

GABRIEL RANIERI LUXO

Estudo da tecnologia de vasos separadores utilizados na indústria petroquímica

Gabriel Ranieri Luxo

Estudo da tecnologia de vasos separadores utilizados na indústria petroquímica

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: João Andrade de Carvalho Jr.

	Luxo, Gabriel
L977e	Estudo da tecnologia de vasos separadores utilizados na indústria petroquímica / Gabriel Luxo – Guaratinguetá, 2018. 42 f : il. Bibliografia: f. 42 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Jr. 1. Indústria petroquímica. 2. Flúidos. 3. Separadores (Máquinas). I. Título.
	CDU 665.71

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

GABRIEL RANIERI LUXO

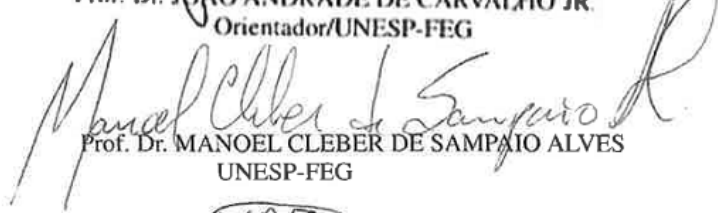
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JR.
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
UNESP-FEG


Eng. FERNANDO MANENTE PERRELLA BALESTIERI
UNESP-FEG

Dezembro de 2018

DADOS CURRICULARES

GABRIEL RANIERI LUXO

NASCIMENTO 26.10.1993 – SÃO PAULO/ SP

FILIAÇÃO Sergio Luiz Augusto Luxo
Rosana Ranieri Luxo

2012/2018 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

AGRADECIMENTOS

À Deus aos meus pais Sergio Luxo e Rosana Luxo, fontes de inspiração em todos os momentos e responsáveis pela formação do meu caráter, exemplo de amor, dedicação e companheirismo.

À minha amiga Maria Luiza pois sem seu incentivo e apoio não teria passado na Unesp.

Aos meus amigos da república Sinagoga e do Apartamento 12 pela ajuda e pelos momentos de descontração, que me carregaram por estes anos na faculdade.

RESUMO

A indústria petrolífera tem uma grande importância no mercado brasileiro e mundial. Os fluidos extraídos são utilizados em diversos processos, entre eles, para geração de energia em termelétricas. Para tanto, precisam ser condicionados (condições específicas de temperatura, pressão, pureza, etc). Um dos processos é a separação das fases diversas num fluido, ou seja, retirar gotículas de líquido dispersas num gás e vice-versa. Para realizar esta separação são utilizados vasos separadores. Estes vasos podem ser trifásicos (separação de água, óleo e gás) ou bifásicos (separação de duas fases como água e óleo, água e gás ou óleo e gás). Neste trabalho foi realizado um estudo dos componentes internos dos vasos, identificando o propósito da aplicação de cada item. Após esta etapa foi feita uma metodologia para seleção e dimensionamento de vasos separadores, focando em dois casos: vaso separador bifásico e vaso separador trifásico com bota. A partir deste método, foi mostrado um exemplo de dimensionamento de um vaso separador bifásico separando água e óleo. Então foi analisado um vaso separador trifásico real. Foi concluído que o vaso trifásico atendeu aos requisitos impostos pela metodologia definida e que o uso de uma bota foi corretamente selecionado. Porém, os tempos de controle para água neste vaso ficaram muito altos, apesar de não acarretarem em prejuízos, poderia ser selecionada uma bota menor.

PALAVRAS-CHAVE: Vasos separadores. Separação trifásica. Separação bifásica. Gás natural.

ABSTRACT

The oil industry has a great importance on the Brazilian and world wide markets. The extracted fluid are used in many different processes, one of them is the energy generation in power plants. Therefore, it is need to be conditioned (specific conditions of temperature, pressure, purity, etc.) One of these processes is the separation of the dispersed phases separation. Meaning removing liquid droplets from a gas or vice versa. In order to do so, separator vessels are used. These vessels can the three phase (separation of water, oil and gas) or two phase (separation of water and oil, water and gas or oil and gas). In this paper a study of the internal components of the vessels identifying the application and purpose of each item. After this step a methodology was developed in order to choose and dimension separating vessels. Two cases were focused, two-phase separator and three phase separator with boot. From this method, an example of two-phase dimensioning was showed and a real three-phase separator was evaluated. It was concluded that the three phase separator attended to the requirements and that the use of a boot was correctly chosen. Although, the control times for controlling the water levels in the boot were too high, not condemning the vessel but a smaller boot could have been chosen.

KEYWORDS: Separating vessels. Three-phase separation. Two-phase separation. Natural gas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mecanismo de produção do tipo gás em solução.	12
Figura 2 - Mecanismo de produção tipo capa de gás.	12
Figura 3 - Mecanismo de produção tipo influxo de água.	13
Figura 4 - Sistemas típicos de recuperação secundária convencional.....	13
Figura 5 - Esquema básico de processamento do petróleo.....	14
Figura 6 - Vasos separadores horizontal e vertical.....	16
Figura 7 - Dispositivo de entrada.	17
Figura 8 - Conjunto de placas coalescedoras.....	19
Figura 9 - Comportamento de um gás entrando num vaso vertical.....	20
Figura 10 - Extrator de névoas tipo malha tricotada.	20
Figura 11 - Extrator de névoa placa corrugada.....	21
Figura 12 - Extrator de névoa ciclone.	22
Figura 13 - Esquema simples de um vaso separador trifásico.....	23
Figura 14 - Vaso separador com bota.....	23
Figure 15 - Zona de controle de nível.....	24
Figure 16 - Exemplo dimensões na Posição I.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho dos diversos dispositivos de entrada do vaso separador.....	18
Tabela 2 - Seleção do vaso separador em função do tipo de separação.	27
Tabela 3 - Limites de ρV^2 dos dispositivos de entrada.	30
Tabela 4 - Valores típicos tempo de separação para Líquido-Líquido.....	32
Tabela 5 - Resultados obtidos no processo de dimensionamento de um vaso separador.....	37
Tabela 6 - Dados de processo fornecidos pelo cliente.....	39
Tabela 7 - Dados calculados do vaso separador trifásico existente.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{con,H_{HH}}$	Área entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto (m ²).
A_{con,H_L}	Área da seção transversal entre os pré-alarmes
A_h	Área da seção transversal com 100% fluido pesado
A_l	Área da seção transversal com 100% fluido leve
D	Diâmetro do vaso
D_h	Largura referente a área da interface entre a parte com 100% líquido pesado e a região de controle
F_h	Felação entre a área A_h e a área da seção transversal do vaso
$ID_{disp.entr}$	Diâmetro interno do dispositivo de entrada
L	Comprimento do vaso
$L_{ef} =$	comprimento efetivo da área de separação por gravidade
Q_{con}	Vazão de alimentação
Q_h	Vazão de fluido pesado
Q_l	Vazão de fluido leve
μ_h	Viscosidade dinâmica do fluido pesado
μ_l	Viscosidade dinâmica do fluido leve
ρ_h	Massa Específicas do fluido pesado
ρ_l	Massa Específicas do fluido leve
$t_{con,H_{HH}}$	Tempo entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto
t_{con,H_L}	Tempo de controle para separação das fases entre os pré-alarmes
$V_{con,H_{HH}}$	Volume entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto (m ³).
V_{con,H_L}	Volume de controle para separação das fases entre os pré-alarmes
$V_{dh,set}$	Velocidade das gotículas que atravessam a interface entre a parte com 100% líquido pesado e a região de controle
$V_{dl,set}$	Velocidade das gotículas que atravessam a interface entre a parte com 100% líquido leve e a região de controle
V_l	Velocidade axial do fluido leve (m/s).
V_h	Velocidade axial do fluido pesado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
1.3	FUNDAMENTAÇÃO	11
1.3.1	O Petróleo	12
1.3.2	O Gás Natural	14
1.3.3	Separação das Fases	14
1.3.4	Vaso Separador Bifásico	16
1.3.5	Vaso separador trifásico	22
1.3.6	Controle de nível nos vasos	24
2	MÉTODO PARA SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE UM VASO SEPARADOR	26
2.1	VASO SEPARADOR BIFÁSICO ABERTO E HORIZONTAL	28
2.1.1	Separação Líquido/Líquido	28
2.2	VASO SEPARADOR TRIFÁSICO ABERTO E HORIZONTAL	33
3	EXEMPLOS DE CÁLCULO	37
3.1	DIMENSIONAMENTO DE UM VASO SEPARADOR BIFÁSICO	37
3.2	ANÁLISE DE UM VASO SEPARADOR TRIFÁSICO REAL	38
4	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Estudar os componentes que constituem um vaso separador. Entender seus propósitos e utilização na indústria petrolífera. Em seguida, com base em métodos existentes, estudar a seleção e dimensionamento de vasos separadores.

1.2 JUSTIFICATIVA

Uma vez que mais da metade da energia gerada no mundo provém de derivados do petróleo (segundo a *International Energy Agency, 2017*), estudar os meios de produção e preparo deste produto é essencial para o desenvolvimento. Este conhecimento também se torna um diferencial na vida profissional de um engenheiro que queira trabalhar nesta área.

