

5 Modelagem do gasoduto Bolívia - Brasil

O modelo do gasoduto consiste no conjunto de informações relacionadas com todos os seus componentes que influem no escoamento do gás desde os pontos de suprimento até o mercado consumidor.

O modelo termo-hidráulico da malha do Gasbol inclui as seguintes informações:

- equação de estado para cálculo das propriedades físicas da corrente de gás natural
- cálculo da transferência de calor entre o duto e o solo
- temperaturas do solo ao longo da rota
- temperatura atmosférica no local das estações de compressão
- caracterização das curvas de desempenho de compressores e acionadores
- configuração dos dutos, arranjos de equipamentos das estações de compressão, válvulas de bloqueio, válvulas de controle, trocadores de calor e outros dispositivos
- pontos de recebimento e pontos de entrega de gás
- inclusão do perfil de elevação do solo ao longo da faixa de servidão dos gasodutos
- perfis de demanda de gás
- outros dados complementares

5.1 Malha de gasodutos do gasoduto Bolívia - Brasil

A malha de gasodutos de transporte de gás do Gasbol é a mais importante infra-estrutura de gasodutos do Brasil desde sua implantação. No lado brasileiro, desde a fronteira do Brasil com a Bolívia até a cidade de Campinas (SP) e daquele ponto bifurcando-se ao sul até Canoas, Porto Alegre (RS) e ao leste até

Guararema (SP), atravessa 5 estados e 137 municípios, disponibilizando o gás natural para uso automotivo, industrial e termelétrico.

5.2 Gasoduto

O projeto de um gasoduto inicia-se com a descoberta de gás natural num determinado reservatório localizado geograficamente numa dada região. É identificado o mercado alvo principal e outros mercados intermediários ao longo da rota do gasoduto onde serão instalados pontos de entrega de gás. Esses mercados intermediários também podem influir na definição da rota do gasoduto.. As descobertas geralmente estão localizadas em regiões *offshore* ou em locais ermos, distantes dos centros de consumo.

A ligação natural entre reservatório de gás e mercado alvo, por meio do gasoduto, deveria ser idealmente uma reta, mas devido a restrições ambientais (parques, reservas florestais, terras indígenas, sítios arqueológicos, etc.), restrições geográficas (elevação do terreno, solo rochoso, áreas inundáveis, etc.), características de construção e montagem (logística de acesso, cruzamento de rios, área populacionais, etc.) e mercados consumidores de gás ao longo da rota do gasoduto, observa-se um acentuado desvio do traçado ideal retilíneo.

O traçado adotado para o Gasbol, após consideração de todas as áreas de restrição, é ilustrado na figura 5 e sua representação esquemática é apresentada na figura 7.

