



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

**UNIVERSIDADE SANTA ÚRSULA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ARTIGO CIENTÍFICO

SPREADER BAR REGULÁVEL PARA EQUIPAMENTOS ONSHORE E OFFSHORE

Discente (s): Paula Roberta Belfort Duarte

Orientador: Marcelo de Souza Gomes

RIO DE JANEIRO

2018



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Paula Roberta Belfort Duarte

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**SPREADER BAR PARA EQUIPAMENTOS
ONSHORE E OFFSHORE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial do curso de (Engenharia Mecânica), para obtenção do título de (Graduado) sob a orientação do professor (Marcelo de Souza Gomes).

RIO DE JANEIRO

2018



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA
Fazendo parte da história da sua vida

RESUMO

Projeto de um Spreader bar regulável para içamento de equipamentos onshore e offshore.

O protótipo será composto de componentes comerciais para a seu corpo e olhais feitos de chapas de aço que se encaixarão em sua estrutura e se tornarão reguláveis variando de posição, conforme necessidade, chapas de aço em suas extremidades garantindo o travamento dos mesmos e parafusos comerciais para fixação dessa chapa no corpo.

A análise estrutural do Spreader será desenvolvida de acordo com as normas nacionais e internacionais vigentes a cada elemento projetado, sendo excluídos os componentes comerciais, pois os mesmos possuem as especificações e garantia de seus fornecedores.

Na premissa a ser considerada o Spreader atuará em situação de içamento, e será analisado de forma que seus olhais estejam posicionados com afastamento máximo entre eles, garantindo uma situação mais conservadora. Ele poderá operar em diferentes alturas e içar equipamentos de diferentes portes. Por ser regulável ele tem a capacidade de alterar seus pontos de içamento e deverá ter seu SWL (safe working load) de 100 toneladas para olhais inferiores e 50 toneladas para os olhais superiores.

Palavras-Chave: Spreader bar; içamento;

ABSTRACT

Design of an adjustable spreader bar for onshore and offshore equipment.

The prototype will be composed of commercial components for its body and padeyes made of steel sheets that will fit into its structure and become adjustable by varying the position, as required, steel plates at its ends, ensuring the locking of the same and commercial screws for fixing the plate to the body.

The structural analysis of the Spreader will be developed in accordance with the national and international standards in force for each projected element, excluding the



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

commercial components, since they have the specifications and guarantee of their suppliers.

In the premise to be considered the Spreader will act in a lifting situation, and will be analyzed so that their padeyes are positioned with maximum spacing between them, guaranteeing a more conservative situation. It can operate at different heights and lift equipment of different sizes. Because it is adjustable it has the ability to change its lifting points and should have its safe working load (SWL) of 100 tons for lower padeyes and 50 tons for the upper padeyes.

Key word: Spreader bar; Lifting;

INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho será demonstrar um equipamento de içamento totalmente regulável, capaz não só de içar outros equipamentos onshore e offshore, como também, transportá-los de forma simples, eficiente e rápida, favorecendo assim, toda e qualquer tipo de operação. Essa análise contemplará, uma exposição teórica seguida da análise das tensões e dos esforços aplicados ao equipamento, garantindo, assim, a sua funcionalidade e viabilidade.

O Spreader bar projetado, tem a característica de ser regulável, por ter a capacidade de modificar o posicionamento de seus olhais superiores e inferiores, utilizando parafusos de pressão para fixar a posição.

Os olhais superiores são compostos por um olhal, projetado para uma manilha de 120 toneladas; os inferiores possuem 3 olhais; um olhal principal e dois olhais secundários, projetados para manilha de 120 toneladas e 55 toneladas respectivamente.