Apesar das especulações, a indústria do petróleo continua imponente e, ao contrário do que se imaginava, a produção de petróleo e gás continua aumentando. Novas tecnologia e novas descobertas de locais para extração de petróleo fomentam a indústria e o “pico do petróleo” ainda não chegou (GAUTO, 2016). Por isso, cada equipamento utilizado neste processo é importante. O vaso separador, podendo ser usado em diversas aplicações, entre elas no preparo do petróleo e também do gás natural em termelétricas, é um equipamento de grande utilidade. Assim, sua escolha e dimensionamento são processos muito importantes economicamente.

1.3 FUNDAMENTAÇÃO

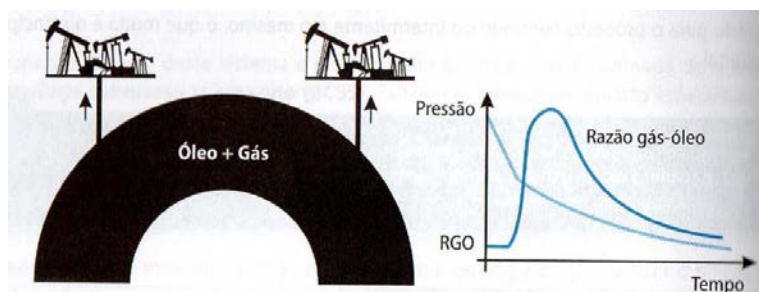
Apesar do petróleo ser utilizado há mais de mil anos pelo homem (inicialmente na forma de betume), a cada ano o progresso e desenvolvimento de novas tecnologias força os profissionais a se aperfeiçoarem e reduzirem custos na produção e preparo do petróleo e gás natural (GAUTO, 2016).

Muitos países ao redor do mundo, tem como grande fonte de energia termelétricas que queimam derivados do petróleo e gás natural para a geração de energia. Por isso o mundo ainda depende muito destas fontes de energia.

1.3.1 O Petróleo

O petróleo é um acúmulo de material orgânico a partir do qual se gera combustível fóssil. Ele é encontrado em diversos locais do planeta nas mais diferentes condições. Há locais onde é encontrado na forma de uma mistura de óleo e gás (Conforme figura 1).

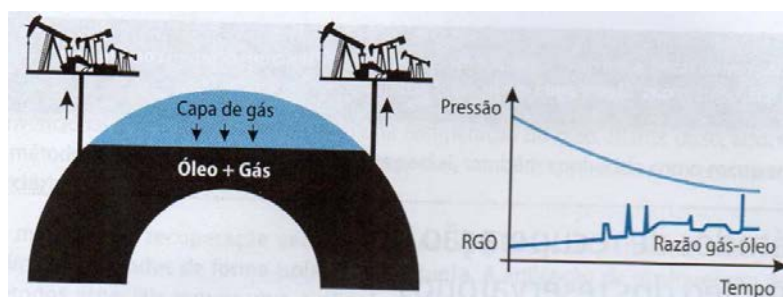
Figura 1 - Mecanismo de produção do tipo gás em solução.



Fonte: Gauto (2016).

Em outras localidades há Gás na parte superior e mistura óleo e gás na parte inferior (conforme Figura 2).

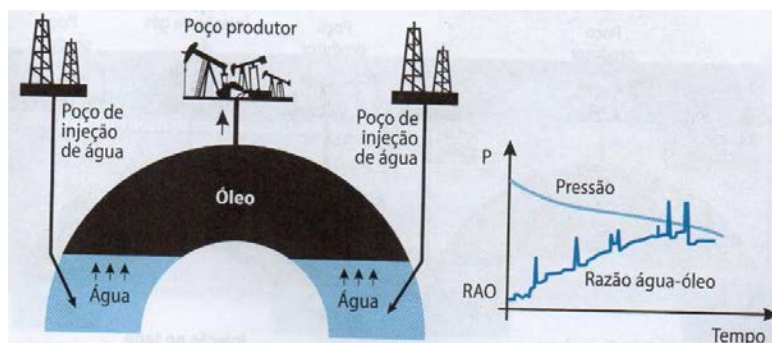
Figura 2 - Mecanismo de produção tipo capa de gás.



Fonte: Gauto (2016).

Há também o caso de haver água, naturalmente ou devido a injeção, na parte inferior e óleo na superior (conforme Figura 3).

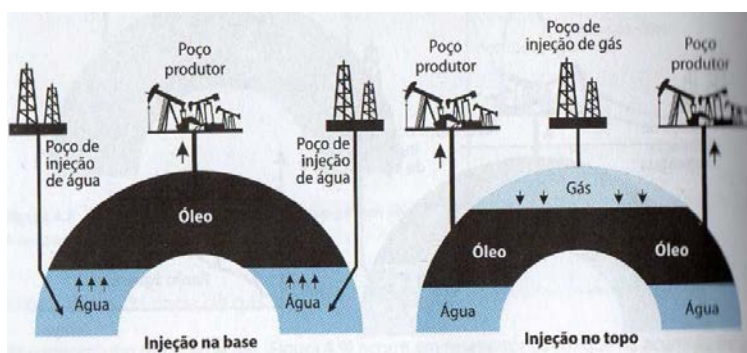
Figura 3 - Mecanismo de produção tipo influxo de água.



Fonte: Gauto (2016).

E, por fim, pode ser encontrado de forma separada água-gás-óleo (conforme Figura 4).

Figura 4 - Sistemas típicos de recuperação secundária convencional



Fonte: Gauto (2016).

É possível observar que, na grande maioria das vezes, o poço de petróleo vai produzir unicamente óleo ou gás. Ele sempre vai ser uma mistura porque apesar da diferença de massas específicas causar uma pré separação no reservatório, no momento da extração sempre se obterá uma mistura de gás, óleo e água.

Essa mistura deve ser processada e tratada. Um dos processos, necessário em quase qualquer hipótese, é a separação das fases. Com isso pode-se notar a grande necessidade do Vaso Separador na indústria petrolífera.

1.3.2 O Gás Natural

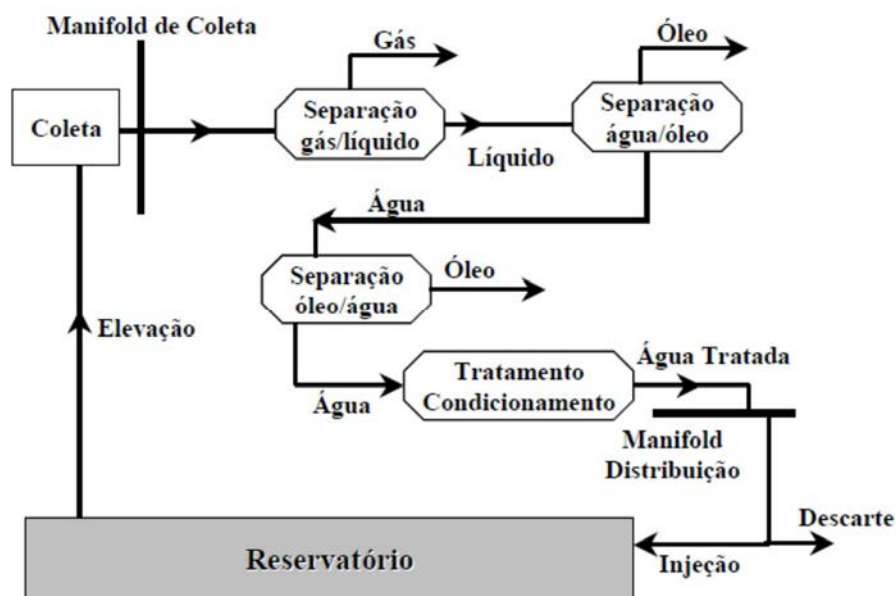
O gás natural é uma substância composta por hidrocarbonetos que permanecem na fase gasosa em temperatura ambiente. Ele é encontrado em reservatórios geológicos junto com petróleo, na maior parte das vezes está dissolvido.

Em termelétricas, o gás natural é queimado para se gerar vapor e então energia elétrica, ou é utilizado em turbinas a gás também para gerar energia diretamente. Antes disso ele passar por uma série de equipamentos para se regular a pressão, filtrar e também retirar gotículas de óleo e água. Para este procedimento o vaso separador é essencial.

1.3.3 Separação das Fases

O petróleo e gás produzidos nas Unidades de Exploração de Petróleo (UEP) precisam ser tratados. Um dos primeiros passos é a separação, para em seguida serem tratados e atenderem as exigências do mercado, como mostrado na Figura 5:

Figura 5 - Esquema básico de processamento do petróleo



Fonte: Freitas (2014).

Dentre diversos sistemas para isso, há alguns arranjos que são considerados os principais:

1 – Sem separação dos fluidos: A planta executa somente o teste e avaliação da produção dos poços através de um separador de teste, então o fluido (água, óleo e gás) é escoado até uma central para o processamento.

2 – Com separação bifásica: Utilizado em locais onde há pouca produção de água; o separador separa apenas as fases líquida e gasosa.

3 – Com separação trifásica: A planta possui separadores trifásicos de teste e de produção; é um arranjo mais complexo e todos os fluidos produzidos são utilizados.

4 – Com separação trifásica e tratamento do óleo: Contém o mesmo sistema do item 3 mas, adicionalmente; possui equipamentos para tratar o óleo, reduzindo o teor de água para enquadrar nos padrões de qualidade estabelecidos para refino.

De qualquer modo, um vaso separador será utilizado. Há dois tipos básicos de vasos separadores, separador bifásico e trifásico.

Alguns conceitos serão mencionados e abordados. Estes estão listados a seguir seguidos de uma breve explicação:

Dispersão Primária: significa que a maioria das gotículas tem mais que 30 μm de diâmetro, sendo assim possível sua separação através da ação da gravidade.