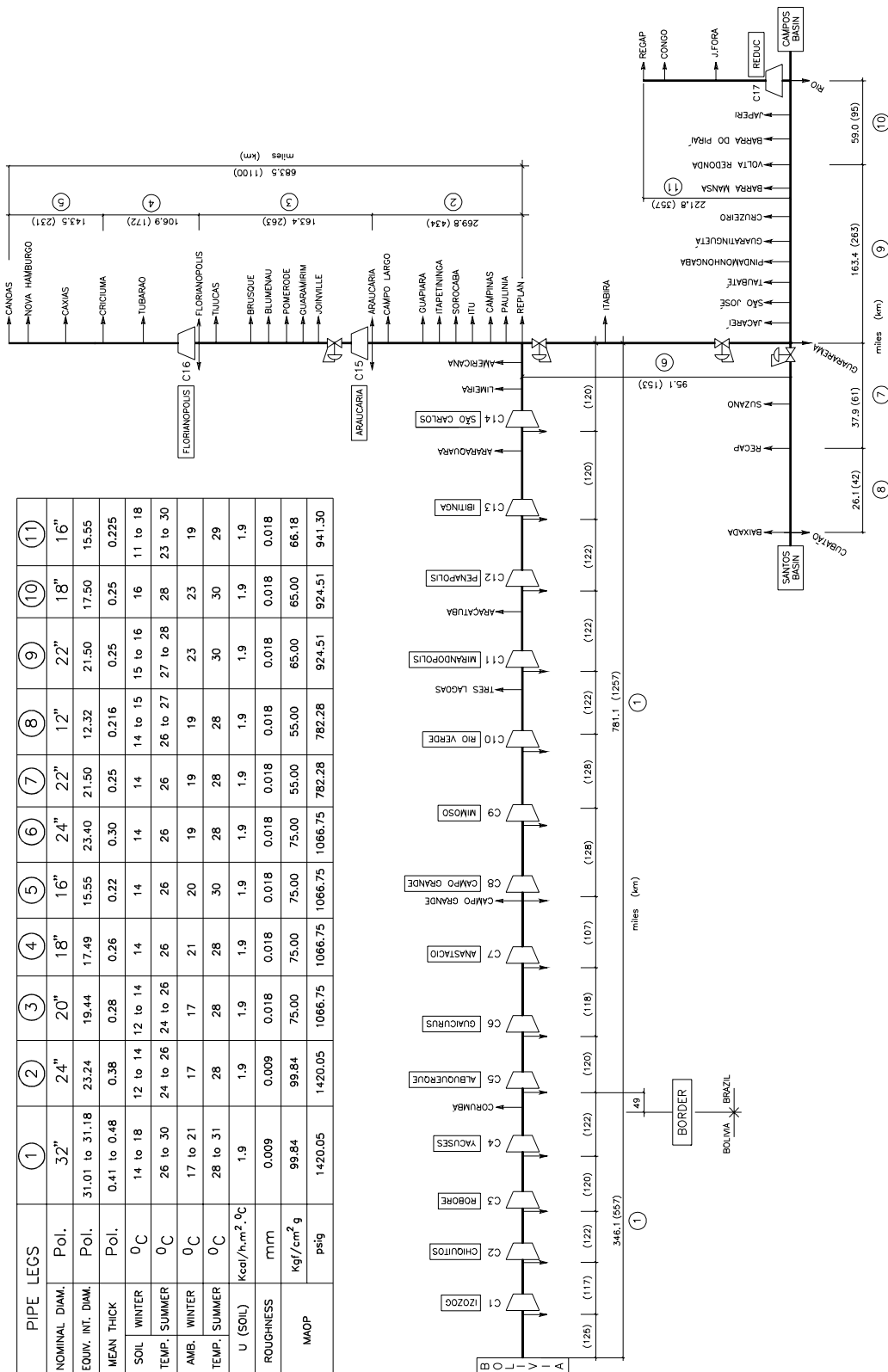


Figura 7 - Diagrama Esquemático do Gasol e Interligação com Malha de Gasodutos da Petrobras

Em função da geografia da região e das restrições ambientais e de construção e montagem, o traçado final do gasoduto contém um perfil de elevação

que também é incorporado ao modelo termohidráulico, pois tem influência na variação da pressão do gás (reduzindo ou aumentando a pressão) ao longo de sua extensão. A figura 8 apresenta o perfil de elevação do Gasbol ao longo de toda a sua extensão.

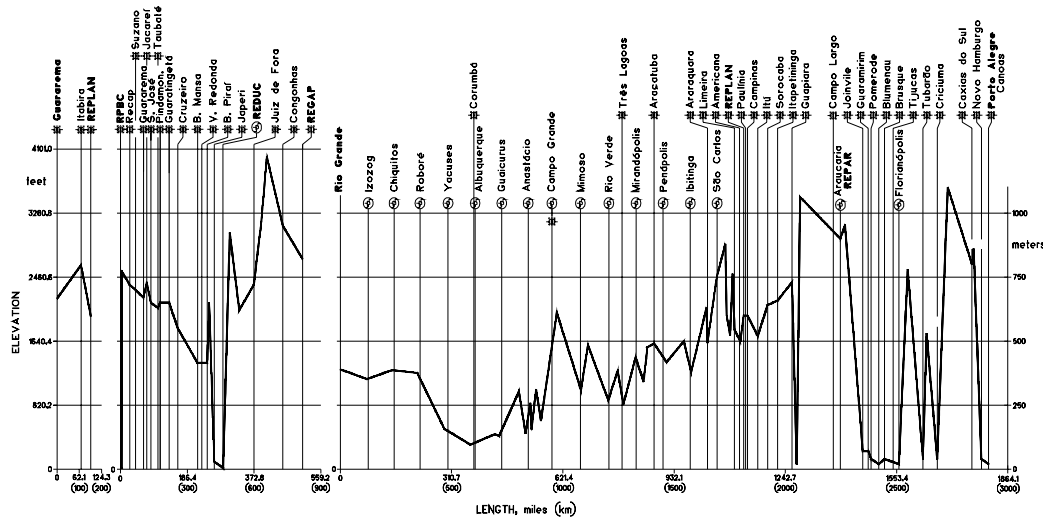


Figura 8 - Perfil de Elevação do Gasbol ao Longo do Traçado

No caso do Gasbol o gasoduto tem as seguintes características:

- Trecho Norte

Densidade do gás natural	0.635
Diâmetro:	DN 32"
Extensão lado boliviano:	557 km
Extensão lado brasileiro:	1264 km
Código de Projeto:	ANSI B31.8
Pressão Máx. Adm. de Operação – MAOP:	99.84 kgf/cm ² g.
Material do Tubo:	API 5L X70
Rugosidade Interna do Tubo (pintura de epoxy):	0.009 mm (350 μ inches)
Pressão de Entrada do Gasoduto:	99.84 kgf/cm ² g.
Pressão Mínima de Entrega do Gás:	35 kgf/cm ² g.
Coefficiente Global de Troca Térmica do Gasoduto:	1.9 Kcal/h.m ² .C
Temperatura do Solo:	14 a 30 C
Profundidade Enterrada:	1 m

- Trecho Sul

Diâmetro:	DN 24, 20, 18, 16"
Extensão total:	1190 km

Código de Projeto:	ANSI B31.8
Pressão Máx. Adm. de Operação – MAOP:	99.84 e 75 kgf/cm ² g.
Material do Tubo:	API 5L X70, X65
Rugosidade Interna do Tubo (pintura de epoxy):	0.009 mm (DN 24") 0.018 mm (DN 20, 18, 16")
Pressão Mínima de Entrega do Gás:	35 kgf/cm ² g.
Coeficiente Global de Troca Térmica do Gasoduto:	1.9 Kcal/h.m ² .C
Temperatura do Solo:	12 a 26 C
Profundidade Enterrada:	1 m
• Trecho de Interligação	
Diâmetro:	DN 24"
Extensão:	153 km
Código de Projeto:	ANSI B31.8
Pressão Máx. Adm. de Operação – MAOP:	75 kgf/cm ² g.
Material do Tubo:	API 5L X65
Rugosidade Interna do Tubo (pintura de epoxy):	0.018 mm
Pressão Mínima de Entrega do Gás:	35 kgf/cm ² g.
Coeficiente Global de Troca Térmica do Gasoduto:	1.9 Kcal/h.m ² .C
Temperatura do Solo:	14 a 26 C
Profundidade Enterrada:	1 m

5.3 Estação de compressão

Segundo Mokhatab et al. (2007), uma a estação de compressão é o principal componente de um sistema de transporte de gás natural. A figura 9 ilustra uma estação de compressão típica. Um dado sistema pode ter desde algumas poucas estações de compressão até mais que 50. Essas estações adicionam energia suficiente ao gás para recompor as perdas de pressão, decorrente do escoamento do gás ao longo da extensão do gasoduto, devido à fricção entre o gás e a parede interna do gasoduto, além de manter as pressões e as vazões requeridas de entrega de gás.



Figura 9 - Estação de Compressão Típica do Gasbol

O projeto de estação de compressão tem atraído atenção porque desempenha um papel fundamental na viabilidade econômica de projetos de gasodutos. A figura 10 apresenta alguns dos principais componentes de uma estação de compressão: compressores de gás (centrífugos ou alternativos), acionadores (turbina, motor elétrico ou motor a gás), filtros, resfriador de descarga de gás, válvulas e tubulação, sistema de controle e automação. O gás natural, ao ser transportado ao longo da extensão do gasoduto, tem sua pressão reduzida devido a perdas decorrentes do atrito de suas moléculas com a superfície interna do duto e, ao chegar às estações de compressão, é filtrado através de um filtro separador (*scrubber*) e re-comprimido pelos compressores centrífugos da estação a uma pressão de operação controlada. Passa por um resfriador (*aftercooler*) para manter sua temperatura abaixo de cerca de 50 graus Celsius. A estação possui um sistema de proteção mecânica dos compressores centrífugos (*Anti-Surge System*) para garantir operação segura acima da vazão mínima permitida.