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

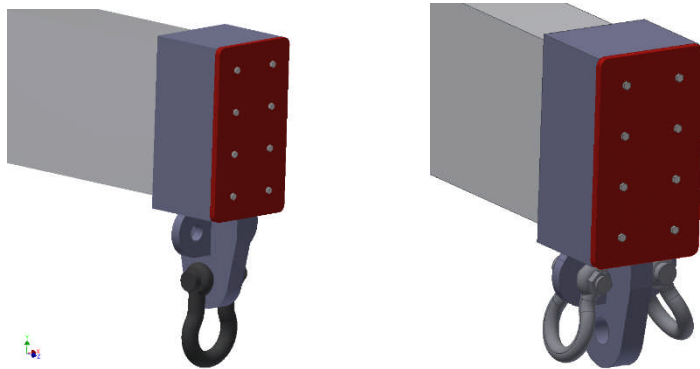


Figura 1: Olhal Inferior com opções de olhais principais e secundários

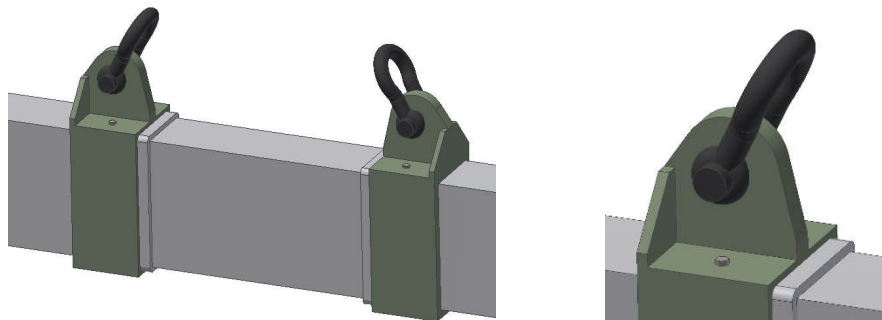


Figura 2: Olhais Superiores

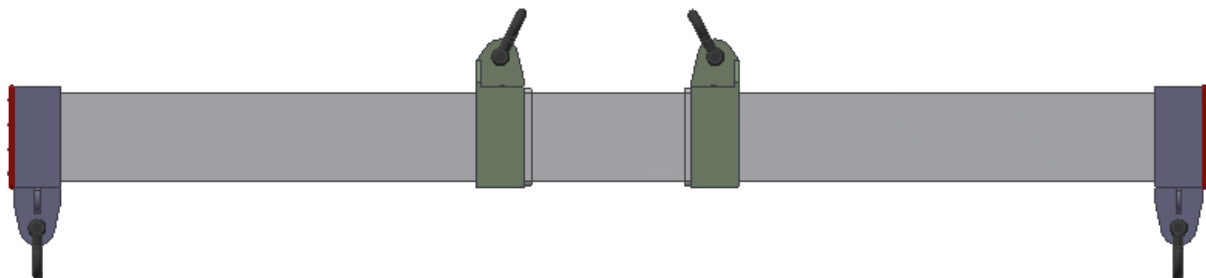


Figura 3: Spreader bar Regulável



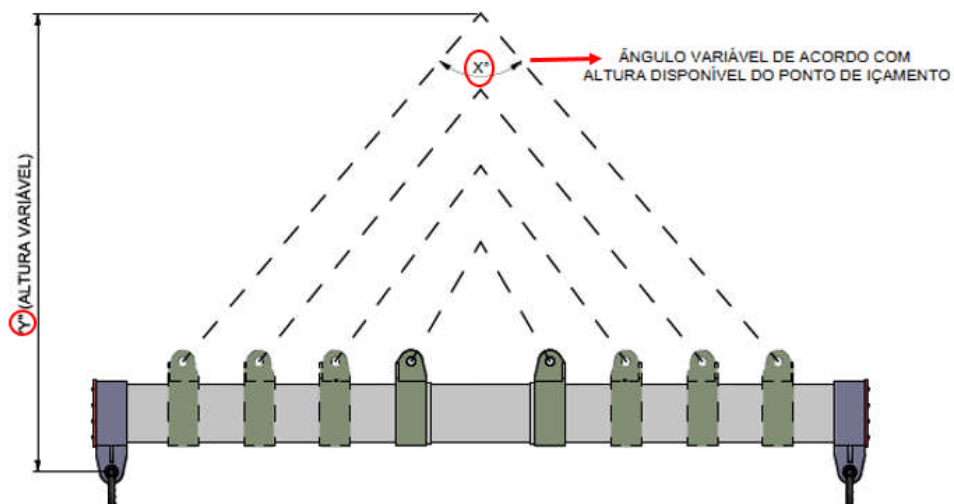
MÉTODOS E DESCRIÇÃO DO PROJETO

A presente análise tem por finalidade a exploração de conceitos teóricos relacionados com os princípios da física, da mecânica dos sólidos, da resistência dos materiais e de elementos de máquinas.

Fez-se a coleta criteriosa das bibliografias que deram base ao estudo, aplicando rigorosamente seus conceitos. As prescrições da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) foram consideradas como elementos base para elaboração do projeto. Na falta desta ou onde a mesma for omissa, foram consideradas as prescrições, indicações em livros, trabalhos anteriores e sites relacionados ao assunto.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Regulagem do Spreader bar:



O Spreader bar tem por finalidade atender a todo e qualquer tipo de regulagem de seus olhais variando sua posição e atendendo a qualquer altura necessária por operação, conseqüentemente variando a angulação entre as lingadas. Sendo essa angulação (x) maior ou igual a 45° .



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Premissas:

- Para análise estrutural do Spreader Bar, foi usado o modelo geométrico no Ansys Workbench 18.1;
- Foi considerado no modelo $\frac{1}{4}$ de simetria;
- Foram consideradas as propriedades lineares e elásticas dos materiais empregados;
- Não foram considerados aspectos relativos à fadiga dos materiais;
- Não foram consideradas perdas de espessura por corrosão;
- Foi considerado um carregamento dinâmico de 100t.

Análise estática:

- Spreader bar (Conjunto)

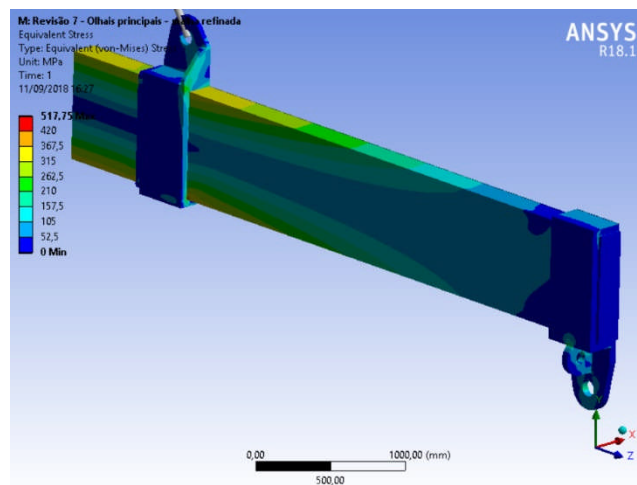


Figura 5: Análise Von-Misses do corpo do Spreader



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

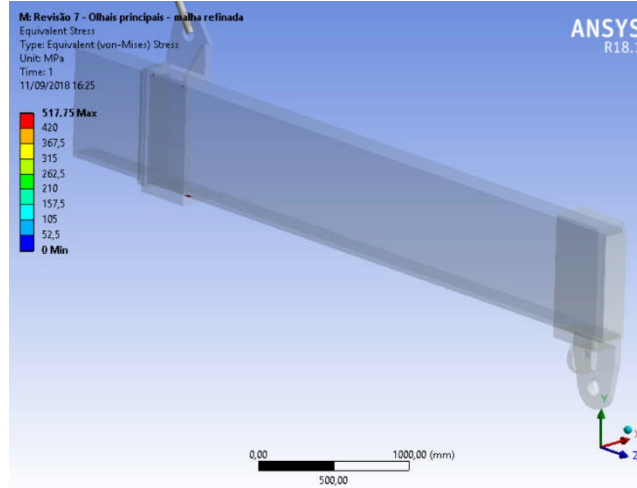


Figura 6: Análise com filtro de 60% do limite de escoamento do material escolhido