Dispersão Secundária: significa que a maioria das gotículas tem menos que 30 μm de diâmetro, sendo assim possível sua separação apenas através de coalescedores.

Separação de Massa: termo utilizado para definir a separação em vasos abertos que possuem um limite de separação para gotículas maiores ou iguais a 150 μm , significando uma taxa de remistura menor que 1,5% do volume.

Separação Eficiente: quando se deseja separar fluidos com gotículas menores que 150 μm , a eficiência é definida em função do menor diâmetro que uma partícula poderá possuir e mesmo assim será 100% separada do fluido no qual está misturada.

Maioria de Líquido: quando é dito que um vaso separador trifásico é dimensionado para maioria de líquido, significa que se procura retirar gotículas de gás misturadas no fluido principal, que está na fase líquida. Neste caso, a relação mássica entre as fases é de mais de 20% de líquido.

Maioria de Gás: quando é dito que um vaso separador trifásico é dimensionado para maioria de gás; significa que se procura retirar gotículas de líquido misturadas no fluido principal, que está na fase gasosa. Neste caso, a relação mássica entre as fases é de menos de 20% de líquido.

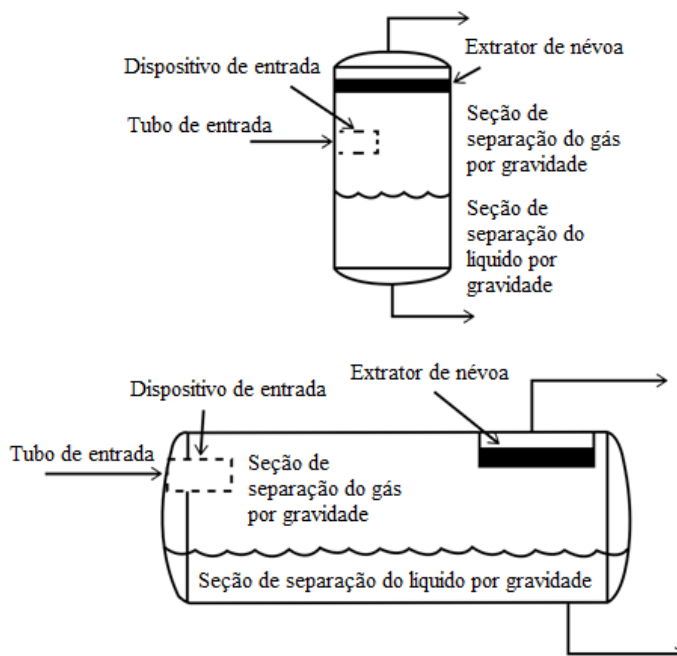
Serviço de Entupimento: termo utilizado para a resistência do vaso e seus componentes ao entupimento quando o fluido possui partículas sólidas que possam entupir os filtros coalescedores.

1.3.4 Vaso Separador Bifásico

Quando um vaso é utilizado para fazer a separação Gás-Líquido ou Líquido-Líquido, ele é considerado um vaso separador bifásico. Quando posicionado na posição horizontal, possui maior área para distribuição do líquido, porém, em contrapartida ocupa mais espaço do que um vaso colocado na posição vertical.

Na Figura 6, pode-se observar um vaso horizontal e um vertical. Também são indicados alguns fatores importantes do vaso, o primeiro é o tubo de alimentação, ou tubo de entrada do vaso. Apesar de nem sempre ser possível, tenta-se reduzir ao máximo a velocidade do fluido no tubo de alimentação. No caso disso não ser possível, ao se manter a velocidade alta, haverá uma diminuição no tamanho das gotículas de líquido misturadas no gás e assim maior dificuldade na separação.

Figura 6 - Vasos separadores bifásicos horizontal e vertical.



Fonte: Bothamley (2015).

Em seguida é colocado o dispositivo de entrada, cuja função principal é melhorar o desempenho da separação reduzindo a turbulência no fluido. Há vários tipos de entrada no vaso, conforme listado abaixo e representado na Figura 7:

- Sem dispositivo de entrada: para vasos extremamente simples, processos onde não há uma grande necessidade de eficiência na separação ou quando a velocidade de entrada é extremamente baixa.

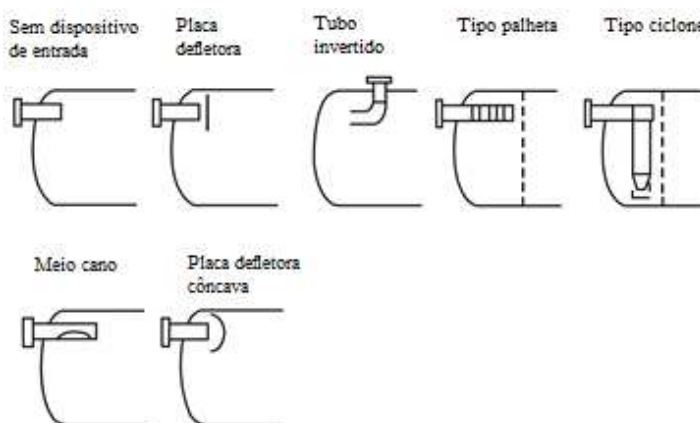
- Placa defletora: é uma placa colocada diretamente contra a tubulação de alimentação do vaso. Esta placa pode ser plana ou côncava.

- Meio cano: Neste caso a própria tubulação de entrada do cano tem uma parte específica cortada e removida.

- Tipo palheta: Este dispositivo permite que o fluido entre a uma velocidade maior no vaso, pelo fato de “dividir” a vazão entre as palhetas e não impactar tanto o fluido.

- Tipo ciclone: Utilizado quando o fluido, ao entrar, possui um grande momento. Assim, ao percorrer um sentido ciclônico as partículas mais pesadas tendem a ir para o ponto de maior raio da curva, já facilitando assim, na entrada do vaso, a separação entre os fluidos.

Figura 7 - Dispositivo de entrada.



Fonte: Bothamley (2015).

O dispositivo de entrada é um item crítico na maior parte dos casos, é geralmente selecionado e dimensionado em função do momento de entrada do fluido como mostrado na Tabela 2. O propósito principal é reduzir a velocidade do fluido no tubo de alimentação para favorecer a separação de fases. A Tabela 1 mostra os pontos fortes e fracos de cada dispositivo.

Tabela 1 - Desempenho dos diversos dispositivos de entrada do vaso separador.

Função	Sem dispositivo de entrada	Placa defletora	Meio cano	Tipo palheta	Tipo ciclone
Redução do momento	Ruim	Médio	Bom	Bom	Bom
Separação de líquido	Ruim	Ruim	Médio	Bom	Bom
Prevenir Re-mistura de fases	Ruim	Ruim	Médio	Bom	Médio-bom
Minimizar formação de gotículas	Ruim	Ruim	Médio	Bom	Bom
Evitar agitação e formação de espuma	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Bom
Baixa queda de pressão	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio
Assegurar boa distribuição de gás	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Médio

Fonte: Bothamley (2015).

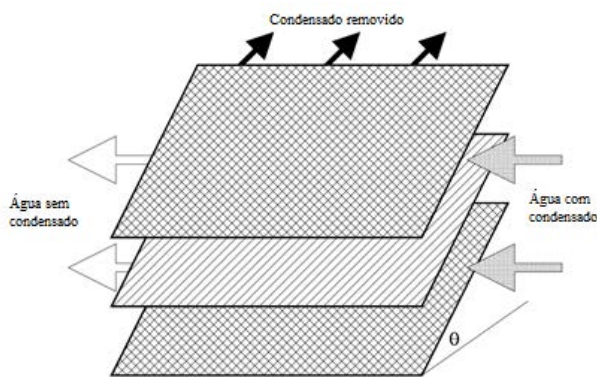
Apesar da tabela acima, segundo a referência, há poucos dados disponíveis quantificando esses efeitos.

A próxima parte do vaso é a parte de separação pela gravidade. Neste ponto, o fluido já passou pelo dispositivo de entrada e se dirige para a saída do separador. Haverá então uma separação devido a força da gravidade. Assim, a água, sendo o fluido mais denso, irá para baixo e o óleo ficará sobre a água (no caso de separação líquido/líquido). No caso de separação gás/líquido as gotículas de líquido cairão e o gás permanecerá na parte superior do vaso.

Quando a seção de separação por gravidade não possui nenhum equipamento interno para facilitar a separação, o vaso é chamado de vaso separador aberto.

Em alguns casos, para separação líquido/líquido, é recomendada a utilização de um conjunto de placas coalescedoras (Figura 8). Este equipamento é colocado na área de separação por gravidade, fazendo com que este espaço seja substancialmente reduzido pois, ao passar pelas placas, os fluidos de diferentes Massa Específicas serão separados e fluirão laminarmente, aumentando assim a eficiência da separação.

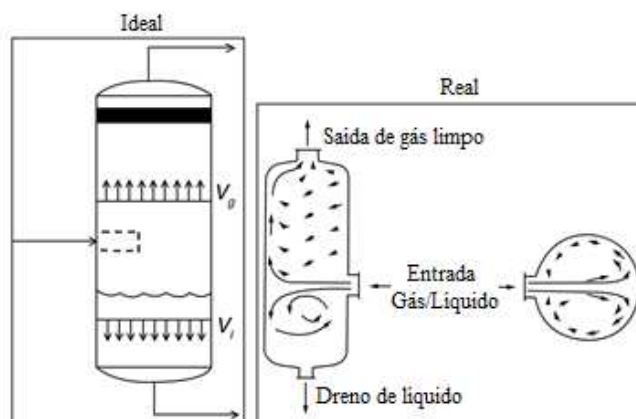
Figura 8 - Conjunto de placas coalescedoras.



