

3 Bomba multifásica

3.1 Bomba monofásica BCS (Bomba centrífuga submersa)

Segundo WYLEN (1998), as bombas são equipamentos utilizados para aumentar a pressão no fluido pela adição de trabalho (ou potência).

A história da bomba submarina inicia com o tipo BCS (bomba centrífuga submersa) utilizada para substituir o *gas lift*. Esta bomba possui vantagens em relação ao *gas lift*, pois permite maior vazão de produção, mais eficiência na elevação e em certos casos até melhora o escoamento através do calor gerado pela bomba.

A bomba BCS é do tipo centrífuga de múltiplos estágios. Cada um composto por um difusor e um impulsor. O impulsor é um componente rotativo que possui pás que transferem ao fluido a energia recebida de um motor, ou seja, acelera o escoamento. O escoamento estabelecido no impulsor é recebido pelo difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética do fluido em entalpia, com consequente ganho de pressão, em outras palavras, o difusor diminui a velocidade e aumenta a pressão do fluido, ou seja, possui um comportamento inverso a um bocal.

Um dos primeiros sistemas de produção submarina com bomba BCS ocorreu na plataforma de Carapeba em 1994. Este sistema BCS estava localizado a 1.900m abaixo do solo marinho, com 90m de lâmina d'água e bombeava através de 15km de linha desde o fundo do poço até a plataforma. A energia elétrica transmitida para o motor através de 615m de cabo elétrico era de 1.350V.

Um segundo exemplo ocorreu no Campo de Albacora em 1998 a uma profundidade de 1.109m (lâmina d'água) em um poço de 2.297m de profundidade. Este sistema bombeava 600m³/d através de 6.945m de linha e 740m de *riser*.

Um terceiro exemplo de sucesso ocorreu em 2001 no campo de Jubarte, com uma produção de 2.600m³/d a 3.500m³/d a 1.300m (lâmina d'água) e 1.600m de profundidade produzindo por 1.076m de linha horizontal.

O ponto negativo desse sistema tipo BCS seria sua confiabilidade inferior a sistemas como *gas lift*. A falha de um sistema desses pode causar a parada de

produção de um poço submarino, além do custo de intervenção ser elevado. A saída encontrada para reduzir estes custos foi o desenvolvimento da bomba submarina fora do poço produtor, ou seja, no leito do mar, neste caso, os custos de uma intervenção seriam menores.

Um exemplo desta aplicação se encontra na bomba BCS instalada no campo de Jubarte em 2006 localizado a uma profundidade de 1.350m (lâmina d'água) e a 7km do FPSO P-34 para onde escoar a produção. Este sistema é capaz de produzir até 4.500m³/d.

As desvantagens deste novo sistema no leito marinho são que o poço precisa ter energia suficiente para chegar até o leito marinho onde se encontra a bomba e a maior concentração de gás livre nesta condição. É neste cenário que a bomba multifásica se torna importante.

3.2

Bomba multifásica

CAETANO (2010) faz um breve relato sobre o funcionamento das bombas multifásicas e o estado da arte desta tecnologia.

Segundo sua definição, a bomba multifásica é um equipamento que transfere energia diretamente para uma mistura multifásica (óleo, gás e água), permitindo o seu transporte a maiores distâncias e/ou com uma maior vazão volumétrica.

Hoje em dia a bomba multifásica pode manipular misturas de até 95% de gás livre na entrada do equipamento. Por alguns instantes pode até chegar a 100% de gás livre, devido a um sistema de recirculação do líquido que impede que o equipamento fique “seco” (sem líquido) durante uma golfada de gás por exemplo.

As bombas podem ser classificadas como rotodinâmicas ou volumétricas.

3.3

Bomba rotodinâmica

A bomba mais comum do tipo rotodinâmica é a bomba hélico-axial. A bomba rotodinâmica possui múltiplos estágios que comprimem a mistura através de sua aceleração. A bomba BCS descrita acima é um exemplo de uma bomba rotodinâmica. A bomba inicialmente acelera o fluido para depois transformar esta energia cinética em aumento de pressão. Cada estágio possui um impulsor e um difusor. O impulsor é preso a um eixo e gira a uma determinada velocidade.