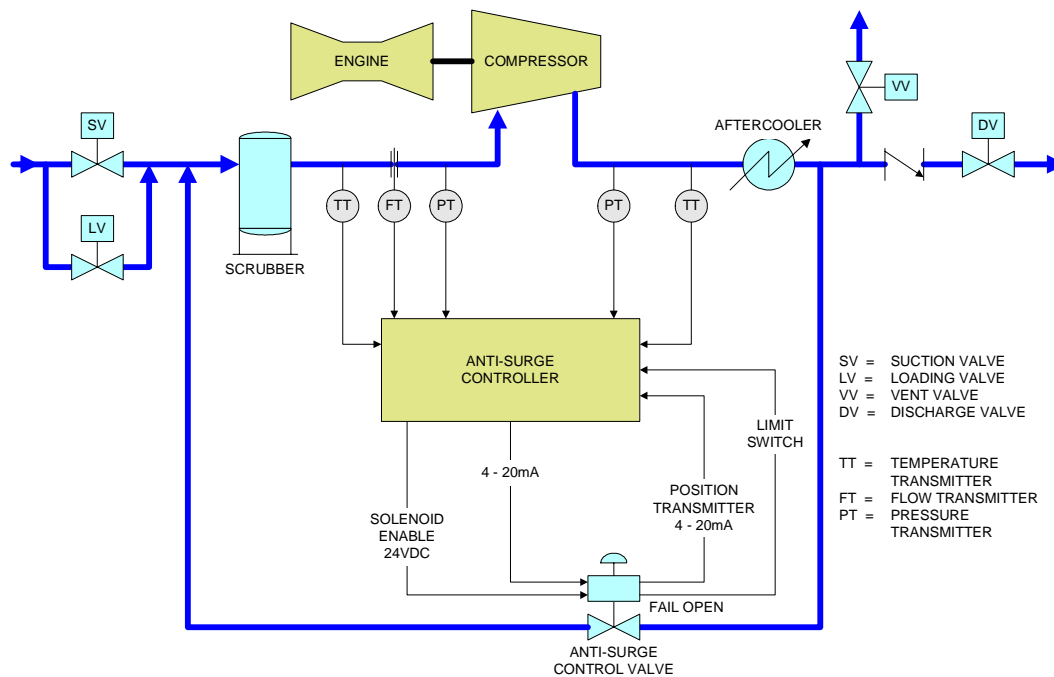


Figura 10 - Diagrama de Processo e Instrumentação Típico de Uma Estação de Compressão

Para o projeto das estações de compressão do Gasbol adotou-se as seguintes premissas técnicas:

Relação de Compressão:	1.4
Perda de Carga na Sucção e Descarga:	0.35 kgf/cm ²
Perda de Carga do Resfriador de Gás:	0.35 kgf/cm ²
Temperatura de Descarga do Resfriador de Gás:	52.6 C
Elevação:	105 metros
Temperatura Média Ambiente:	28 C
Equação do Fator de Fricção:	Colebrook

5.3.1

Mapas de desempenho dos compressores e turbinas a gás

Para que o modelo de simulação termohidráulico possa retratar o sistema de transporte por gasodutos da forma mais próxima do real é necessário incorporar ao modelo as informações do mapa de desempenho termodinâmico dos compressores e dos acionadores dos compressores.

No caso do Gasbol, trecho norte, foi utilizado compressores centrífugos acionados por turbinas a gás. Já no trecho sul foi utilizado compressores alternativos acionados por motores a gás.

As figuras 11 e 12 apresentam, a título de exemplo, os mapas de desempenho dos compressores centrífugos e das turbinas a gás instalados na maioria das estações de compressão, com potência nominal de cerca de 15000 hp. No caso dos compressores centrífugos o mapa apresenta no eixo x as vazões de gás, em m³/h, na condição de temperatura e pressão observadas na sucção do compressor; no eixo y observa-se a energia por unidade de massa (Head Isentrópico) em Joules/kgm. As curvas concêntricas representam os diferentes níveis de rotação que o compressor pode operar. As linhas curvas divergentes da origem representam os níveis de eficiência de compressão. No caso da turbinas a gás o mapa (figura 12) apresenta no eixo x os níveis de rotação da turbina enquanto que o eixo y da esquerda apresenta a potência, em HP. As curvas concêntricas apresentam a curva ótima da potência à uma dada temperatura ambiente plotada no eixo y do lado esquerdo do gráfico. As curvas tracejadas representam o consumo de combustível, em BTU/HP em função da rotação, potência e temperatura ambiente.