Fonte: Shell (2008).

Pode-se observar na Figura 9 que um dos desafios é o controle do perfil de velocidade do fluido. Idealmente, a fase gasosa deveria ir diretamente para a parte superior do vaso, enquanto a fase líquida direto para a parte inferior do vaso. Pode-se observar, através de simulações, que não é isso que ocorre, e sim gotículas de líquido e gás se espalham em todas as direções.

Figura 9 - Comportamento de um gás entrando num vaso vertical.

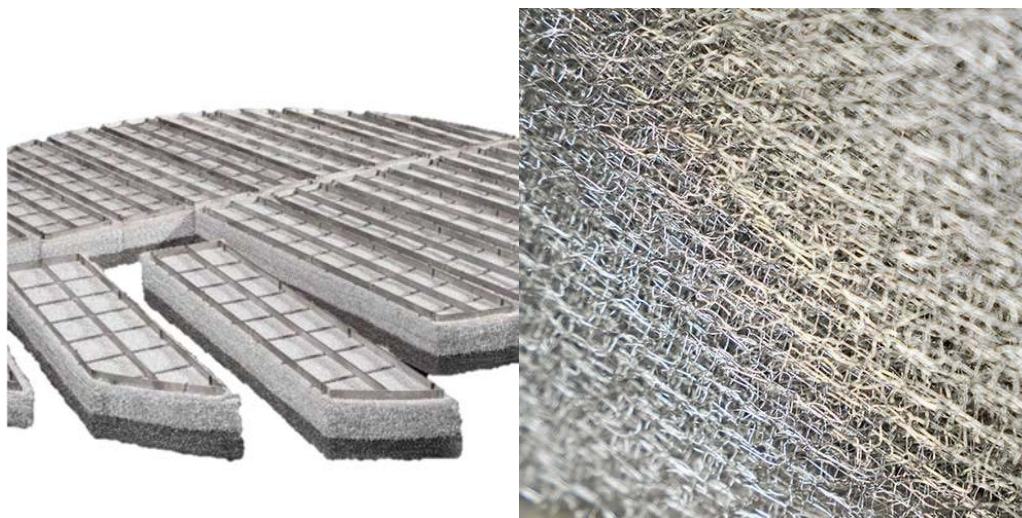


Fonte: Bothamley (2015).

O último item do vaso é o equipamento localizado na saída de vapor, usualmente chamado de extrator de névoa, que podem ser de vários tipos, sendo estes:

- Malha tricotada: Também conhecida como “Demister”, consiste em uma malha formada por fios extremamente finos tricotados (ou co-tricotados) que possui altíssima porcentagem de vazio. Ao provocar um impacto inercial, as gotículas de líquido coalescem nos fios da malha. Assim, esse acessório auxilia na separação das fases. Pode-se observar na imagem abaixo um demister comercial da empresa Clark Solutions na Figura 10:

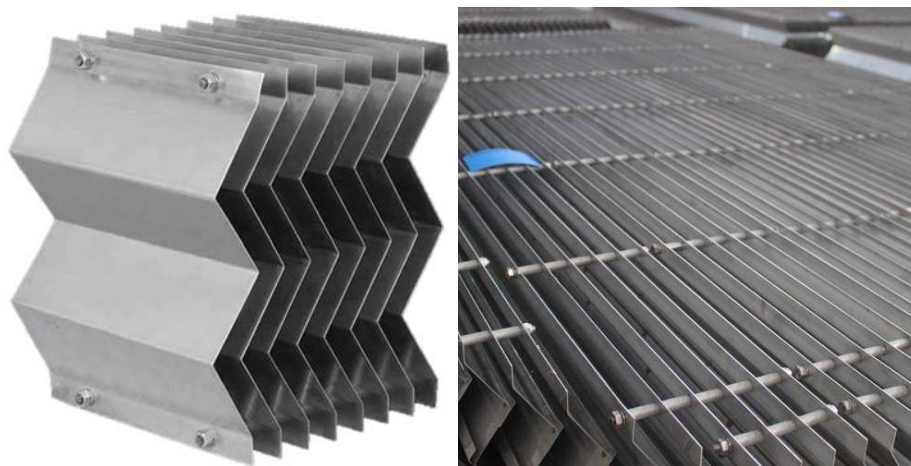
Figura 10 - Extrator de névoas tipo malha tricotada.



Fonte: Clark (2018).

- Placa corrugada: Também chamado de “Vane”, é um extrator que consiste, basicamente, em um conjunto de palhetas distribuídas no formato ziguezague. Neste caso, também, é realizada a captação da névoa pelo impacto inercial. É ideal para aplicações onde sólidos ou fluidos viscosos sujariam um leito de malha e gera a menor perda de carga entre todas as classes de extratores de névoa. Pode-se observar, na Figura 11, um extrator comercial da empresa Clark Solutions:

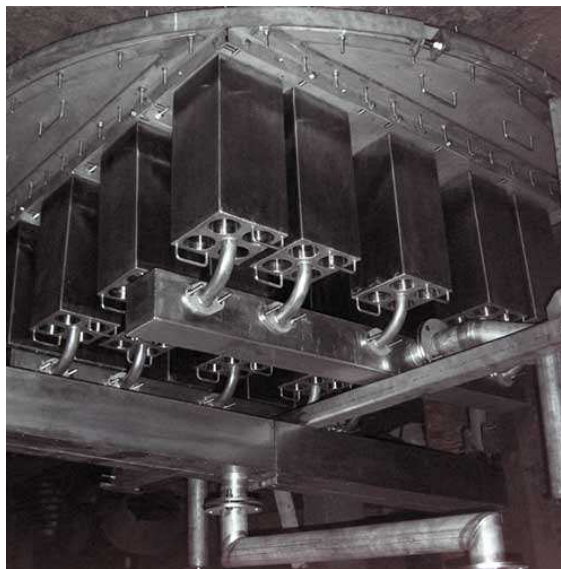
Figura 11 - Extrator de névoa placa corrugada.



Fonte: Clark (2018).

- Ciclone: possui um módulo com aletas que forçam o fluido a escoar de maneira helicoidal. Este sentido de escoamento força as partículas mais pesadas a se chocarem contra as paredes, em seguida coalescendo e caindo. É extremamente eficiente, porém, além de ser mais caro, possui uma menor faixa de aplicação com relação aos demais extratores. Pode-se observar na Figura 12, retirada do site da empresa Clark Solutions, os locais onde há aletas na forma helicoidal e tubos para extração do condensado.

Figura 12 - Extrator de névoa ciclone.

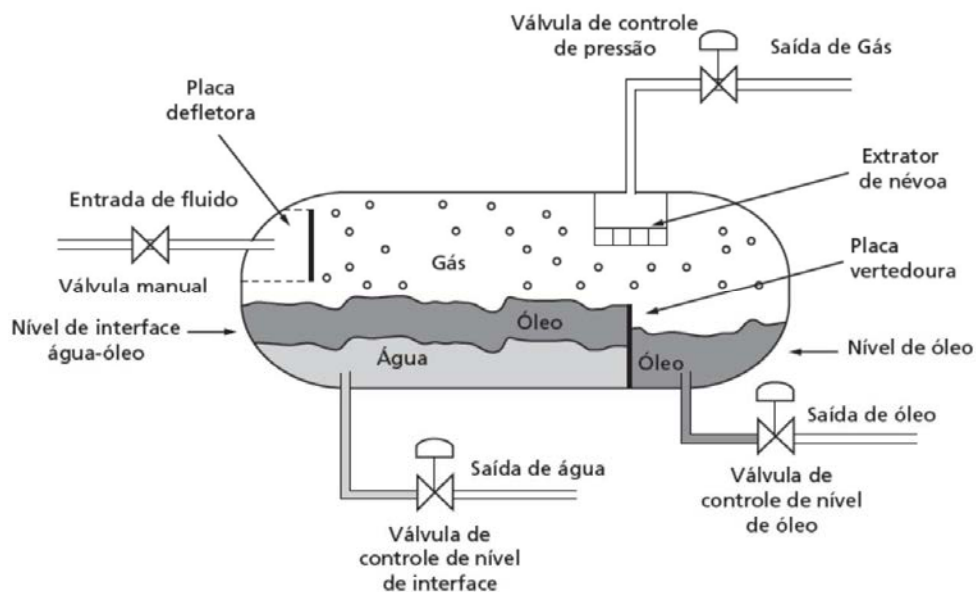


Fonte: Clark (2018).

1.3.5 Vaso separador trifásico

Utilizado quando deseja-se fazer uma separação Gás-Líquido-Líquido. Semelhantemente ao vaso separador bifásico, possui os mesmos componentes de entrada e saída. No entanto, para separar as duas fases líquidas, uma placa vertedoura é utilizada (também chamada de barragem), conforme Figura 13. Isso fará com que, ao se estabilizarem os fluidos, o líquido mais pesado fique abaixo e o mais leve por cima.