Deste jeito, transfere-se energia ao fluido sob forma de energia cinética. O difusor que permanece estacionário redireciona o fluido do impulsor localizado imediatamente abaixo para o imediatamente acima, reduzindo sua energia cinética e transformando em pressão. Cada estágio fornece um incremento de pressão ao fluido.

A geometria do impulsor e do difusor determina a vazão da bomba, enquanto o número de estágios determina o diferencial de pressão.

É possível comprimir uma mistura com maior fração de gás na bomba multifásica devido ao aumento da velocidade de rotação deste tipo de bomba. Chega-se a bombear uma mistura multifásica do tipo rotodinâmica com até 75% de volume de gás.

O maior fabricante atual deste tipo de bomba é a empresa FRAMO Enginnering. A

Tabela 3-1 abaixo ilustra a capacidade de alguns modelos hoje encontrados no mercado ou em fabricação. Esta tabela foi retirada dos dados de CAETANO (2010) e ALBAUGH (2009).

Tabela 3-1- Dados de operação de bombas rotodinâmicas atuais

Campo	Ano Iniciação	Capacidade total (m ³ /h)	Volume de gás (%)	ΔP (bar)	Potência (kW)
Draugen (Noruega)	95	193	42	53	750
Topacio (Guinea Equatorial)	2000	940	75	35	860
CEIBA (Honduras)	2002	300	75	35	480
Etap-Machar (Mar do Norte)	2003	555	64	22	560
CEIBA (Honduras)	2003	300	75	40	550
Lennox (Mar da Irlanda)	2003	500	65	30	690
Ptarmigan (Mar do Norte)	2010	800	75	19	1100

Entre as desvantagens da bomba rotodinâmica estão o alto custo, a baixa capacidade de volume de gás quando comparado com a bomba volumétrica (75%), a limitação do aumento de pressão em 40bar e a alta velocidade de rotação necessária para o conjunto (5.000rpm). A Figura 3-1 ilustra uma bomba tipo hélico-axial da fabricante FRAMO (ALBAUGH, 2009). A Figura 3-2 foi retirada de CAETANO (2010).



Figura 3-1: Ilustração externa de uma bomba tipo hélico axial (Fabricante FRAMO)



Figura 3-2: Ilustração interna de uma bomba tipo hélico axial

3.4 Bomba volumétrica

A bomba volumétrica mais comum é do tipo duplo parafuso. Neste sistema dois parafusos são sincronizados por uma engrenagem que permite girarem em contra rotação, sem se tocar, onde o fluido é deslocado pelo movimento helicoidal dos parafusos. Essa geometria cria câmaras entre os passos dos parafusos próximas a estanqueidade. Entre a parede interna da bomba e o topo dos parafusos, um fino filme de líquido garante a selagem entre as câmaras.

Este filme flui da descarga para a sucção e invade as câmaras e provoca a compressão das parcelas de gás existentes nessas câmaras. Para garantir este filme líquido deve-se manter a fração máxima de gás em 95%. Os fabricantes mais conhecidos são a empresa Bornemam Pumpen e Leistritz Pumpen.

As bombas volumétricas transmitem energia ao fluido sob a forma exclusiva de pressão, ou seja, a pressão aumenta sem alterar significativamente a velocidade.

Em comparação com as bombas rotodinâmicas, estas bombas conseguem um maior diferencial e pressão, porém com uma capacidade volumétrica menor, devido à menor rotação (1.800rpm). Estes modelos costumam ser equipamentos maiores e mais pesados e menos adequados para utilização submarina. Portanto, foram inicialmente mais utilizados em campos terrestres e em plataformas. Porém são também utilizados como bombas submarinas devido à maior capacidade de incremento de pressão.

Estas bombas chegam a operar com até 95% de volume de gás e 60bar de incremento de pressão. Porém 70% destas bombas operam com capacidade de até 600m³/h e incremento de pressão de 40bar.

Um dos primeiros modelos de sucesso utilizado em uma plataforma no Brasil foi instalado em 1999 no campo de Moréia com uma capacidade de 400m³/h e aumento de pressão de 40bar, fração máxima de gás de 95% e potência de 700kW.