- Olhal Superior

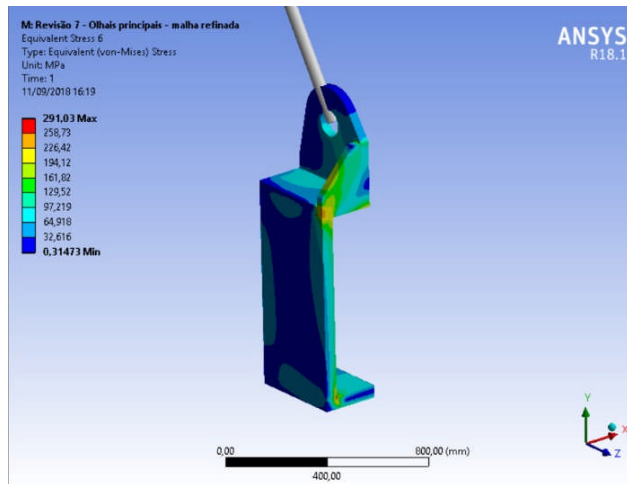


Figura 7: Análise Von-Misses do Olhal Superior



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

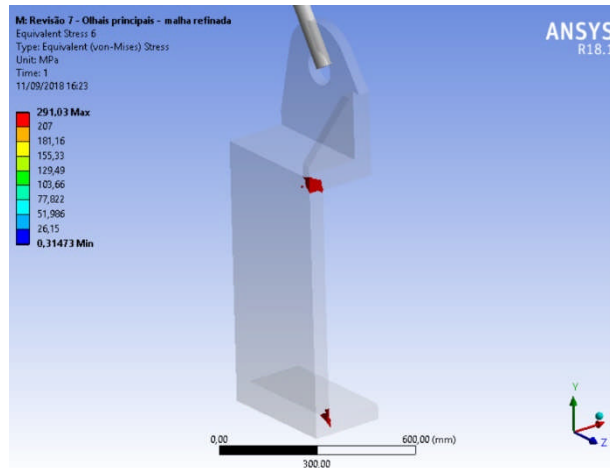


Figura 8: Análise

com filtro de 60% do limite de escoamento do material escolhido

- Olhal Inferior (olhais principais)

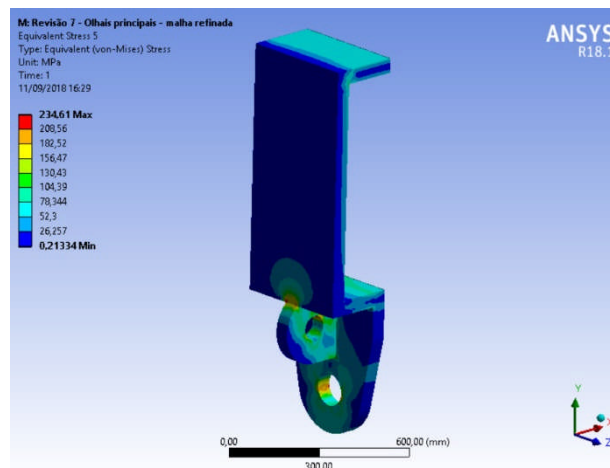
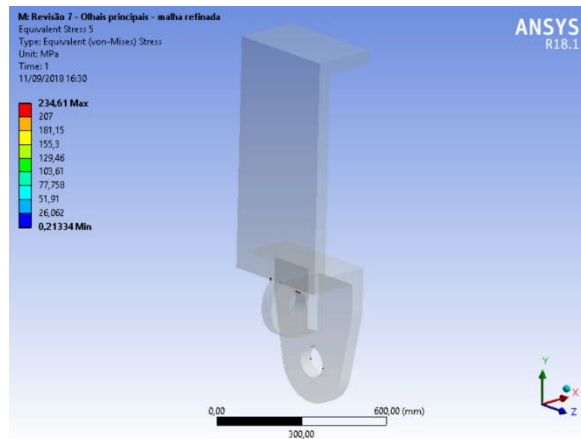


Figura 9: Análise Von-Misses do Olhal Inferior



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida



*Figura 10: Análise
com filtro de 60% do limite de escoamento do material escolhido*

- Olhal Inferior (olhais alternativos)

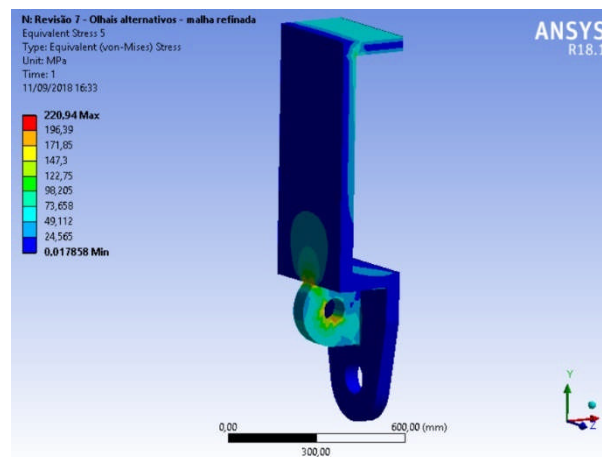
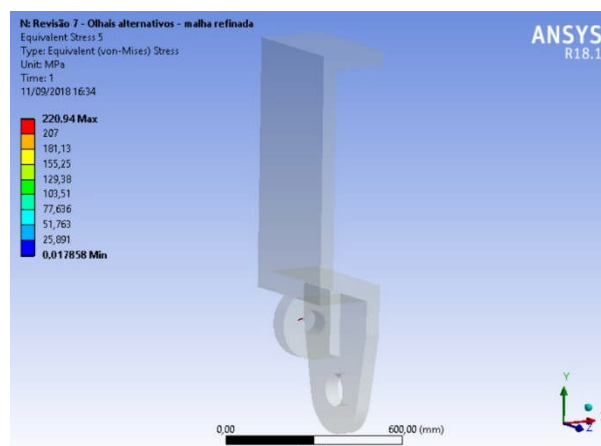


Figura 11: Análise Von-Misses do Olhal Inferior alternativo



*Figura 12: Análise
com filtro de 60% do limite de escoamento do material escolhido*

RESULTADOS

Esse documento compõe a análise estrutural dos componentes do conjunto do Spreader. Essa análise foi feita baseada no limite de carregamento de 80 t de SWL acrescido do FAD (Fator de Amplificação Dinâmica) de 1,25, o que equivale a 100 t.

A funcionalidade do Spreader, foi avaliada analiticamente com o intuito de se calcular as forças atuantes no sistema, e com isso prever o comportamento do mecanismo de içamento, com o maior carregamento e na posição de menor estabilidade.

Em paralelo foi utilizado o método de elementos finitos através do software Ansys, que se aproxima melhor das condições reais de utilização, para que o modelo fosse melhor dimensionado.

Materiais considerados:

Foi considerado que os elementos estruturais analisados serão fabricados com os materiais mostrados na tabela a seguir:



Peça	Material	Limite de Escoamento [MPa]
CORPO	STRENX 700	700
OLHAL SUPERIOR	DIN EM 10025 S355 J2N	345
OLHAL INFERIOR	DIN EM 10025 S355 J2N	345
BATENTE EXTERNO	ASTM A 36	250

Tabela 1: Materiais aplicados e limites de escoamento

Critérios de aceitação:

Foi adotado como critério de aceitação para tensão global a tensão de Von Mises correspondente à 60% da tensão de escoamento do material, para equipamentos em operação normal (carga de funcionamento).