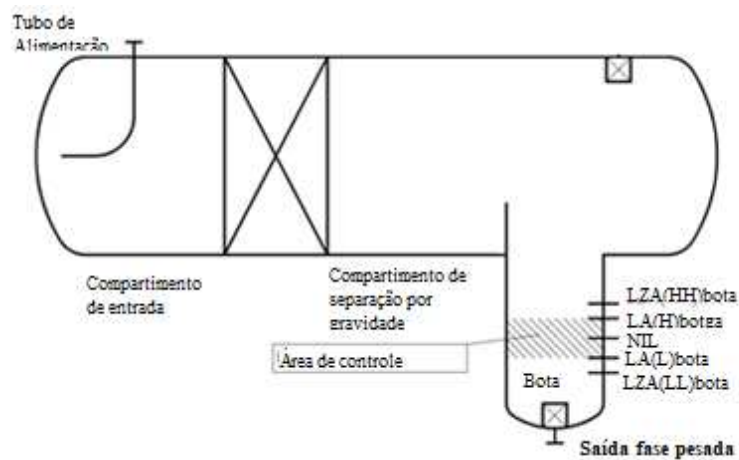
Figura 13 - Esquema simples de um vaso separador trifásico.



Fonte: Freitas (2014).

Também pode ser feita, no caso de um vaso horizontal, a construção de uma chamada bota, conforme Figura 14. Isto faz com que o vaso possua maior área para armazenamento de um certo fluido, usualmente o mais pesado, e facilite o controle do volume armazenado através de visores e transmissores de nível.

Figura 14 - Vaso separador com bota.



Fonte: Shell (2008).

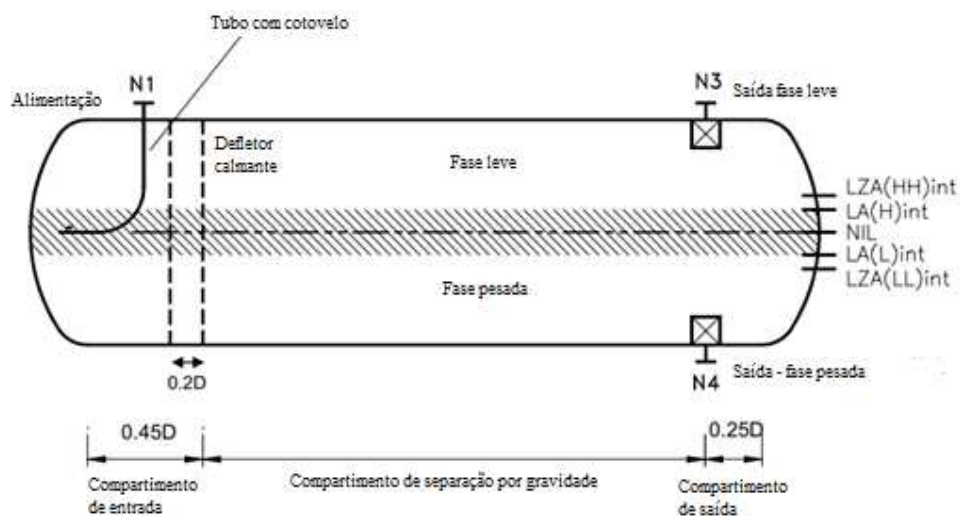
Da mesma maneira que o vaso separador bifásico, a seleção entre vaso vertical ou horizontal se dá em função da relação Gás/Líquido, quando há um domínio de líquido utiliza-se o vaso horizontal, quando grande maioria gasosa, utiliza-se o vaso vertical.

1.3.6 Controle de nível nos vasos

Durante a separação, os volumes das diferentes fases oscilarão, por isso todo vaso é dimensionado para haver uma certa seção de interface entre líquidos.

Como pode ser observado na Figura 15 a área hachurada indica a seção onde a altura da interface entre as fases oscilará.

Figure 15 - Zona de controle de nível.



Fonte: Shell (2008).

Para separação Gás-Líquido, os sinais devem ser determinados da seguinte maneira:

- **LZA(HH)** (alarme de nível muito alto): Pelo menos 150mm abaixo do dispositivo de alimentação e pelo menos 0,05 vezes o diâmetro do vaso (no caso de um vasos separador vertical).
- **LA(H)** (pré-alarme de nível alto): Pelo menos 100mm abaixo de LZA(HH) ou, dimensionado em função do tempo necessário para intervenção de um operador (no caso de um sistema não automatizado).
- **LA(L)** (pré-alarme de nível baixo): Com relação a distância para o LA(H), o volume total entre estes dois alarmes deve ser a soma do volume para controle (separação) e, em caso de algum risco de formação de espuma ou uma camada de diferente

rugosidade na interface dos líquidos, este espaço deve acomodar determinado volume para esperar que esse problema seja disperso.

- **LZA(LL)** (alarme de nível muito baixo): Pelo menos 100mm abaixo de LA(L) ou, dimensionado em função do tempo necessário para intervenção de um operador (no caso de um sistema não automatizado).

Para separação Líquido-Líquido, os sinais devem determinados da seguinte maneira:

- **LZA(HH)** (alarme de nível muito alto): Pelo menos 20% do diâmetro do vaso (medido a partir do limite superior do vaso).
- **LA(H)** (pré-alarme de nível alto): Pelo menos 100mm abaixo de LZA(HH) ou, dimensionado em função do tempo necessário para intervenção de um operador (no caso de um sistema não automatizado).
- **LA(L)** (pré-alarme de nível baixo): Com relação a distância para o LA(H), o volume total entre estes dois alarmes deve ser a soma do volume para controle (separação).
- **LZA(LL)** (alarme de nível muito baixo): Pelo menos 20% do diâmetro do vaso (medido a partir do limite inferior do vaso).

2. MÉTODO PARA SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE UM VASO SEPARADOR

A seleção e dimensionamento de um vaso separador apropriado para sua aplicação depende de diversos fatores, entre eles:

- Composição do fluido de alimentação;
- Eficiência necessária na separação;
- Capacidade necessária de manuseio de gás e líquido;
- Saber se o fator determinante será a separação L/L ou G/L (em vasos separadores bifásicos) ou G/L/L (em vasos separadores trifásicos);
- Tolerância a entupimento/ obstrução;

É importante salientar que é possível haver choque entre dois critérios, por exemplo, alta tolerância a entupimento e alta eficiência de separação.

A eficiência é medida em função do menor diâmetro que uma gotícula pode ter e mesmo assim será 100% extraída do fluido na qual está misturada.

O primeiro passo para a seleção e dimensionamento de um vaso é saber quais os fluidos que serão separados e suas propriedades, então, pode-se utilizar a Tabela 1, adaptada da SHELL (2018) para a seleção do tipo de vaso separador mais adaptado.

Tabela 2 - Seleção do vaso separador em função do tipo de separação.

Tipo de Separadores	Separação Bifásica			Separação Trifásica			
	L1	L2	L3	T1	T2	T3	T4/T5
Separação L/L							
Dispersão primária	√	√		√	√	√	√
• Separação de massa	√			√	√		√
• Separação eficiente		√				√	√
Dispersão secundária¹	X	X	X	X	X	X	X
Interface L/L indefinida	X	X	X		√	√	
Separação G/L							
• Separação de massa	√		√	√	√	√	
• Separação eficiente		√					√
G/L/L – maior parte líquido				√	√	√	X
G/L/L – maior parte gás						X	√
Serviço de entupimento	√			√	√		

Fonte: Shell (2008).

√ - Uso Recomendado

X – Não recomendado

¹ – Não é recomendado o uso de vasos separadores. Para esta aplicação utiliza-se coalescedores especificamente dimensionados para o fluido e suas condições pontuais.

L1 – Vaso separador bifásico aberto e horizontal.

L2 – Vaso separador bifásico horizontal com conjuntos de placas coalescedoras.

L3 – Vaso separador bifásico aberto e vertical.

T1 – Vaso separador trifásico aberto e horizontal com bota.

T2 – Vaso separador trifásico aberto e horizontal com barragem.

T3 – Vaso separador trifásico horizontal com conjuntos de placas coalescedoras e barragem.

T4 – Vaso separador trifásico vertical.

T5 – Vaso separador trifásico vertical com conjunto de placas coalescedoras.

2.1 VASO SEPARADOR BIFÁSICO ABERTO E HORIZONTAL

2.1.1 Separação Líquido/Líquido

Os dados necessários para o dimensionamento de um vaso separador bifásico horizontal para separação Líquido-Líquido são:

- 1) Vazão do líquido pesado (Q_h).
- 2) Vazão do líquido leve (Q_l).
- 3) Viscosidade dinâmica do líquido pesado (μ_h).
- 4) Viscosidade dinâmica do líquido leve (μ_l).
- 5) Massa Específicas do líquido pesado (ρ_h).
- 6) Massa Específicas do líquido leve (ρ_l).
- 7) Tempo desejado de controle (opcional por já haver valores recomendados).
- 8) Limitações das dimensões do vaso (caso haja limitações de espaço).

O projetista do vaso deve determinar valores iniciais para o vaso de comprimento, (L), e diâmetro, (D) respeitando a relação $2,5 \leq L/D \leq 6$.

Um método para auxiliar a estimar as dimensões iniciais é calcular os diâmetros mínimos, considerando 50% da área do vaso para líquido leve e então para líquido pesado e que as velocidades devem ser menores ou iguais a 0,015 m/s (velocidade determinada por SHELL).

$$V_h = \frac{Q_h}{A_h} \quad (1)$$

sendo,

$$A_h = \frac{F_h \pi D^2}{4} \quad (2)$$

Também, para o líquido leve:

$$V_l = \frac{Q_l}{A_l}, \quad (3)$$

sendo,

$$A_l = \frac{F_l \pi D^2}{4}, \quad (4)$$

onde,

V_h = velocidade axial do fluido pesado (m/s).

Q_h = vazão do fluido pesado (m³/s).

A_h = área da seção transversal com 100% fluido pesado (m²).

