

1 INTRODUÇÃO

O início e a sustentação do processo de busca com crescente afirmação do petróleo na sociedade moderna iniciam-se a partir de 1859, quando foi iniciada a exploração comercial nos Estados Unidos, logo após a célebre descoberta do Cel. Drake, em Tittusville, Pensilvânia, com um poço de apenas 21 metros de profundidade perfurando com um sistema de percussão movido a vapor, que produzia 2m³/dia de óleo. Descobriu-se que a destilação do petróleo resultava em produtos que substituíam, com grande margem de lucro, o querosene obtido a partir do carvão e o óleo de baleia, que eram largamente utilizados para iluminação. Estes fatos marcaram o início da era do petróleo. Posteriormente, com a invenção dos motores a gasolina e a diesel, estes derivados até então desprezados adicionaram lucros expressivos à atividade.

Com passar dos anos e a descobertas de várias técnicas que possibilitam a exploração do petróleo em profundidades ainda maiores iniciou-se uma intensa atividade exploratória e começam as incursões no mar desenvolvendo-se grande variedade de estruturas marítimas, incluindo navios, para porta os equipamentos de perfuração. Atualmente, algumas destas unidades de perfuração operam em lâminas d'água maiores que 2000 metros.

Para entendermos o funcionamento das atividades de Perfuração ou Produção é necessário saber, através de que tipo de energia é possível viabilizar toda essa operação. O intuito desse trabalho é explicar qual é o tipo de fonte energética utilizada para alavancar todas as etapas da operação, seja nas unidades de perfuração ou em unidades de produção.

Gostaria de inicialmente definir o que significa a palavra energia, que seria a faculdade que possui um sistema de corpos para fornecer trabalho mecânico ou seu equivalente, ou seja, força, potência e energia elétrica.

Em especial, essa definição é bem apropriada para o assunto no qual queremos tratar. As unidades de Perfuração e Completação de poços, os FPSO's e as Jack-up podem ser consideradas como indústrias em alto mar. Não diferente de qualquer indústria em terra firme é necessário que haja algum tipo de energia que seja capaz de impulsionar as suas atividades operacionais.

A energia elétrica é a nossa principal fonte de energia ela é capaz de se transformar em várias outras formas de energia seja de forma direta ou indireta. Contudo, como gerar energia nesse setor de atividade Petrolífera? Como podemos reduzir os custos dessa fonte energética? Como reduzir os riscos ao meio ambiente que essa produção de energia pode causar? Essas questões serão todas discutidas ao longo do trabalho.

2 SISTEMA DE GERAÇÃO COM MOTORES DIESEL

Nas sondas de perfuração utilizamos para gerar energia elétrica os Diesel- Geradores. Esse equipamento nada mais é que um motor de combustão interna acoplado ao um gerador. Os motores de combustão interna eles podem utilizar diesel como combustível e podendo ser de dois tempos ou quatro tempos, conforme o projeto da unidade de perfuração. Os motores transmitem sua potência mecânica para os geradores que geram energia elétrica.

Nas sondas de produção por uma questão de economia normalmente são utilizados turbo-geradores, esse equipamento pode utilizar diesel ou gás. Semelhante aos diesel-geradores a energia mecânica é transmitida para os geradores assim gerando energia elétrica, quando o poço está em processo de produção de gás o mais comum e a utilização desse gás proveniente do poço.

O conjunto de equipamentos utilizados para gerar e transmitir a energia necessária para a operação da sonda tem o objetivo de manter os equipamentos energizados durante a operação de perfuração.

Este sistema é responsável pelo suprimento de toda energia consumida na sonda: guincho, bombas de lama, mesa rotativa, iluminação, etc.. A evolução desse sistema, dentro do contexto de sondas rotativas, foi de puramente mecânico ao atual diesel-elétrico.