Um resumo das tensões admissíveis é apresentado na tabela abaixo:

Peça	Global Adm. [MPa]
	DNV OS-C201: 60% YS
CORPO	420
OLHAL SUPERIOR	207
OLHAL INFERIOR	207
BATENTE EXTERNO	150

Tabela 2: Critério de aceitação para os materiais utilizados

Análise estrutural:

- Análise estrutural do corpo do Spreader:

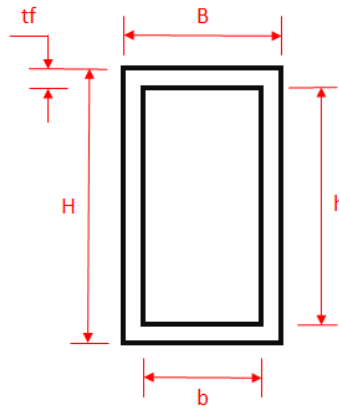


Figura 13: Esboço para cálculos do Corpo do Spreader bar

ÁREA (S)	54000	mm ²
b	320	mm
h	710	mm
ESPESSURA (tf)	25	mm
ALTURA (H)	760	mm
LARGURA (B)	370	mm

Tabela 3: Informações dimensionais da viga caixão

ÁREA	$A = (BXH) - [(B - (2 \cdot tf)) \cdot (H - (2 \cdot tf))]$	
MOMENTOS DE INÉRCIA	$J_x = ((B \cdot H^3) - (b \cdot h^3)) / 12$	
MOMENTO MÁXIMO	$M_{\text{máx}} = P \cdot C$	
FLECHA	$f = ((P \cdot L^3) / (B \cdot E \cdot J_x)) \cdot (C/L)$	
CISALHAMENTO MÉDIO	$C_m = P/S$	
FLEXÃO	TENSÃO NORMAL	$T = (M \cdot y) / J_x$
	TENSÃO DE FLEXÃO	$T_f = M_f / W_f$
MÓDULO DE RESISTÊNCIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL	$W_f = J_x / (H/2)$	
MOMENTO FLETOR	$M_f = F \cdot L / 4$	

Tabela 4: Formulário para cálculos



P	100	TON	980700	N
C	3970	mm	x	x
L	1725	mm	x	x
B	100	TON	980700	N
E	350	Mpa	x	x

Tabela 5: Informações de carregamento e distâncias entre apoios

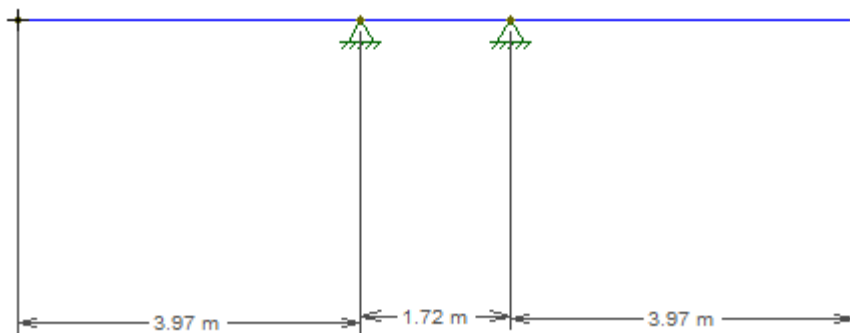


Figura 14: Esboço de diagrama para cálculos (SOFTWARE: FTOOL)

Momento de Inércia	3990800000	mm ⁴
Momento máximo	3893379000	N.mm
Flecha	0.008457475	mm
Cisalhamento médio	18.16111111	MPa
Tensão normal	370.7236694	MPa
Tensão de Flexão	40.27067568	MPa

Tabela 6: Tabela de Resultados de Momentos e Tensões

- Cálculos dos olhais:

Cálculo das tensões atuantes nos olhais do Spreader bar e comparações com as tensões admissíveis indicadas por normas.



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Cálculos dos olhais de 50 toneladas – Anexo 1

Cálculos dos olhais de 100 toneladas – Anexo 2

CONCLUSÃO

O projeto foi desenvolvido inteiramente de forma ideológica e constatou-se mediante aos cálculos que o equipamento possui plenas condições de operação em situação de içamento. Apesar de ser um projeto conceitual, os parâmetros de cálculos aplicados, propriedades materiais e integridade estrutural são reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Silva, C.H. ; Juiniti, R ; Pupplim L.A.; Neumann, L; MARlim Field: The Evolution of Subsea Techniques and Hardware - Offshore Technology Conference, 1999.

Beer, F.P., Johnston, E.R. e DeWolf, J.T., Resistência dos Materiais, 4 ed. McGraw-Hill Brasil, 2006.

Hibbeler, R.C., Resistência dos materiais I, 7. ed., Pearson Prentice Hall, 2010.

AISC - Specification for Structural Steel Building, March 9, 2005.

DNV-OS-C201_2012 – Structural design of offshore units (wsd method).



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Anexo 1

1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é calcular as tensões atuantes em olhais e compará-las com as tensões admissíveis indicadas por normas.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] N-2683, Estruturas Oceânicas - Olhal de Içamento, Ed. 2006/2010
- [2] API 2A - WSD, 21edition, December 2000.
- [3] AISC - Specification for Structural Steel Building, Ed., 2010.
- [4] DNV - Standard for Certification, N° 2.7-1 OFFSHORE CONTAINERS, Ed.2006.
- [5] ISO 13628-4 - Petroleum and natural gas industries, Design and operation of subsea production systems, Part 4: Subsea wellhead and tree equipment - Ed.2010
- [6] Material_utilizado: S355
- [7] Carregamento_Máximo: 50 tf

A. PROPRIEDADES DO MATERIAL (Referência [7])

Tensão de escoamento conforme ref. [6] $S_y := 345\text{MPa}$

Tensão última conforme ref. [6] $S_{ut} := 470\text{MPa}$

B. ADMISSÍVEIS DO MATERIAL

Admissível ao esmagamento	$S_e := 0.9 \cdot S_y = 310.5 \cdot \text{MPa}$	AISC Section J7
Admissível ao cisalhamento	$\tau_{adm} := 0.3 \cdot S_{ut} = 141 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D5.1
Admissível à tração	$S_{a1} := 0.5 S_{ut} = 235 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D5.1
Admissível na seção bruta	$S_{a2} := 0.6 S_y = 207 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D2