F_h = relação entre a área A_h e a área da seção transversal do vaso (adimensional).

D = diâmetro interno do vaso (m).

V_l = velocidade axial do fluido leve (m/s).

Q_l = vazão do fluido leve (m³/s).

A_l = área da seção transversal com 100% fluido leve (m²).

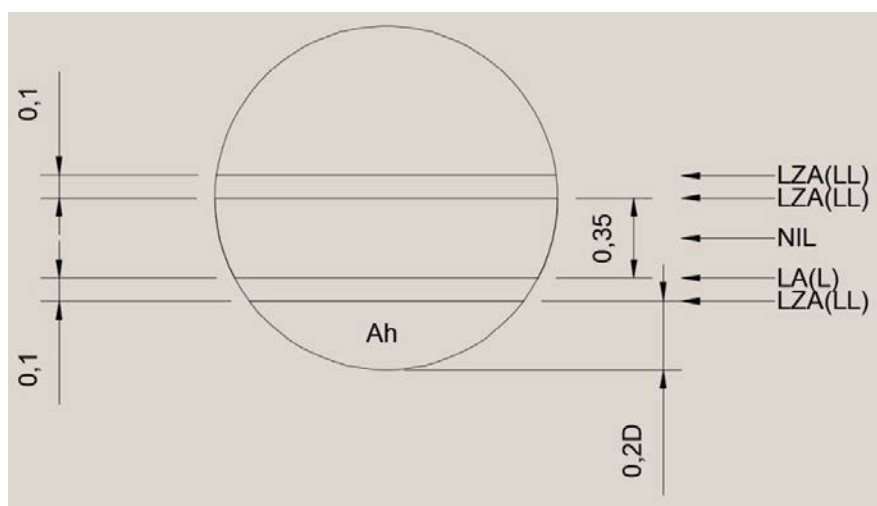
Ao se determinar um diâmetro e comprimento do vaso iniciais para o processo de dimensionamento de um vaso, deve-se determinar os níveis de controle. Uma boa prática é realizar todos os cálculos para três níveis de controle, e a partir dos resultados avaliar qual seria o nível ideal, ou próximo do ideal:

Posição I: nível mínimo (alarme LZA(LL) localizado em $0,2 D$).

Posição II: nível intermediário (NIL é localizado a $0,5 D$).

Posição III: nível máximo (alarme LZA(HH) localizado em $0,8 D$).

Figure 16 - Exemplo dimensões na Posição I.



Fonte: Produção do próprio autor

Em seguida calcula-se o dispositivo de entrada mais apropriado. Para isso pode-se utilizar a dimensão da tubulação de alimentação em combinação com a Tabela 2.

Tabela 3 - Limites de ρV^2 dos dispositivos de entrada.

Tipo de dispositivo de entrada	ρV^2, lb/ft-s²
Sem dispositivo	700
Placa defletora	950
Meio cano	1,400
Tipo palheta	5,400
Ciclônico	10,000

Fonte: Bpthamley (2015).

Ao saber o diâmetro interno do dispositivo de entrada, é possível calcular o comprimento efetivo para separação (L_{ef}).

$$L_{ef} = L - (0,15 + ID_{disp.entr}) - 0,25D \quad (5)$$

onde,

$ID_{disp.entr}$ = diâmetro interno do dispositivo de entrada (m).

L_{ef} = comprimento efetivo da área de separação por gravidade (m).

Pode-se substituir $(0,15 + ID_{disp.entr})$ por $0,45D$. A partir daqui os cálculos devem ser feitos para as três posições. Cálculo das velocidades axiais da fase pesada e leve utilizando as equações 1 e 2

Então, para calcular o menor diâmetro das gotículas que serão separadas, primeiro deve-se calcular a velocidade das gotículas atravessando a interface entre os líquidos pesado e leve:

$$V_{dh,set} = \frac{Q_l}{L_{ef}D_h} \quad (6)$$

e

$$V_{dl,set} = \frac{Q_h}{L_{ef}D_l} \quad (7)$$

onde,

$V_{dh,set}$ = velocidade das gotículas que atravessam a interface entre a parte com 100% líquido pesado e a região de controle (m/s).

D_h = largura referente a área da interface entre a parte com 100% líquido pesado e a região de controle (m).

$V_{dl,set}$ = velocidade das gotículas que atravessam a interface entre a parte com 100% líquido leve e a região de controle (m/s).

D_h = largura referente a área da interface entre a parte com 100% líquido leve e a região de controle (m).

Com estes resultados é possível avaliar o menor diâmetro das gotículas que serão separadas a partir da seguinte fórmula, lembrando que para separação de massa, o diâmetro deve ser de pelo menos 150 μ m:

$$d_h = \sqrt{\frac{18\mu_l(V_{dh,set} + 0,05V_l)}{g(\rho_h - \rho_l)}} \quad (8)$$

e

$$d_l = \sqrt{\frac{18\mu_h(V_{dl,set} + 0,05V_h)}{g(\rho_h - \rho_l)}} \quad (9)$$

onde,

d_h = menor diâmetro das gotículas do líquido pesado que serão separadas (m).

d_l = menor diâmetro das gotículas do líquido leve que serão separadas (m).

A fase final é calcular os tempos de controle. Para isso utiliza-se a seguinte equação:

$$t_{con,H_L} = \frac{V_{con,H_L}}{Q_{con}} \quad (10)$$

sendo,

$$V_{con,H_L} = A_{con,H_L}L$$

onde,

t_{con,H_L} = tempo de controle para separação das fases entre os pré-alarmes (s).

V_{con,H_L} = volume de controle para separação das fases entre os pré-alarmes (m³).

A_{con,H_L} = área da seção transversal entre os pré-alarmes (m²).

Q_{con} = vazão de alimentação, pode ser utilizada a vazão do líquido pesado (m³/s).

μ_l = viscosidade dinâmica do líquido leve (mPa.s).

μ_h = viscosidade dinâmica do líquido pesado (mPa.s).

Em seguida é preciso calcular os tempos entre os pré alarmes e o alarme final:

$$t_{con,H_{HH}} = \frac{V_{con,H_{HH}}}{Q_{con}} \quad (11)$$

sendo,

$$V_{con,H_{HH}} = A_{con,H_{HH}}L$$

onde,

$t_{con,H_{HH}}$ = tempo entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto (s).

$V_{con,H_{HH}}$ = volume entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto (m³).

$A_{con,H_{HH}}$ = área entre pré-alarme e alarme final de nível muito alto (m²).

De mesmo modo deve-se calcular o tempo entre o pré-alarme de nível baixo e de nível muito baixo:

$$t_{con,L_{LL}} = \frac{V_{con,L_{LL}}}{Q_{con}} \quad (12)$$

Sendo,

$$V_{con,L_{LL}} = A_{con,L_{LL}} L$$

Onde,

$t_{con,L_{LL}}$ = tempo entre pré-alarme e alarme final de nível muito baixo (s).

$V_{con,L_{LL}}$ = volume entre pré-alarme e alarme final de nível muito baixo (m³).

$A_{con,L_{LL}}$ = área entre pré-alarme e alarme final de nível muito baixo (m²).

Caso não seja predeterminado tempo mínimo de retenção, pode-se utilizar a tabela abaixo, tabela 3, como parâmetro para avaliação do tempo calculado.

Tabela 4 - Valores típicos tempo de separação para Líquido-Líquido.

Tipo de separação	Tempo de retenção
Hidrocarbonetos/água	
Hidrocarboneto acima de 35° API	3 a 5 min
Hidrocarboneto abaixo de 35° API	
100°F ou mais	5 a 10 min
80°F	20 a 30 min
60°F	0,30
Etileno glicol/hidrocarboneto (Separadores frios)	20 a 60 min
Amina/hidrocarbonetos	20 a 30 min
Coalescedores, hidrocarbonetos/água	
100°F ou mais	5 a 10 min
80°F	10 a 20 min
60°F	20 a 30 min
Cáustica/propano	30 a 45 min
Cáustica/ gasolina pesada	30 a 90 min

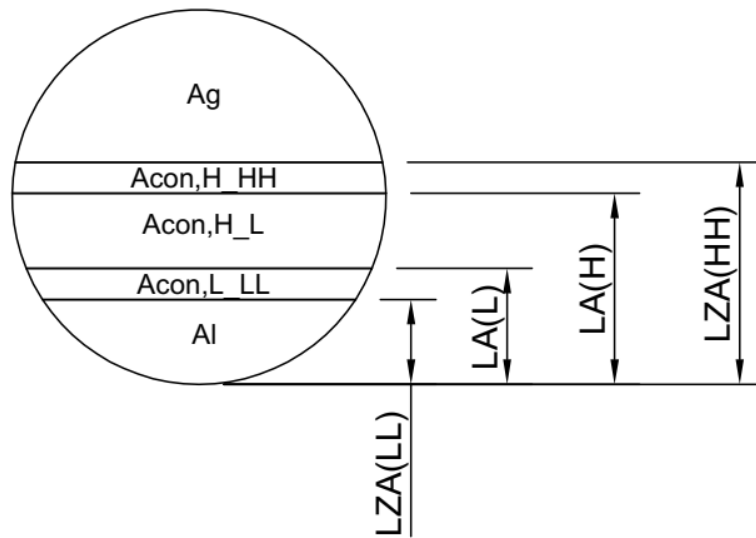
Fonte: Lyons (1996).

A partir dos resultados é necessário avaliar se os parâmetros atendem as necessidades e limitações, então pode-se determinar um novo valor para NIL, diâmetro ou comprimento e realizar novamente os cálculos.