Quando pensamos em unidades de perfuração, atualmente existem as unidades fixas e unidades móveis, ambas são energizadas da mesma forma, porém a demanda de energia nas unidades móveis é muito maior. Nos dias atuais devido o avanço da tecnologia e as novas descobertas no mundo do petróleo a grande maioria das sondas construídas no mundo possuem a capacidade de navegar com a sua própria propulsão o que automaticamente aumenta o seu consumo de energia, além da necessidade de perfurar em áreas de águas ultra-profundas exigindo assim equipamento de perfuração com maiores potência, logo um aumento no consumo de energia.

2.1 Diesel geradores

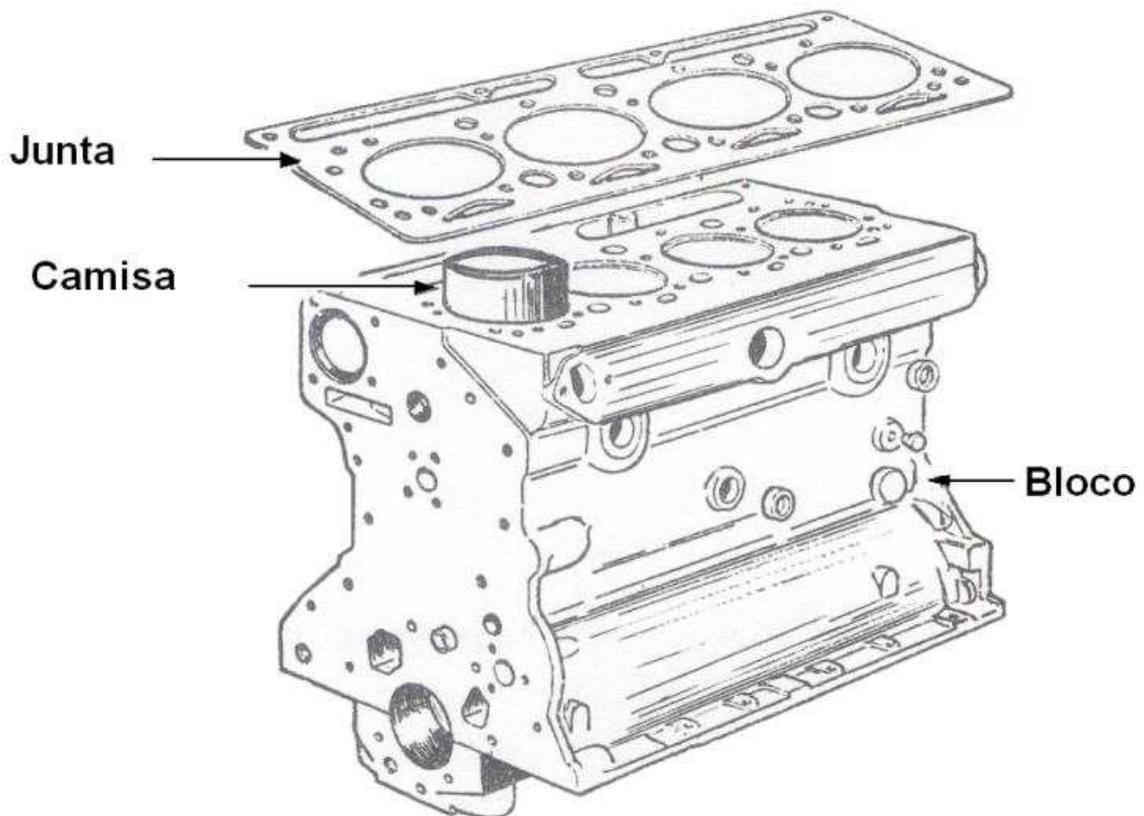
Os diesel geradores são equipamentos muito encontrados em praticamente todas as sondas de perfuração sejam elas fixas ou móveis. Esses equipamentos normalmente tem como o seu principal combustível óleo diesel, por essa razão vamos nos aprofundar um pouco mais no ciclo diesel, pois esse ciclo nos mostrara todo processo termodinâmico que ocorre durante a queima do combustível. A explosão do combustível injetado sob pressão na câmara de combustão ocorre pela compressão de ar e conseqüente elevação da temperatura. O Motor é uma máquina que converte energia térmica em energia mecânica e esse trabalho pode ser transmitido para um gerador fazendo assim que seja produzida energia elétrica