C. CARREGAMENTO

Força dinâmica conforme ref [7]: $f_{dinamico} := 50\text{tonnef}$

Fator de Amplificação Dinâmica: $FAD := 1.25$

Fator de segurança adotado conforme ref [2]: $FS := 2$



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Força estática: carga dividida pelos 4 olhais

$$f_{\text{statico}} := \frac{f_{\text{dinamico}}}{FAD}$$

$f_{\text{statico}} = 40\text{-tonnef}$

Força de vertical:

$$f_{\text{vertical}} := f_{\text{dinamico}} \cdot FS \quad f_{\text{vertical}} = 100\text{-tonnef}$$

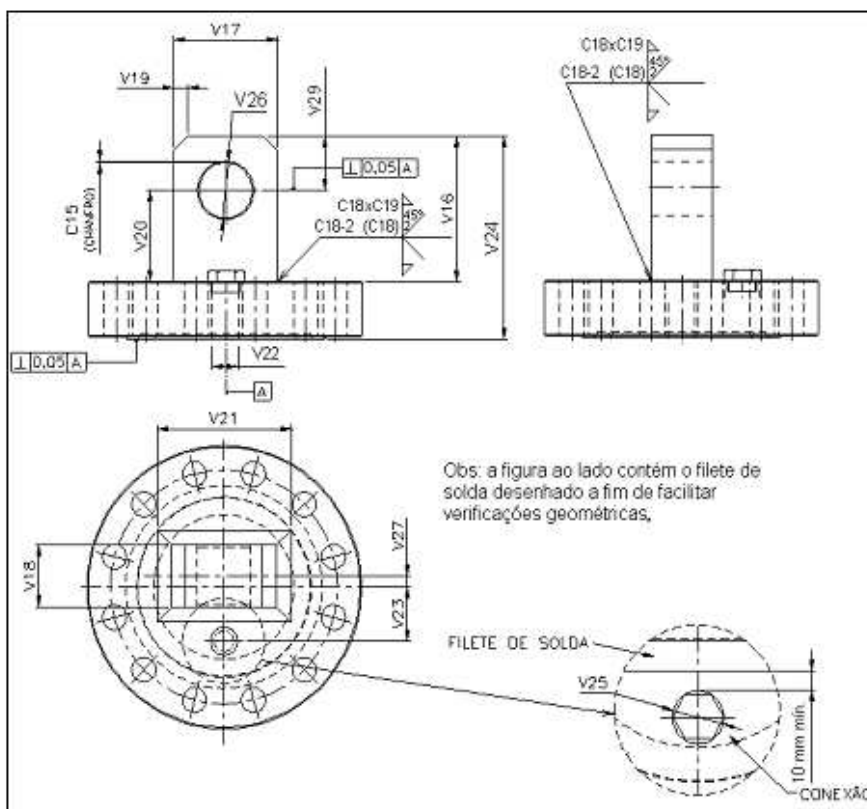
Força transversal (força acrescentada no eixo de menor resistência mecânica conforme ref. [2]):

$$f_{\text{transversal}} := 5\% \cdot f_{\text{vertical}}$$

$f_{\text{transversal}} = 5\text{-tonnef}$

D. GEOMETRIA

D.1 Geometria Básica do Olhal



CONSIDERAR
OLHAL COM TOPO
CILÍNDRICO: VIDE
CROQUI DA BASE
DO OLHAL

Largura do olhal:

V17 := 250mm

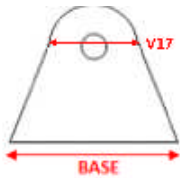
Base do olhal:

BASE := 250mm



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida



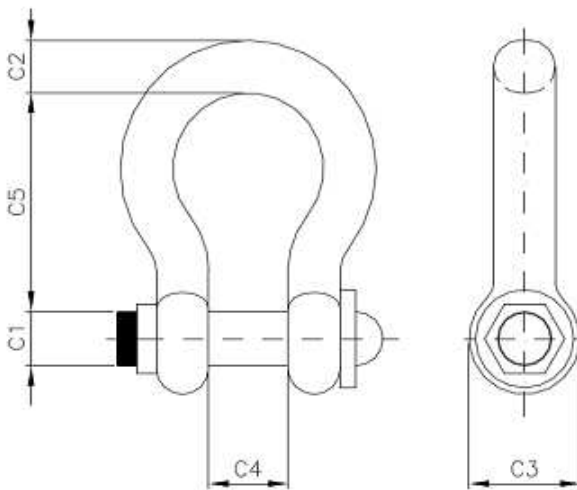
Espessura do olhal: V18 := 63.5mm

Altura do olhal: V20 := 95mm

Diâmetro do furo do olhal conforme ref. [6]: V26 := 83mm

Distância do centro furo ao topo do olhal: V29 := 125mm

D.2 Geometria da Manilha :



Diâmetro do pino da manilha C1 := 70mm

Diâmetro do elo da manilha C2 := 65mm

Abertura da manilha C4 := 105mm

Altura da manilha C5 := 180mm



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

E. CÁLCULOS PRELIMINARES

E.1 Cálculo das áreas :

Área resistente ao esmagamento

$$A_1 := C1 \cdot V18$$

$$A_1 = 4.4 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Área sob cisalhamento:

$$A_2 := 2 \cdot \left[V18 \cdot \left[\left(V29 - \frac{V26}{2} \right) + \frac{C1}{2} \right] \right]$$

$$A_2 = 1.5 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

Área sob tensão axial:

$$A_3 := \min[2 \cdot V18 \cdot (2 \cdot V18 + 16\text{mm}), (V17 - V26) \cdot V18]$$

$$A_3 = 1.1 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

Área da seção bruta :

$$A_4 := V17 \cdot V18$$

$$A_4 = 1.6 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

F. VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DEVIDO AO ESFORÇO AXIAL

F.1 Tensão de Esmagamento Devido ao Pino da Manilha :

Tensão de esmagamento (força vertical) :

$$\sigma_e := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_1}$$

$$\sigma_e = 220.6 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_1 := \frac{\sigma_e}{S_e}$$

$$UF_1 = 0.71$$



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

F.2 Tensão Cisalhante no Furo Devido a Força Vertical :

