

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ANCORAGEM DE UNIDADES FLUTUANTES MARÍTIMAS ANCORADAS POR ESTACAS TIPO TORPEDO CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO ESTRUTURA

AUTORES:

Vinícius Ribeiro Machado da Silva

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Recursos Humanos – 35 (PRH-35) - ANP

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ANCORAGEM DE UNIDADES FLUTUANTES MARÍTIMAS ANCORADAS POR ESTACAS TIPO TORPEDO CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO ESTRUTURA

Abstract

The same time the exploitation of hydrocarbons is growing in ever-deeper waters, the maritime flotation units of oil production needs to become bigger and, consequently, needs to tolerate a greater environmental load. This involve the utilization of a mooring system more robust with a greater number of lines of anchorage and/or lines of anchorage and piles more resistant, besides having the necessity to make possible economically the implantation of this system. This way, it becomes necessary an analysis more sophisticated of each mooring line and your interaction with the soil and your foundation, which can be a torpedo pile. The employment of the torpedo piles, with your low cost of fabrication, allows an easy installation of the flotation units mooring lines for the reason of being nailed by the free fall effect caused by your own weigh, contributing for the process to be more economic compared with the other types of piles. The failure of this system can means a lost of big investments, that's the why the necessity to analyze the structural behavior of the foundations for the marine structures. This work has for objective study the static and dynamic behavior of the anchorage systems of marine flotation units, semi-submersible and FPSOs (Floating Production Storage Offloading) anchored by torpedo piles in loamy soils. Each line of anchorage is composed by polyester cables (intermediate interval) and embedded chains.

Introdução

À medida que se caminha para a exploração de hidrocarbonetos em águas cada vez mais profundas, as unidades flutuantes marítimas de produção de petróleo tornam-se cada vez maiores e, por consequência, têm de suportar uma carga ambiental maior. Isto implica na utilização de um sistema de ancoragem mais robusto com um número maior de linhas de ancoragem e/ou linhas de ancoragem e estacas mais resistentes, além de ter a necessidade de viabilizar economicamente a implantação do sistema. Desta forma, torna-se necessária uma análise mais sofisticada de cada linha de ancoragem e a sua interação com o solo e a respectiva fundação que pode ser uma estaca torpedo. O emprego das estacas-torpedo, com seu baixo custo de fabricação, permite uma maior facilidade na instalação das ancoragens das unidades flutuantes pelo fato de serem cravadas pelo efeito de queda livre causado pelo seu peso próprio, no que contribui para que esse processo seja mais econômico comparado aos outros tipos de estaca. A falha desse sistema pode significar perda de enormes investimentos, por isso, a necessidade de se analisar o comportamento estrutural das fundações para estruturas marinhas. Este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento estático e dinâmico de sistemas de ancoragem de unidades flutuantes marítimas tipo semi-submersível de produção e FPSOs (Floating Production Storage Offloading) ancoradas por estacas torpedo em solos argilosos. Cada linha de ancoragem é constituída por cabos de poliéster (trecho intermediário) e trechos de amarra (ligação com o casco e conexão com a estaca torpedo estando parcialmente embebida no solo marinho).

Metodologia

Com relação à linha de ancoragem, para o trecho acima do solo até o ponto de conexão com a unidade flutuante, serão utilizadas as equações de catenária considerando a extensibilidade de cada trecho, assim como para o trecho dentro do solo. Serão utilizadas também as curvas representativas do solo tanto lateral quanto axial para simular a transferência parcial das cargas para o solo antes do ponto de conexão com a estaca torpedo. Dada à complexidade do problema, os trechos de catenária deverão levar em consideração sempre a posição atualizada da linha de ancoragem de tal forma a melhor representar o problema.