Para melhor entendimento vamos detalhar de que mecanismos são constituídos um motor de combustão interna; ele é formado basicamente por pistão, biela e virabrequim e é isso que transforma a energia térmica (calorífica) em energia mecânica. O movimento alternativo (vai e vem) do pistão dentro do cilindro é transformado em movimento rotativo através da biela e do virabrequim.

2.2 Partes componentes do motor de combustão interna

a) Bloco: é a maior parte do motor e sustenta todas as outras partes. Nele estão contidos os cilindros, que podem ser dispostos em linha ou em "V". São normalmente construídos de ferro fundido, mas a este podem ser adicionados outros elementos para melhorar suas propriedades. Alguns blocos possuem tubos removíveis que formam as paredes dos cilindros, chamadas de "camisas". Estas camisas podem ser "úmidas" ou "secas", conforme entrem ou não em contato com a água de refrigeração do motor.

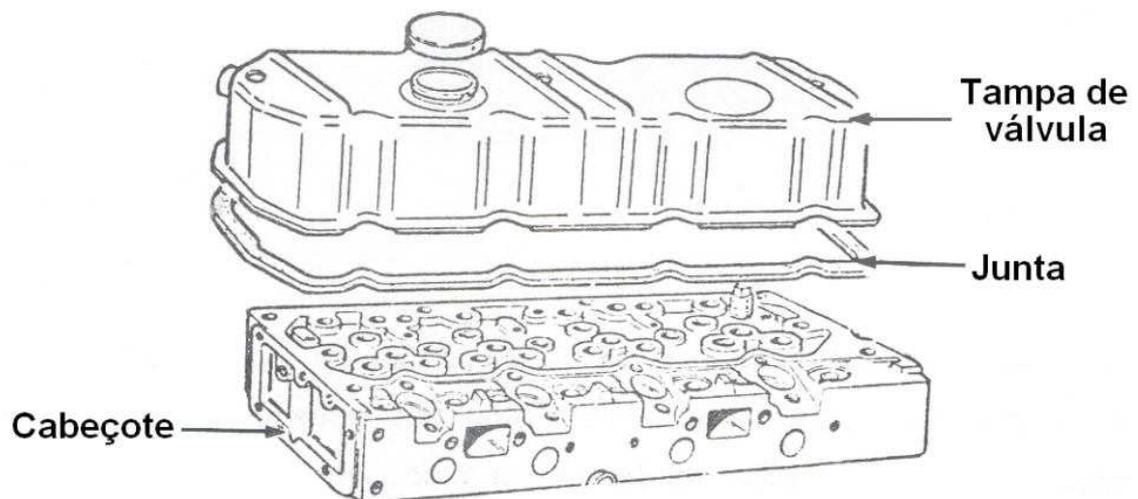
Figura1- Bloco



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

b) Cabeçote: este componente fecha o bloco na sua parte superior, sendo que a união é feita por parafusos. Normalmente, é fabricado com o mesmo material do bloco. Entre o bloco e o cabeçote existe uma junta de vedação.