Tensão cisalhante
(força vertical) :

$$\tau_{\text{vertical}} := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_2}$$

$$\tau_{\text{vertical}} = 65.2 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_2 := \frac{\tau_{\text{vertical}}}{\tau_{\text{adm}}}$$

$$UF_2 = 0.46$$

F.3 Tensão Axial no Furo Devido a Força Vertical :

Tração :

$$\sigma_t := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_3}$$

$$\sigma_t = 92.5 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_3 := \frac{\sigma_t}{\text{Sa1}}$$

$$UF_3 = 0.39$$

F.4 Tensão Provocada na Seção Bruta do Olhal:

Escoamento na seção bruta :

$$\sigma_4 := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_4}$$

$$\sigma_4 = 61.77 \cdot \text{MPa}$$

Verificação:

$$UF_4 := \frac{\sigma_4}{\text{Sa2}}$$

$$UF_4 = 0.3$$

F.5 Verificação dos fatores de utilização:

$$\text{Verificação}_1 := \begin{cases} \text{"ANALISAR"} & \text{if } UF_1 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} & \text{if } UF_2 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} & \text{if } UF_3 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} & \text{if } UF_4 > 1 \\ \text{"UF OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Verificação}_1 = \text{"UF OK"}$$



G. VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA BASE DO OLHAL

G.1 Tensões Aplicadas

G.1.1 Módulo de Resistência nos Dois Eixos e as Tensões:

Modulo de resistência no eixo de maior momento de inércia

$$W_x := V18 \cdot \frac{BASE^2}{6} \quad W_x = 6.61 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

Modulo de resistência no eixo de menor momento de inércia

$$W_y := BASE \cdot \frac{V18^2}{6} \quad W_y = 1.68 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

Tensão axial na base do olhal

$$f_a := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_4} \quad f_a = 61.77 \cdot \text{MPa}$$

Momento Fletor no plano

$$f_{ipb} := \frac{f_{\text{vertical}} \cdot V20}{W_x} \quad f_{ipb} = 140.85 \cdot \text{MPa}$$

Momento Fletor fora do plano

$$f_{opb} := f_{\text{transversal}} \cdot \frac{\left(V20 + \frac{C1 + C5}{2} \right)}{W_y} \quad f_{opb} = 64.21 \cdot \text{MPa}$$

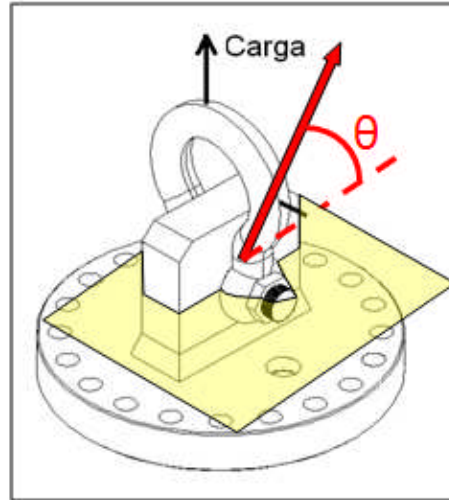
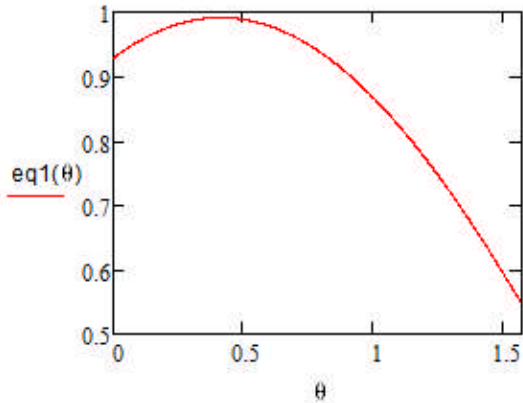
Tensão de cisalhamento na base do olhal

$$\tau_1 := \frac{f_{\text{vertical}}}{\frac{2 \cdot BASE \cdot V18}{3}} \quad \tau_1 = 92.66 \cdot \text{MPa}$$

G.2 Tensões Combinadas

G.2.1 Determinação do ângulo de içamento crítico

$$eq1(\theta) := \left(\frac{f_a \cdot \sin(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{ipb} \cdot \cos(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{opb}}{0.75 \cdot S_y} \right)$$



$$\theta := \text{root} \left[\left(\frac{d}{d\theta} \text{eq1}(\theta) \right), \theta, 0\text{deg}, 90\text{deg} \right]$$

$$\theta = 23.68 \cdot \text{deg}$$

G.2.2 Determinação das tensões combinadas

Ângulo θ adotado:

$$\theta_{\text{adotado}} := 60^\circ$$

Tensões combinadas na base do olhal conforme ref. [1]:

$$\text{eq} := \left(\frac{f_a \cdot \sin(\theta_{\text{adotado}})}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{ipb} \cdot \cos(\theta_{\text{adotado}})}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{opb}}{0.75 \cdot S_y} \right) \quad \text{eq} = 0.847$$

O cisalhamento na base do olhal não ocorre no mesmo ponto, não entrando, assim, na combinação de tensão, sendo este calculado a parte.

Fator de utilização do cisalhamento na base do olhal:

$$UF_5 := \frac{\tau_1}{0.4 \cdot S_y} \quad UF_5 = 0.67$$

Verificação₂ := $\begin{cases} \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{if } \begin{cases} UF_5 > 1 \\ \text{eq} > 1 \end{cases} \\ \text{"Tensões Combinadas OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Verificação₂ = "Tensões Combinadas OK"



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Anexo 2



1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é calcular as tensões atuantes em olhais e compará-las com as tensões admissíveis indicadas por normas.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] N-2683, Estruturas Oceânicas - Olhal de Içamento, Ed. 2006/2010
- [2] API 2A - WSD, 21edition, December 2000.
- [3] AISC - Specification for Structural Steel Building, Ed., 2010.
- [4] DNV - Standard for Certification, N°.2.7-1 OFFSHORE CONTAINERS, Ed.2006.
- [5] ISO 13628-4 - Petroleum and natural gas industries, Design and operation of subsea production systems, Part 4: Subsea wellhead and tree equipment - Ed.2010
- [6] Material_utilizado: S355
- [7] Carregamento_Máximo: 100 tf