O primeiro modelo submarino no Brasil batizado de SBMS-500 foi utilizado pela Petrobras no campo de Marlim e tem capacidade de 500m³/h e incremento de pressão de 60bar. A Figura 3-3 ilustra uma bomba do tipo duplo parafuso retirada de ALBAUGH (2009). A

Tabela 3-2 resume alguns valores da bomba multifásica tipo volumétrica.

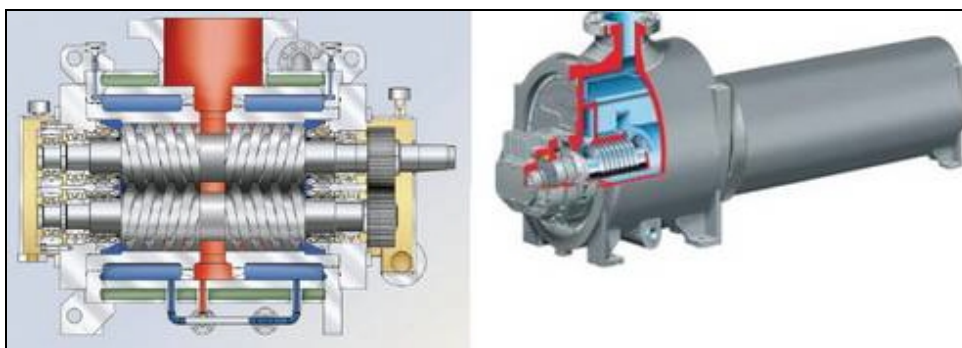


Figura 3-3: Ilustração de uma bomba tipo duplo-parafuso (Fabricante Leistritz)

Tabela 3-2-Dados de operação de bombas volumétricas atuais

Bomba	Ano iniciação	Capacidade total (m ³ /h)	Volume de gás (%)	ΔP (bar)	Potência (kW)
Preciozo (Itália)	94	65	90	40	150
Lyell (Mar do Norte)	2006	1100	70	18	650
King (Golfo do México)	2007	497	95	50	1300
Marlim (Bacia de Campos)	2009	500	100	60	1200

3.5

Dimensionamento de um sistema multifásico

Teoricamente o sistema de bombeamento submarino pode ser instalado em qualquer posição entre a árvore de natal (cabeça do poço) e a base do *riser* (duto vertical para subida até a plataforma).

A instalação da bomba multifásica perto da cabeça de poço permite uma maior pressão de sucção. A consequência disso será uma menor vazão volumétrica o que aumenta o tempo de produção, ou seja, retarda-se o abandono do campo. Além disso, a capacidade requerida para a bomba será menor, pois em pressões elevadas tem-se menor presença de gás livre. A grande desvantagem da instalação desta bomba perto da cabeça do poço é o maior custo de manutenção, pois a bomba ficará longe da unidade de reparo, e o maior custo de cabos de potência e umbilicais de controle, que deverão ser mais longos.

No dimensionamento de uma bomba multifásica o parâmetro a ser determinado é a sua capacidade. Os dados restantes serão consequência desta capacidade. O consumo de energia é um limitante da capacidade da bomba. Ao aumentar a vazão na bomba, a pressão de sucção é reduzida, o volume de gás

aumenta e o custo da energia também é aumentado. Portanto, o impacto econômico deve ser considerado.

O primeiro passo no dimensionamento é a localização da bomba. O segundo passo é determinar a curva de pressão disponível na sucção da bomba. A curva disponível é determinada variando valores de pressão na sucção e determinando a vazão de equilíbrio de óleo na entrada da bomba. Isso através do uso dos simuladores computacionais.

O terceiro passo seria determinar a pressão requerida na bomba. As condições de pressão, temperatura e vazão no ponto de chegada devem ser determinadas e assim as condições requeridas na descarga da bomba podem ser calculadas.

Neste trabalho o intuito não é dimensionar uma bomba. Portanto, será feita uma análise de sensibilidade da pressão disponível e será verificado as condições de operações necessárias para atingir a pressão mínima de 10 kgf/cm² no ponto de destino. O diferencial de pressão será limitado diante dos modelos atuais encontrados no mercado e assim a pressão requerida não precisará ser calculada. Os demais critérios limitantes da bomba, tais como, potência limitante e vazão, estão descritos no capítulo 7.