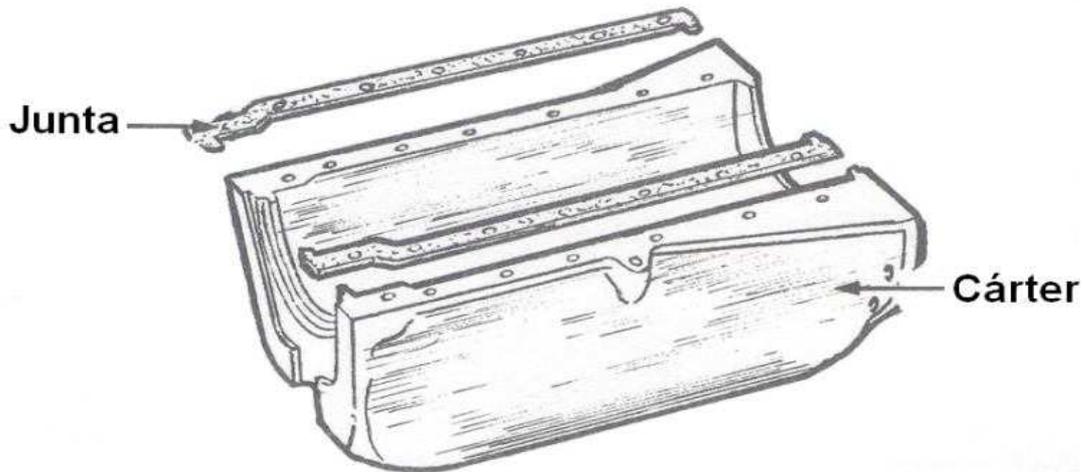
Figura 2 – Cabeçote



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

c) **Cárter:** o cárter fecha o bloco na sua parte inferior e serve de depósito para o óleo lubrificante do motor. Normalmente, é fabricado de aço carbono por intermédio do processo de fabricação mecânica de corte e repuxo.

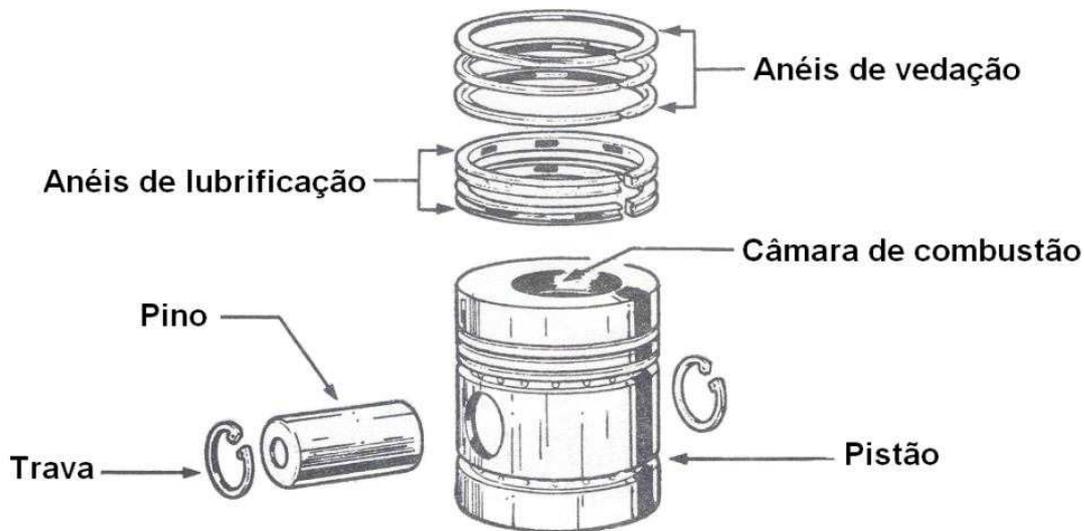
Figura 3 - Cárter



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

d) **Pistão (êmbolo):** é a parte do motor que recebe o movimento de expansão dos gases. Normalmente, é feito de ligas de alumínio e tem um formato aproximadamente cilíndrico. No pistão encontram-se dois tipos de anéis: anéis de vedação – estão mais próximos da parte superior(cabeça) do pistão; anéis de lubrificação – estão localizados na parte inferior do pistão e têm a finalidade de lubrificar as paredes do cilindro. O pistão liga-se à biela através de um pino. O pino é normalmente fabricado de aço cementado.