A. PROPRIEDADES DO MATERIAL (Referência [7])

Tensão de escoamento conforme ref. [6] $S_y := 345\text{MPa}$

Tensão última conforme ref. [6] $S_{ut} := 470\text{MPa}$

B. ADMISSÍVEIS DO MATERIAL

Admissível ao esmagamento	$S_e := 0.9 \cdot S_y = 310.5 \cdot \text{MPa}$	AISC Section J7
Admissível ao cisalhamento	$\tau_{adm} := 0.3 \cdot S_{ut} = 141 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D5.1
Admissível à tração	$S_{a1} := 0.5 S_{ut} = 235 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D5.1
Admissível na seção bruta	$S_{a2} := 0.6 S_y = 207 \cdot \text{MPa}$	AISC Section D2

C. CARREGAMENTO

Força dinâmica conforme ref [7]: $f_{dinamico} := 100\text{tonnef}$

Fator de Amplificação Dinâmica: $FAD := 1.25$

Fator de segurança adotado conforme ref [2]: $FS := 2$



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

Força estática: carga dividida pelos 4 olhais

$$f_{\text{statico}} := \frac{f_{\text{dinamico}}}{FAD}$$

$f_{\text{statico}} = 80\text{-tonnef}$

Força de vertical:

$$f_{\text{vertical}} := f_{\text{dinamico}} \cdot FS \quad f_{\text{vertical}} = 200\text{-tonnef}$$

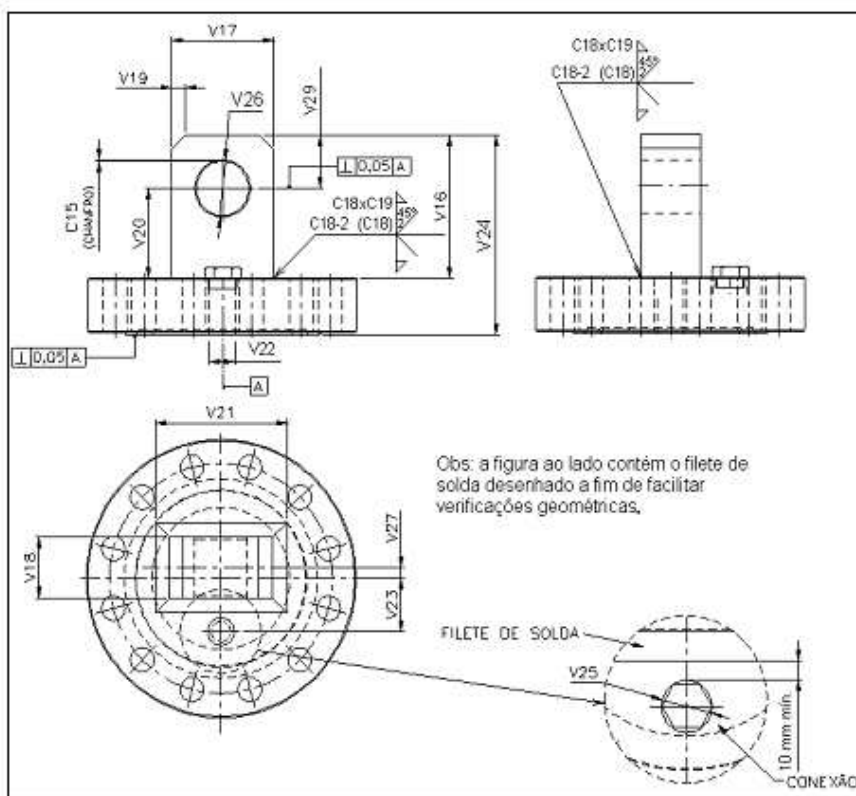
Força transversal (força acrescentada no eixo de menor resistência mecânica conforme ref. [2]:

$$f_{\text{transversal}} := 5\% \cdot f_{\text{vertical}}$$

$f_{\text{transversal}} = 10\text{-tonnef}$

D. GEOMETRIA

D.1 Geometria Básica do Olhal



CONSIDERAR
OLHAL COM TOPO
CILÍNDRICO: VIDE
CROQUI DA BASE
DO OLHAL

Largura do olhal:

V17 := 300mm

Base do olhal:

BASE := 400mm



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida



Espessura do olhal:

V18 := 76.2mm

Altura do olhal:

V20 := 120mm

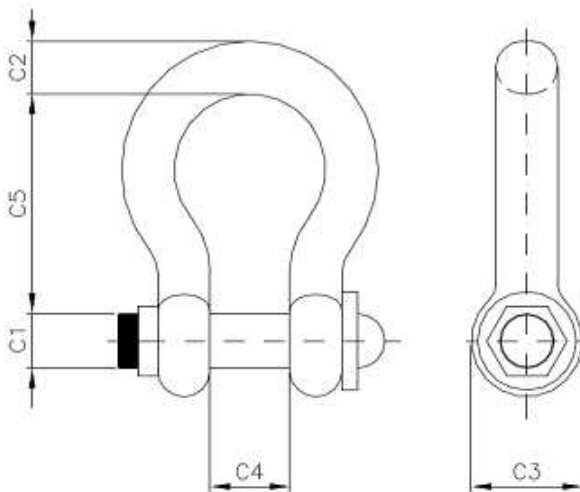
Diâmetro do furo do olhal conforme ref. [6]:

V26 := 111mm

Distância do centro furo ao topo do olhal:

V29 := 150mm

D.2 Geometria da Manilha :



Diâmetro do pino da manilha

C1 := 95mm

Diâmetro do elo da manilha

C2 := 95mm

Abertura da manilha

C4 := 144mm

Altura da manilha

C5 := 381mm



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

E. CÁLCULOS PRELIMINARES

E.1 Cálculo das áreas :

Área resistente ao esmagamento

$$A_1 := C1V18$$

$$A_1 = 7.2 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Área sob cisalhamento:

$$A_2 := 2 \cdot \left[V18 \cdot \left[\left(V29 - \frac{V26}{2} \right) + \frac{C1}{2} \right] \right]$$

$$A_2 = 2.2 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

Área sob tensão axial:

$$A_3 := \min[2 \cdot V18 \cdot (2 \cdot V18 + 16\text{mm}), (V17 - V26) \cdot V18]$$

$$A_3 = 1.4 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

Área da seção bruta :

$$A_4 := V17 \cdot V18$$

$$A_4 = 2.3 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

F. VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DEVIDO AO ESFORÇO AXIAL

F.1 Tensão de Esmagamento Devido ao Pino da Manilha :