2.2 VASO SEPARADOR TRIFÁSICO ABERTO E HORIZONTAL

Nesta parte será abordada a metodologia para avaliação de um vaso separador já existente. Este método pode ser utilizado para dimensionamento por tentativa e erro, determinando e corrigido, em função dos resultados, as dimensões e níveis de controle do vaso.

Figure 17 - Níveis de controle, interface gás-líquido.



Fonte: Produção do próprio autor

Os primeiros critérios a serem atendidos são dos níveis de controle no vaso (explicados no capítulo 1.3.6). Conforme indicado abaixo nas equações 13, 14 e 15:

$$\frac{LZA(HH)}{D_{i\ vaso}} \leq 0,8 \quad (13)$$

$$\frac{LZA(LL)}{D_{i\ vaso}} \leq 0,2 \quad (14)$$

$$\frac{LZA(LL)}{D_{i \text{ saída condensado}}} \geq 1 \quad (15)$$

onde,

$D_{i \text{ vaso}}$ = diâmetro interno do vaso separador (mm).

$D_{i \text{ saída condensado}}$ = diâmetro interno do bocal de saída de condensado (mm)

Então, deve-se assegurar que a velocidade do gás na área A_g é menor que 0,07m/s, conforme equação 2.2.4:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{Q_g}{A_g} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}} \quad (16)$$

sendo,

$\lambda_{m\acute{a}x}$ = velocidade axial máxima do gás (m/s).

Q_g = vazão de gás (m³/s)

A_g = área transversal ocupada por gás, conforme Figura 17 (m²).

ρ_g = Massa Específica do gás (kg/m³).

ρ_l = Massa Específica do condensado (kg/m³).

Deve ser feita também a análise dos níveis de controle na bota, conforme equações abaixo:

$$LZA(HH)_{bota} - LA(H)_{bota} \geq 100mm \quad (17)$$

e

$$LA(L)_{bota} - LZA(LL)_{bota} \geq 100mm \quad (18)$$

O próximo passo é calcular os tempos de controle, primeiramente calcula-se os tempos no vaso e então na bota (onde ocorre a separação líquido pesado/leve). Não há um tempo ideal determinado que deva ser respeitado, em alguns casos é um requisito do cliente ou em função de limitações da instalação. Este procedimento deve ser feito conforme as equações abaixo:

$$t_{HH_H} = \frac{L_{vaso} \times A_{HH_H}}{Q_h + Q_l} \quad (19)$$

$$t_{H_L} = \frac{L_{vaso} \times A_{H_L}}{Q_h + Q_l} \quad (20)$$

$$t_{L_LL} = \frac{L_{vaso} \times A_{L_LL}}{Q_h + Q_l} \quad (21)$$

onde,

t_{HH_H} = tempo para o fluido (condensado) atingir o nível de alarme ($LZA(HH)$) a partir do nível de pré-alarme $LA(H)$ (s).

L_{vaso} = comprimento do vaso (m).

A_{HH_H} = Área da seção transversal do vaso entre os níveis $LZA(HH)$ e $LA(H)$ (m²).

Q_h = vazão do fluido líquido pesado (m³/s).

Q_l = vazão do fluido líquido leve (m³/s).

t_{H_L} = tempo para o fluido (condensado) atingir o nível de pré-alarme ($LA(H)$) a partir do nível mínimo de pré-alarme $LA(L)$ (s).

A_{H_L} = Área da seção transversal do vaso entre os níveis $LZA(H)$ e $LA(L)$ (m²).

t_{L_LL} = tempo para o fluido (condensado) atingir o nível de alarme ($LZA(LL)$) a partir do nível de pré-alarme $LA(L)$ (s).

A_{L_LL} = Área da seção transversal do vaso entre os níveis $LZA(LL)$ e $LA(L)$ (m²).

Agora deve-se calcular os mesmos tempos de controle, porém, para a interface dos líquidos pesado e leve (água e condensado). Esta separação ocorre na bota do vaso e deve ser calculada a partir das equações a seguir:

$$v_{h \text{ bota}} = \frac{4Q_h}{\pi D_{i \text{ bota}}^2} \quad (22)$$

$$t_{HH_H \text{ bota}} = \frac{LZA(HH)_{bota} - LA(H)_{bota}}{v_{h \text{ bota}}} \quad (23)$$

$$t_{H_L \text{ bota}} = \frac{LA(H)_{bota} - LA(L)_{bota}}{v_{h \text{ bota}}} \quad (24)$$

$$t_{L_LL \text{ bota}} = \frac{LA(L)_{bota} - LZA(LL)_{bota}}{v_{h \text{ bota}}} \quad (25)$$

O passo final é avaliar a velocidade de separação e a dimensão mínima das gotículas separadas. A velocidade axial da gotícula de líquido leve não deve ultrapassar 15 mm/s.

Quanto ao menor diâmetro separado, estes devem ser de pelo menos 120 μ m, para o caso de ser um separador direcionado a separação de massa.

$$v_{d,h} = \frac{Q_l}{A_{horizontal}} \quad (26)$$

$$v_{l,ax} = \frac{Q_h + Q_l}{A_l} \quad (27)$$

$$d_h = \sqrt{\frac{18\mu_l(v_{d,h} + 0,05v_{l,ax})}{g(\rho_h - \rho_l)}} \quad (28)$$

$$d_l = \sqrt{\frac{18\mu_h 1,05v_{h\ bot a})}{g(\rho_h - \rho_l)}} \quad (29)$$

onde,

$v_{d,h}$ = velocidade na área da superfície entre as fases (m/s).

$v_{l,ax}$ = velocidade axial da fase líquida no vaso (m/s).

d_h = menor diâmetro das gotículas do líquido pesado que serão separadas (m).

d_l = menor diâmetro das gotículas do líquido leve que serão separadas (m).

μ_l = viscosidade dinâmica do líquido leve (mPa.s).

μ_h = viscosidade dinâmica do líquido pesado (mPa.s).

g = aceleração da gravidade (m/s²).

3 EXEMPLOS DE CÁLCULO

3.1 DIMENSIONAMENTO DE UM VASO SEPARADOR BIFÁSICO

Utilizando como dados de entrada:

Vazão do fluido pesado: 0,002 m³/s.

Vazão do fluido leve: 0,01 m³/s.

Viscosidade cinemática do fluido pesado: 0,0013 Pa.s.

Viscosidade cinemática do fluido leve: 0,00065Pa.s.

Massa Específica do fluido pesado: 990 kg/m³.

Massa Específica do fluido leve: 736 kg/m³.

A princípio foi considerado um vaso de diâmetro 1,5m, relação L/D de 3,5 e dispositivo de entrada com diâmetro interno de 0,1556 mm (tubo de 6’’).

O procedimento de cálculo descrito no capítulo 2.1.1 foi realizado com a assistência do software Excel e os resultados dispostos na Tabela 5.

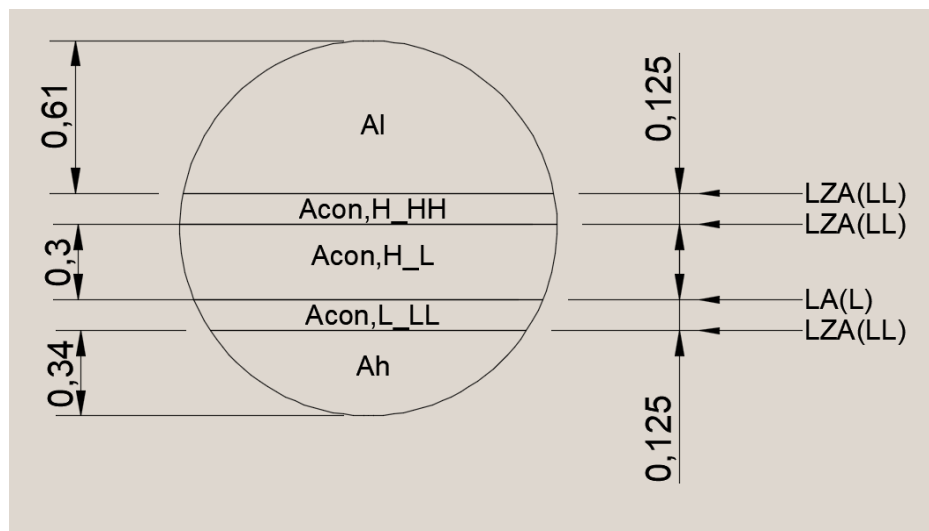
Tabela 5 - Resultados obtidos no processo de dimensionamento de um vaso separador.