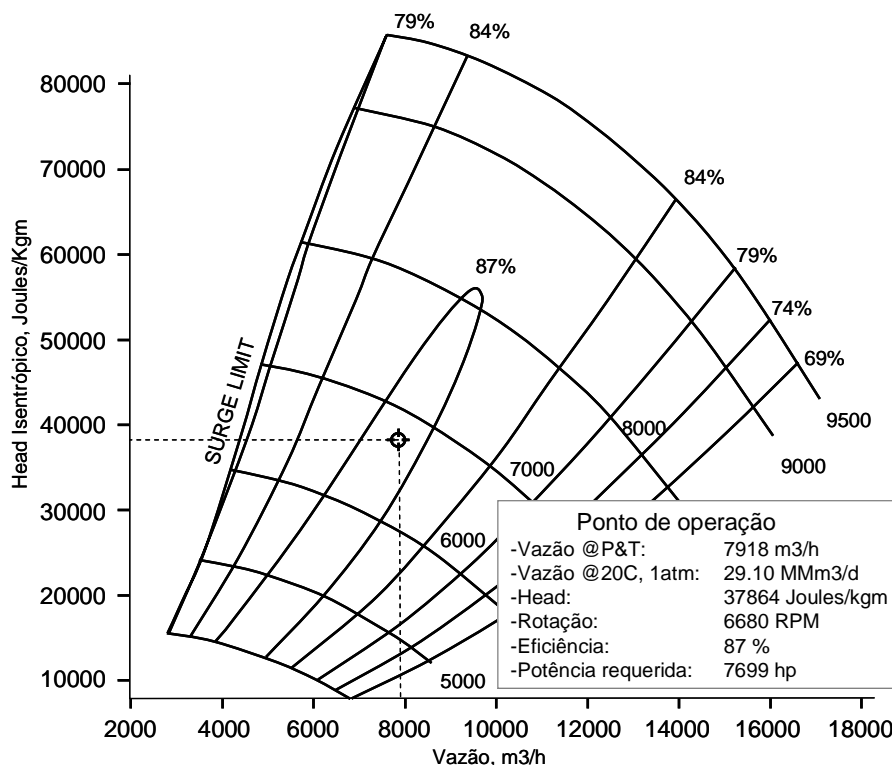


Figura 11 -- Mapa Típico de Desempenho de Um Compressor Centrífugo

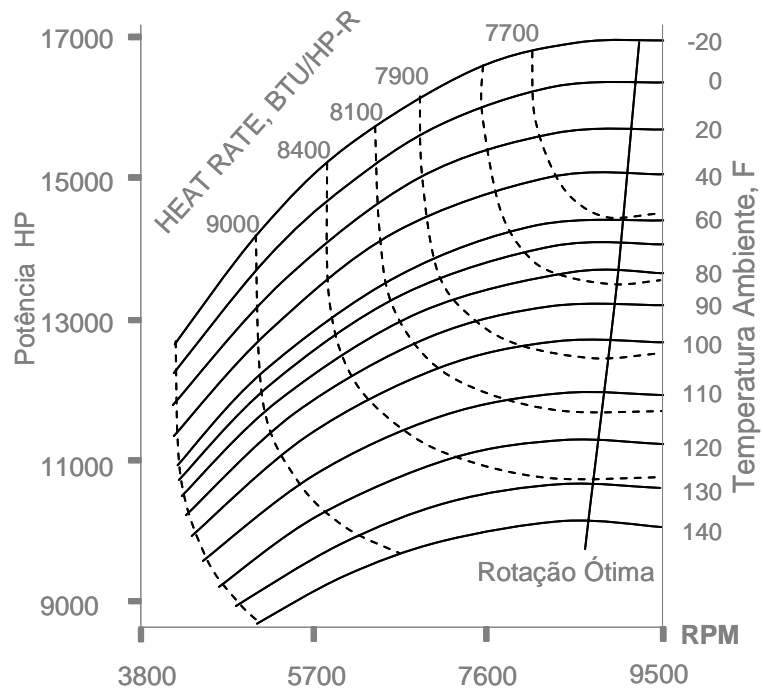


Figura 12 - Mapa Típico de Desempenho de Uma Turbina a Gás