Tensão de esmagamento (força vertical) :

$$\sigma_e := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_1}$$

$$\sigma_e = 270.9 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_1 := \frac{\sigma_e}{S_e}$$

$$UF_1 = 0.87$$



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

F.2 Tensão Cisalhante no Furo Devido a Força Vertical :

Tensão cisalhante
(força vertical) :

$$\tau_{\text{vertical}} := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_2}$$

$$\tau_{\text{vertical}} = 90.6 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_2 := \frac{\tau_{\text{vertical}}}{\tau_{\text{adm}}}$$

$$UF_2 = 0.64$$

F.3 Tensão Axial no Furo Devido a Força Vertical :

Tração :

$$\sigma_t := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_3}$$

$$\sigma_t = 136.2 \cdot \text{MPa}$$

Verificação :

$$UF_3 := \frac{\sigma_t}{\text{Sa1}}$$

$$UF_3 = 0.58$$

F.4 Tensão Provocada na Seção Bruta do Olhal:

Escoamento na seção bruta :

$$\sigma_4 := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_4}$$

$$\sigma_4 = 85.8 \cdot \text{MPa}$$

Verificação:

$$UF_4 := \frac{\sigma_4}{\text{Sa2}}$$

$$UF_4 = 0.41$$

F.5 Verificação dos fatores de utilização:

Verificação₁ := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"ANALISAR"} \text{ if } UF_1 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} \text{ if } UF_2 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} \text{ if } UF_3 > 1 \\ \text{"ANALISAR"} \text{ if } UF_4 > 1 \\ \text{"UF OK"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Verificação₁ = "UF OK"



UNIVERSIDADE
SANTA ÚRSULA

Fazendo parte da história da sua vida

G. VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA BASE DO OLHAL

G.1 Tensões Aplicadas

G.1.1 Módulo de Resistência nos Dois Eixos e as Tensões:

Modulo de resistência no eixo de maior momento de inércia

$$W_x := V18 \cdot \frac{BASE^2}{6}$$
$$W_x = 2.03 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

Modulo de resistência no eixo de menor momento de inércia

$$W_y := BASE \cdot \frac{V18^2}{6}$$
$$W_y = 3.87 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

Tensão axial na base do olhal

$$f_a := \frac{f_{\text{vertical}}}{A_4}$$
$$f_a = 85.8 \cdot \text{MPa}$$

Momento Fletor no plano

$$f_{ipb} := \frac{f_{\text{vertical}} \cdot V20}{W_x}$$
$$f_{ipb} = 115.83 \cdot \text{MPa}$$

Momento Fletor fora do plano

$$f_{opb} := f_{\text{transversal}} \cdot \frac{\left(V20 + \frac{C1 + C5}{2} \right)}{W_y}$$
$$f_{opb} = 90.7 \cdot \text{MPa}$$

Tensão de cisalhamento na base do olhal

$$\tau_1 := \frac{f_{\text{vertical}}}{\frac{2 \cdot BASE \cdot V18}{3}}$$
$$\tau_1 = 96.52 \cdot \text{MPa}$$

G.2 Tensões Combinadas

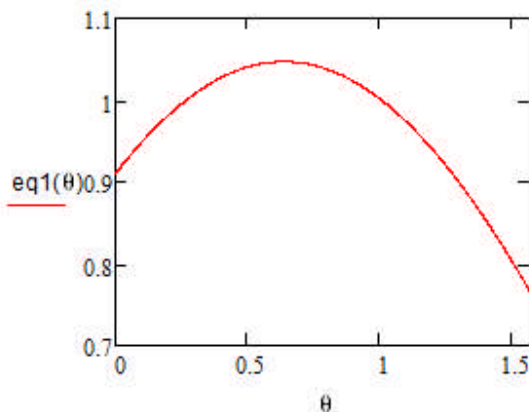
G.2.1 Determinação do ângulo de içamento crítico

$$eq1(\theta) := \left(\frac{f_a \cdot \sin(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{ipb} \cdot \cos(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{opb}}{0.75 \cdot S_y} \right)$$



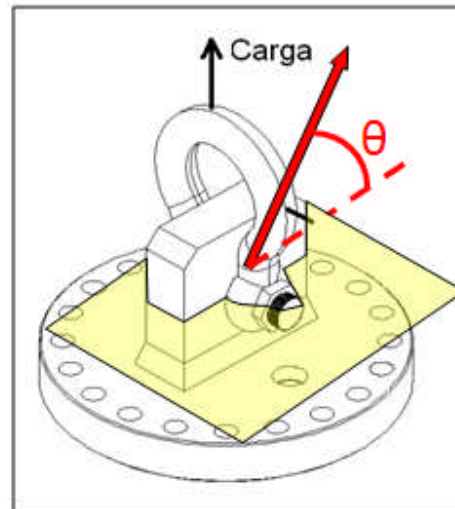
G.2.1 Determinação do ângulo de içamento crítico

$$eq1(\theta) := \left(\frac{f_a \cdot \sin(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{ipb} \cdot \cos(\theta)}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{opb}}{0.75 \cdot S_y} \right)$$



$$\theta := \text{root} \left[\left(\frac{d}{d\theta} eq1(\theta) \right), \theta, 0 \text{deg}, 90 \text{deg} \right]$$

$$\theta = 36.53 \text{deg}$$



G.2.2 Determinação das tensões combinadas

Ângulo θ adotado: $\theta_{\text{adotado}} := 60^\circ$

Tensões combinadas na base do olhal conforme ref. [1]:

$$eq := \left(\frac{f_a \cdot \sin(\theta_{\text{adotado}})}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{ipb} \cdot \cos(\theta_{\text{adotado}})}{0.6 \cdot S_y} \right) + \left(\frac{f_{opb}}{0.75 \cdot S_y} \right) \quad eq = 0.989$$

O cisalhamento na base do olhal não ocorre no mesmo ponto, não entrando, assim, na combinação de tensão, sendo este calculado a parte.

Fator de utilização do cisalhamento na base do olhal:

$$UF_5 := \frac{\tau_1}{0.4 \cdot S_y} \quad UF_5 = 0.7$$

Verificação₂ := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"REDIMENSIONAR"} \text{ if } UF_5 > 1 \\ \text{"Tensões Combinadas OK"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Verificação₂ = "Tensões Combinadas OK"