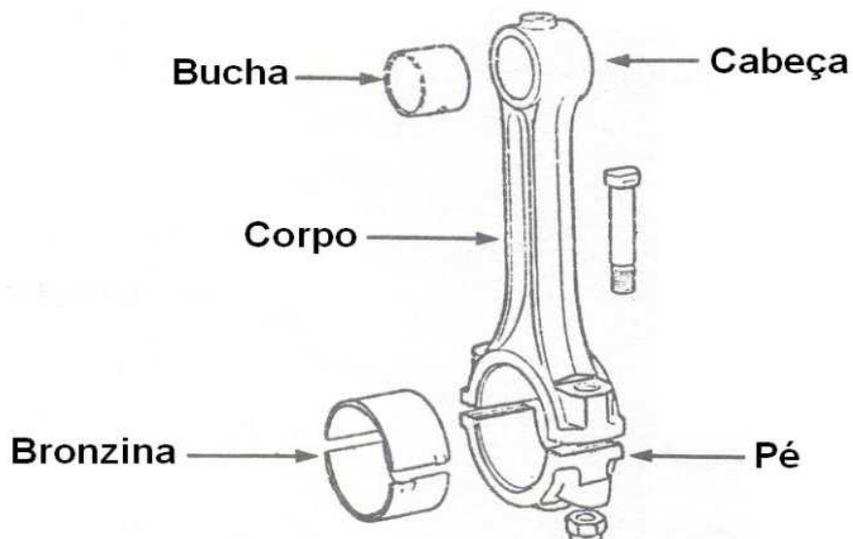
Figura 4 - Pistão



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

e) Biela: é a parte do motor que liga o pistão ao virabrequim. É fabricado de aço forjado e divide-se em três partes: cabeça, corpo e pé. A cabeça é presa ao pistão pelo pino e o pé está ligado ao virabrequim através de um material antifricção, chamado casquilho ou bronzina.

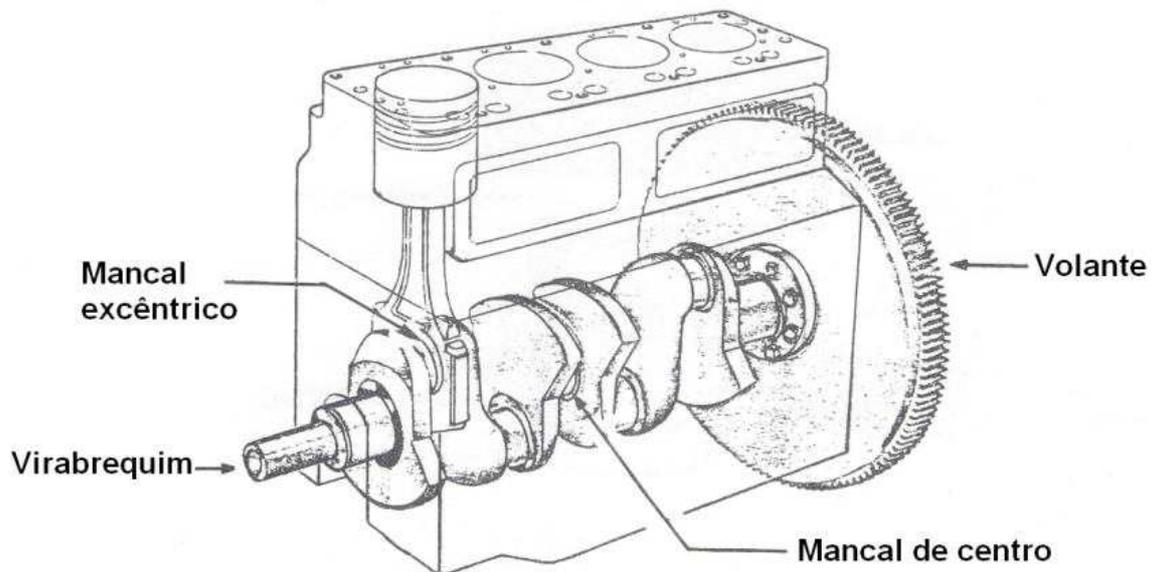
Figura 5 - Biela



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

f) **Virabrequim:** é também chamado de árvore de manivelas. É fabricado em aço forjado ou fundido. Possui mancais de dois tipos: excêntricos – estão ligados aos pés das bielas; de centro – sustentam o virabrequim ao bloco.

