alimentado por um umbilical existente na balsa de instalação, não fixado à estrutura do suporte mecânico. A partir do momento do abraçamento e fixação do duto, inicia-se o fornecimento de energia até que as sapatas do suporte entrem em contato com o solo marinho e, posteriormente, até um afundamento adicional. Com o suporte já instalado, desacopla-se o cabo umbilical e o recolhe-se para que este seja re-utilizado em outra operação.

5. CONCLUSÕES

Um estudo de um suporte mecânico utilizado para dutos rígidos submarinos em situações de vãos livres críticos foi realizado, apresentando informações sobre sua estrutura e seus mecanismos de funcionamento, bem como uma modelagem computacional do suporte em técnicas de CAD, mais especificamente com o software AUTOCAD.

A motivação para tal estudo se construiu devido aos altos custos de projeto, quando da instalação de suportes mecânicos, uma vez que os custos diários da embarcação são relativamente altos e tal processo de instalação dos suportes ao longo de uma rede de dutos requer tempo.

Um novo projeto de braçadeiras, constituídas apenas de chapas e elementos mecânicos como molas, foi proposto e realizado por meio de técnicas de CAD, assim como um mecanismo de engrenagens, para extensão e retração das pernas móveis do suporte. Tanto as braçadeiras quanto o mecanismo de engrenagens não necessitariam da utilização de um ROV, para execução de suas operações. O mecanismo de abraçamento se daria por efeito plenamente mecânico, quando da atuação das molas e resistência das chapas estruturais; e o sistema de engrenamento, através do acoplamento de um motor elétrico para o fornecimento de energia.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Suporte Consultoria e Projeto Ltda., pela contribuição neste estudo.

7. REFERÊNCIAS

- Bowles, J.E., 1995. "Foundation Analysis and Design", Ed. McGraw-Hill Science, N. York, EUA, 1024 p.
Braestrup, M.W., Andersen, J.B. e Andersen, L.W., 2005, "Design and Installation of Marine Pipelines", Ed. Blacwell Science, Oxford, Reino Unido, 342 p.
DNV OS-F101, 2007, "Submarine Pipeline Systems", Høvik, Det Norske Veritas.
Guo, B. e Song, S., 2005, "Offshore Pipeline", Ed. Elsevier, Burlington, EUA, 281 p.
Shigley, J.E., Mischke, C.R. e Budynas, R.G., 2005, "Projeto de Engenharia Mecânica", Ed. Bookman, Brasil, 960 p.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

OPTIMIZATION IN THE FABRICATION OF MECHANICAL SUPPORTS FOR SUBMERGED PIPELINES

Victor da Mata Bandeira, ymbandeira@yahoo.com.br¹
Armando Carlos de Pina Filho, pina-filho@deg.ee.ufrj.br²
Flávio de Marco Filho, flavio@mecanica.ufrj.br¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Polytechnic School, Mechanical Engineering Department, 21945-970, Rio de Janeiro/RJ, Brazil.

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Polytechnic School, Graphical Engineering Department, 21949-900, Rio de Janeiro/RJ, Brazil.

Abstract: *Actually, the offshore market is very warm due, mainly, to the high demand of petroleum and gas. The offshore segment is a growing tendency in the world market and it should be studied and managed in an effective way. In relation to the establishment of a piping in the sea bed, the same is made by the installation of chucks or supports. The submerged pipelines pavement has as objective levels the piping so that they don't occur critical free spans, which could commit the structure of the piping, once the active stress in the piping would cross the yield stress of the material. In that way, the mechanical support, theme of that work, is an element of fundamental importance for submerged pipelines. Its structure and operation should be studied in a detailed way so that it can sustain the piping appropriately, avoiding any problem in the pipes, what could cause not only problems of distribution of the fluids, but also serious ecological problems. Usually, the operations of that support are made by a ROV (remotely operated underwater vehicle), which accomplishes a visual monitoring and it works the mechanism of clamping of the pipe and of extension of the legs of the support. However, that procedure demands a high cost. Therefore, the objective of the work here presented is to show some information related to that mechanical support, suggesting solutions for optimization of its production, seeking with that a reduction of operation costs. Starting from the results of that work, it hopes to acquire knowledge to help in the optimized design of a mechanical support of better cost/benefit, applied the submerged pipelines.*

Keywords: CAD, Pipelines, Mechanisms.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.