Resultados e Discussão

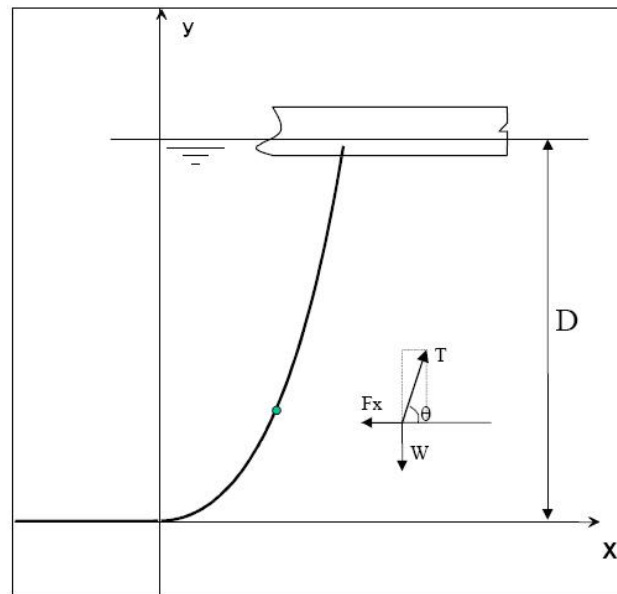
Até o presente momento, este trabalho encontra-se na fase de estudos, aquisição de material e intensa pesquisa, para que o processo metodológico seja aplicado.

Os estudos se concentram no comportamento estático e dinâmico de sistemas de ancoragem de unidades flutuantes marítimas tipo semi-submersível de produção e FPSOs (Floating Production Storage Offloading) ancoradas por estacas torpedo em solos argilosos. É estudado mais precisamente, o trecho da linha de ancoragem embebido no solo, analisando seu ambiente de contato e seu comportamento.

Como a estaca torpedo é cravada no solo, o resultado das forças cortante e de cisalhamento na parte embebida da linha de ancoragem faz com que esta forme uma catenária inversa, da estaca até a superfície do solo marinho. Existem duas características importantes a respeito do comportamento deste trecho embebido. Primeiro, a tensão é reduzida da superfície do solo marinho até a estaca devido ao atrito existente entre a amarra e o solo. Segundo, a amarração vai estar inclinada na horizontal no olhal da estaca que irá induzir uma carga vertical na mesma. Observamos que a análise do comportamento do trecho embebido é bastante importante para avaliar o todo sistema de ancoragem.

A equação da catenária é muito utilizada na engenharia offshore para descrever a geometria e mesmo o comportamento estático e dinâmico de linhas de ancoragem e risers. Ela se aplica especialmente a estruturas sem ou com baixa rigidez a flexão que se encontram “penduradas” sob a ação de um ou mais carregamentos distribuídos, peso próprio, carga de vento em pontes e corrente marinha no caso de risers e linhas de ancoragem.

A utilização de linhas em catenária em uma plataforma ou unidade flutuante qualquer que esteja ancorada tem a função de limitar o movimento apresentado pelo corpo flutuante no plano horizontal.

**Equilíbrio global**

Na Figura acima encontramos uma estrutura em equilíbrio sob a ação das forças estáticas W , F_x e T . A carga W é oriunda do peso próprio representado pelo produto de q por s , onde q é a peso submerso do cabo por unidade de comprimento, s é o seu comprimento e T a força reativa de tração. Vamos adotar que $a = F_x / q$.

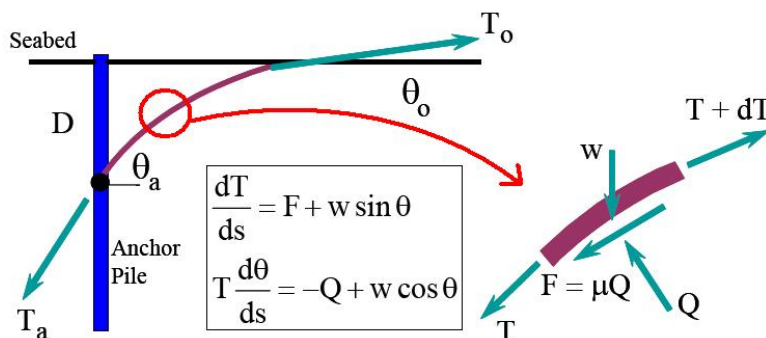
Depois de ter sido feita toda a formulação matemática do equilíbrio, segue abaixo a solução, obtendo-se a equação de catenária:

$$y = a \left[\cosh\left(\frac{x}{a} + C_1\right) \right] + C_2$$

C_1 e C_2 são coeficientes a serem definidos através das condições de contorno enfrentadas pela catenária.

Durante o processo de pesquisa, foi descoberto um método de avaliação de performance das amarras embebidas no solo marinho, desenvolvido por Neubecker e Randolph, e que será relatado em seguida.

Abaixo, podemos ver um elemento do trecho de amarra embebido no solo marinho com suas respectivas equações diferenciais, tangencial e normal, de equilíbrio apresentadas por Vivrat e Al. (1982):



Temos que T é a tensão na amarra, θ é o ângulo formado pela amarra com a horizontal, s é a distância medida ao longo da amarra, começando pelo ponto de fixação, F e Q são as forças tangenciais e normais por unidade de comprimento respectivamente e w é o peso flutuante da amarra por unidade de comprimento.

Neubecker e Randolph (1995) desenvolveram uma simples expressão que relaciona tensão e inclinação da amarra dado a profundidade do olhal, em um solo com qualquer perfil de resistência, junto com relações que expressam dissipação do atrito e perfil das amarras.

As primeiras expressões relacionam tensão no olhal e na superfície marinha com a inclinação da amarra nesses dois pontos.

$$\frac{T_a \cdot \theta_a^2}{2} = D \bar{Q}$$

D é a profundidade do olhal, ponto onde a amarra se conecta à estaca, T_a é a tensão no olhal dado uma profundidade D , θ_a é o ângulo formado com a horizontal pela amarra no ponto do olhal, e $\bar{Q}$ é a resistência média de suporte da amarra no solo (força por unidade de comprimento). A expressão para o desenvolvimento do atrito ao longo da amarra foi indicado como

$$\frac{T_0}{T_a} = e^{\mu \theta_a}$$

onde μ é o coeficiente de atrito entre a amarra e o solo.

Essas equações proporcionam relações entre variáveis chaves e, de certa forma, são base para as análises seguintes.

Conclusões

Pretende-se, com este trabalho, aprimorar os modelos existentes de transferência de carga do trecho inferior da linha de ancoragem constituído por amarra desde o ponto do primeiro contato com o solo até a conexão final com a estaca torpedo.

Agradecimentos

Agradeço fortemente aos meus orientadores de iniciação científica Gilberto Bruno Ellwanger e Maria Cascão. Agradeço também a Mark F. Randolph e ao MIT Sea Grant por me ajudarem na pesquisa contribuindo com os relatórios.

Referências Bibliográficas

- [1] Neubecker, S.R.; Randolph, M.F. PROFILE AND FRICCIÓNAL CAPACITY OF EMBEDDED ANCHOR CHAINS. JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING. 1995 Nov; p.797- 803
- [2] Neubecker, S.R.; Randolph, M.F. PERFORMANCE OF EMBEDDED ANCHOR CHAINS AND CONSEQUENCES FOR ANCHOR DESIGN. The University of Western Australia, Department of Civil and Resource Engineering, Geomechanics Group. Research Report No. G:1157
- [3] O'Loughlin, C.D.; Randolph, M.F.; Richardson, M. EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF DEEP PENETRATING ANCHORS. OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE. OTC 16841
- [4] Einstein, H. H.; Whittle, A.J.; Jeng, F.S; Legaspi Jr., D.E. EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL MODELLING FOR PROPELLANT-EMBEDDED ANCHORS. Massachusetts Institute of Technology, MIT Sea Grant College Program. MITSG 90-22.