Figura - 6



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

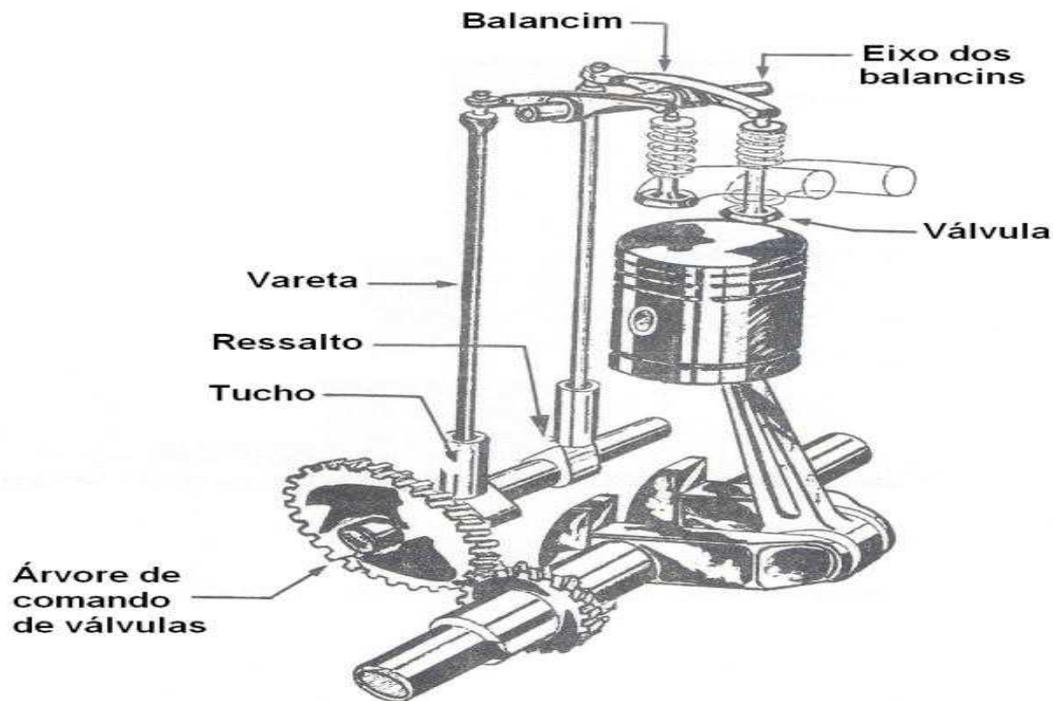
g) **Volante:** é constituído por uma massa de ferro fundido e é fixado no virabrequim. Acumula a energia cinética, propiciando uma velocidade angular uniforme no eixo de transmissão do motor. O volante absorve energia durante o tempo útil de cada pistão (expansão devido à explosão do combustível), liberando-a nos outros tempos do ciclo (quando cada pistão não está no tempo de potência), concorrendo com isso para reduzir os efeitos de variação do tempo do motor.

h) **Válvulas:** existem dois tipos de válvulas: de admissão e de escape. Elas são acionadas por um sistema de comando de válvulas. O movimento do virabrequim é transmitido para o eixo de comando de válvulas por meio de engrenagens. O eixo de comando de válvulas liga-se por uma vareta ao eixo dos balancins. Este, por sua vez, é que acionará as válvulas.