	Posição I	Posição II	Posição III	Resolução final
LZA(LL) (m)	0.3	0.475	0.65	0.34
LZA(HH) (m)	0.85	1.025	1.2	0.89
A_l (m ²)	0.734	0.48	0.252	0.6748
A_h (m ²)	0.252	0.48	0.734	0.3007
V_l (m/s)	0.013623978	0.020833333	0.03968254	0.014819206
V_h (m/s)	0.007936508	0.004166667	0.002724796	0.006651147
L_{ef} (m)	4.5694	4.5694	4.5694	3.0694
V_{dh} (m/s)	0.001468773	0.001563194	0.001823726	0.002714971
V_{dl} (m/s)	0.000364745	0.000312639	0.000293755	0.000437311
d_h (μm)	93.59455831	91.20432991	95.93250997	119.6232172
d_l (μm)	99.10847731	112.7755287	146.2588419	105.1911452
A_{con,H_L} (m ²)	0.505	0.52	0.505	0.4395
$A_{con,H_{HH}}$ (m ²)	0.1496	0.143	0.1267	0.1863
$A_{con,L_{LL}}$ (m ²)	0.1267	0.143	0.1496	0.1658
V_{con,H_L} (m ³)	2.65125	2.73	2.65125	1.648125
$V_{con,H_{HH}}$ (m ³)	0.7854	0.75075	0.665175	0.698625
$V_{con,L_{LL}}$ (m ³)	0.665175	0.75075	0.7854	0.62175
t_{con,H_L} (s)	1325.625	1365	1325.625	824.0625
$t_{con,H_{HH}}$ (s)	392.7	375.375	332.5875	349.3125
$t_{con,L_{LL}}$ (s)	332.5875	375.375	392.7	310.875

Fonte: Produção do próprio autor

Foi marcado em vermelho os valores calculados que não eram aceitáveis. Em seguida, para melhorar o dimensionamento, foi alterada a relação L/D para 2,5 e as posições dos sinais de alarme rearranjadas conforme a Figura 18:

Figure 18 - Seção transversal do vaso final calculado.



Fonte: Produção do próprio autor

3.2 ANÁLISE DE UM VASO SEPARADOR TRIFÁSICO REAL

Neste capítulo será analisado, aplicando os métodos propostos pelo Manual Shell, um vaso separador trifásico utilizado no tratamento de um gás natural utilizado em uma termelétrica.

Os dados de entrada, fornecidos pelo cliente, estão dispostos na Tabela 6. O Fluido principal é o gás natural e a tubulação existente é de 8”:

Tabela 6 - Dados de processo fornecidos pelo cliente.

Vaso			
Di (40" sch 40)	996.940 mm	0.997 m	3.271 ft
Comprimento L	2840.000 mm	2.840 m	9.318 ft
Área transversal	780598.881 mm ²	0.781 m ²	8.402 ft ²
Di bocal de entrada (8")	202.740 mm	0.203 m	0.665 ft
Di bocal de saída gás (8")	202.740 mm	0.203 m	0.665 ft
Di bocal de saída líquido leve (2")	52.480 mm	0.052 m	0.172 ft
Di bocal de saída líquido pesado (2")	52.480 mm	0.052 m	0.172 ft
Bota			
Di	609.600 mm	0.610 m	2.000 ft
L	500.000 mm	0.500 m	1.640 ft
Massa Específica condensado	46.204 lb/ft ³	740.119 kg/m ³	
Massa Específica gás	0.473 lb/ft ³	7.577 kg/m ³	
Massa Específica água	61.936 lb/ft ³	992.122 kg/m ³	
Viscosidade água (Cp)	0.6513		
Viscosidade condensado (Cp)	1.30288		
Viscosidade gás (Cp)	0.01126		
Temperatura de operação (°C)	40		
Pressão Dimensionante (bar_a)	10.1		
Tempo de holdup (min)	10		
Tempo de surge (min)	5		
Vazão de condensado	21.3990 m ³ /dia	0.0149 m ³ /min	0.5248 ft ³ /min
Vazão de água	1.7220 m ³ /dia	0.0012 m ³ /min	0.0424 ft ³ /min
Vazão de gás	963.6100 m ³ /dia	0.6692 m ³ /min	23.6316 ft ³ /min
Vazão total	986.7310 m ³ /dia	0.6852 m ³ /min	24.1987 ft ³ /min
Limites de controle			
Vaso			
LZA(HH)	609.300 mm		
LA(H)	350.000 mm		
LA(L)	250.000 mm		
LZA(LL)	200.000 mm		
Bota			
LZA(HH)	400.000 mm		
LA(H)	300.000 mm		
LA(L)	200.000 mm		
LZA(LL)	100.000 mm		

Fonte: Produção do próprio autor

Utilizando-se o procedimento descrito em 2.1 e a assistência da ferramenta Excel, foi feita a análise do vaso existente. Os dados calculados e avaliados foram colocados na Tabela 7:

Tabela 7 - Dados calculados do vaso separador trifásico existente.

LZA(HH)/ Di vaso	≤ 0.8	0.388829819	OK
λ	≤ 0.07 m/s	0.001453064	OK
LZA(LL)/ Di vaso	≥ 0.2	0.200613878	OK
LZA(LL)/ Di l saída	≥ 1	3.81097561	OK
LZA(HH)bota - LA(H) bota	$\geq 0,1$ m	100.000 mm	OK
LA(L)bota - LZA(LL)bota	$\geq 0,1$ m	100.000 mm	OK
vh, bota		0.0041 m/min	
t _{HH_H}		24.407 min	Alto
t _{H_L}		24.407 min	Alto
t _{LL_L}		24.407 min	Alto
t _{HH_H}		6.404 min	
t _{H_L}		16.129 min	
t _{LL_L}		7.371 min	
V _{d, h}		0.109346 mm/s	
V _{l, ax}	≤ 15 mm/s	2.400619 mm/s	OK
dh		46.647229 μ m	OK
vh, bota		0.068287 mm/s	
dl		18.895184 μ m	OK
pmvm ²	≤ 2100 Pa	0.813254032	

Fonte: Produção do próprio autor

Todos os dados analisados foram aprovados. Os tempos de controle de 24 minutos são altos, porém isso não compromete o funcionamento do vaso. O fato de LZA(HH)/ Di vaso ser baixo, 38%, permite que o vaso ainda seja útil caso a relação gás-líquido do poço de extração se altere com o tempo.

4 CONCLUSÃO

Os vasos separadores são equipamentos utilizados para separar fases dispersas num fluido com uma certa limitação. Como foi descrito 1.3.3, é possível separar partículas maiores que 150 μm de maneira simples, apenas com a ação da gravidade. Para partículas menores, dependendo da dimensão, o equipamento já é considerado de separação eficiente, porém ainda pode utilizar a gravidade para separar gotículas de até 30 μm . No caso de menores dimensões, outros equipamentos devem ser utilizados, como filtros coalescedores.

Um item extremamente importante na indústria é o controle de nível no vaso. Para tanto, devem ser bem definidos os chamados níveis de controle. É através destes níveis que, no caso de um sistema automatizado, as válvulas e transmissores de nível se comunicarão e controlarão a regulação da vazão de saída e entrada no separador.

A metodologia desenvolvida, com base nas principais fontes: Manual da Shell (2008) e o Jornal Chemical Engineering Progress, foi colocada em prática, primeiramente no dimensionamento de um vaso separador bifásico.

Dentre os trabalhos avaliados, em nenhum caso foi encontrada uma metodologia de cálculos para dimensionamento de vasos separadores na qual houvesse uma interação entre os equipamentos internos instalados (dispositivos de entrada e saída) e a seção de separação por gravidade.

Foi dimensionado um vaso para separar gotículas de água e óleo de, pelo menos, 105.19 μm . Também foi avaliado um vaso separador trifásico real. Neste caso foi observado que os tempos de controle dos níveis da bota foram altos, isso não condena o vaso, porém indica um super dimensionamento nesta parte. A relação entre o nível para alarme de nível alto e o diâmetro ($LZA(HH)/D_i$) foi de 0,38. A única condição imposta era que fosse menor que 0,8. Porém, apesar de atender, nota-se que ficou abaixo da metade, indicando que as dimensões do vaso, possivelmente, poderiam ter sido diminuídas. Em geral o vaso passou em todos os requisitos impostos pela metodologia descrita no item 2.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Exploração e produção de óleo e gás**. Disponível em:
<<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas>> Acesso em: 20 maio 2018.
- AMERICAN PETROLEUM INDUSTRY. **Specification for Oil and Gas Separators**. 8. ed, Especificação API 12J, 2009.
- BOTHAMLEY, M. **Gas/Liquid Separators: Quantifying Separation Performance – Part 1**. Reino Unido, v. 2, n. 6, p 21-29, 2015
- CLARK Solutions. **Dispositivos de Entrada**. Disponível em:
<<https://www.clarksolutions.com.br/>> Acesso em: 23 jun. 2018.
- FREITAS, M. **Dimensionamento de vasos separadores de petróleo**. 2014. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- GAUTO, M. **Petróleo e gás: princípios de exploração, produção e refino**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman. 2016. 234 p.
- Key World Energy Statistics 2017**. International Energy Agency. Disponível em:
< <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>> Acesso em: 25 de maio de 2018.
- LYONS, W. C **Handbook of petroleum and natural gas engineering**. 2 Ed Houston: Elsevier, 1996. 1568 p.
- MOKHATAB, S. **Handbook of natural gas transmission and processing**. 4. ed, Canada: Gulf Professional Publishing, 2018. 862 p.
- MONNERY, W. D. Successfully Specify Three-Phase Separator. Revista: **Chemical engineering progress**, Nova York, v.89, n. 11, p 29-40, 1994.
- SHELL, G. S. I. **Liquid/Liquid and Gas/Liquid/Liquid Separator – Type Selection and Design Rules**. Manual de práticas de design e engenharia, Holanda: Shell Global Solutions International B.V. 2008
- SILVA, A. L. M. **Análise do Equilíbrio-Vapor e Dimensionamento de Vasos Separadores de Petróleo em Campo Maduros**. 2013. 46f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2013.
- SIVALLS, R. C. **Oil and gas separation manual**. Technical Bulletin nº 142. Odessa: Sivalls Inc. 2009.
- SVRCEC, W. D. Design Two-Phase Separators Within the Right Limits. Revista: **Chemical engineering progress**, Nova York, v.89, n. 11, p 53-60, 1993.