A abertura e o fechamento das válvulas estão relacionadas com o movimento do pistão e com o ponto de injeção, de modo a possibilitar o perfeito funcionamento

do motor. As engrenagens da distribuição podem ter uma relação de 1:2, o que significa que cada rotação da árvore de manivelas corresponde a meia rotação da árvore de comando de válvulas.

Figura - 7



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

i) Partes complementares: são os sistemas auxiliares indispensáveis ao funcionamento do motor: sistema de alimentação de combustível, sistema de alimentação de ar, sistema de arrefecimento, sistema de lubrificação e sistema elétrico.

2.3 Ciclo Diesel – 4 tempos e 2 tempos

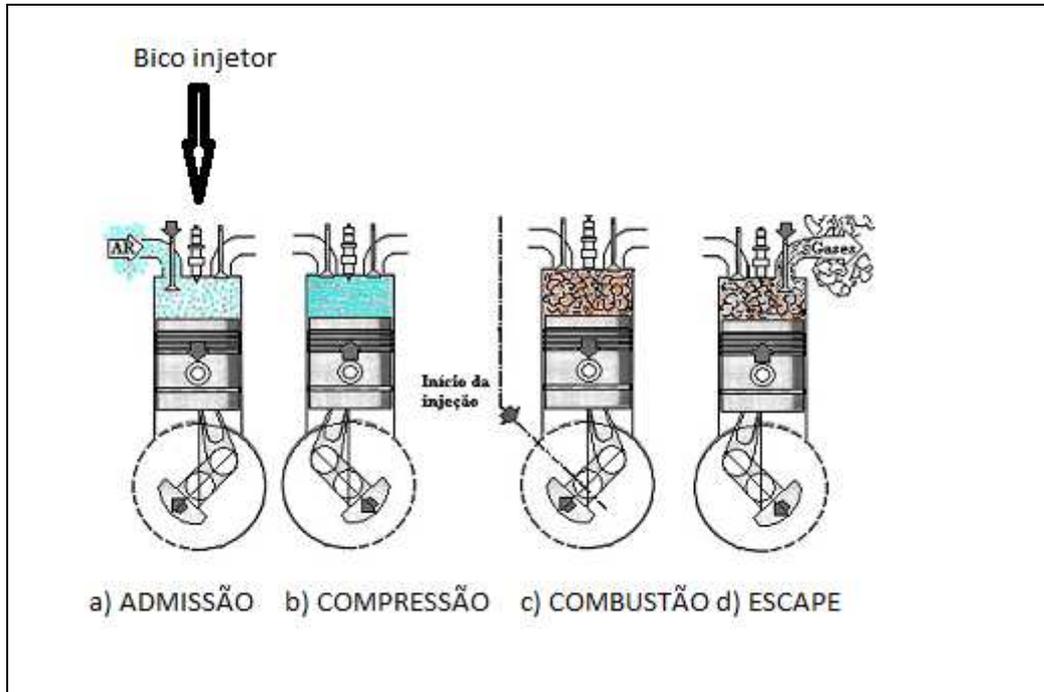
2.3.1 Ciclo 4 tempos

O motor a combustão interna de pistão que funciona segundo o ciclo Diesel apresenta, durante o funcionamento, quatro fases:

- a) 1ª – Admissão: Nesta fase, o pistão desce, estando a válvula de admissão aberta e a de escape fechada. Ao descer, o pistão cria uma depressão no cilindro. O ar é então forçado pela pressão atmosférica a entrar no cilindro, passando pelo filtro de ar e pela tubulação de admissão. A quantidade de ar admitida é sempre a mesma, qualquer que seja a potência que estiver sendo utilizada ou a posição do acelerador.
- b) 2ª – Compressão: Então, o pistão sobe, as válvulas de admissão e de escape estão fechadas. O ar admitido na fase de admissão é comprimido até ocupar o volume da câmara de combustão. Devido à compressão, o ar se aquece. No final da compressão, o bico injetor injeta, finamente pulverizado o óleo diesel pouco antes de o pistão atingir o ponto morto superior. Devido à alta temperatura da câmara, o óleo diesel se vaporiza rapidamente e entra em combustão espontânea.
- c) 3ª – Combustão: O pistão desce, acionado pela força de expansão dos gases queimados. As válvulas de admissão e de escape estão fechadas. A força de expansão dos gases queimados é transmitida pelo pistão à biela e desta ao virabrequim, provocando assim o movimento de rotação do motor. A expansão é o único tempo que produz energia, sendo que os outros três tempos consomem uma parte dessa energia. A energia produzida é acumulada pelas massas do virabrequim e do volante.
- d) 4ª – Escape: O pistão sobe, estando a válvula de escape aberta e a de admissão fechada. Os gases queimados são expulsos através da passagem dada pela válvula de escape.

A série dessas quatro fases consecutivas é chamada de ciclo do motor. O detalhamento das fases é o seguinte.

Figura 8 – Funcionamento do motor diesel 4 tempos: a) admissão, b) compressão, c) combustão e d) escape.



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

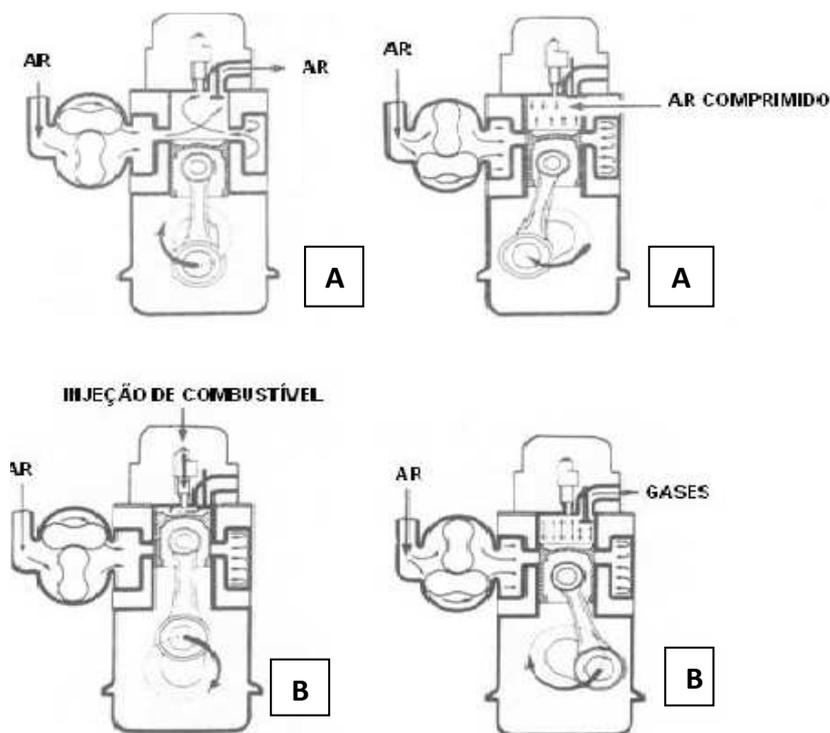
2.3.2 Ciclo Diesel – 2 tempos

Num motor de 2 tempos a admissão e o escape ocorrem ao mesmo tempo da compressão e expansão. A parede do cilindro de um motor de 2 tempos contém uma fileira de janelas de admissão de ar. No 1º tempo, o pistão está em seu movimento descendente, e descobre as janelas de admissão, dando entrada ao ar, que está sendo empurrado por um soprador. O ar que entra expulsa os gases queimados, que saíram através da passagem aberta pelas válvulas de escape. O fluxo de ar em direção às válvulas de escape causa um efeito de limpeza, deixando o cilindro cheio de ar limpo, por isso, é muitas vezes esse processo é chamado de “lavagem”.

No 2º tempo, o pistão está em seu movimento ascendente e cobre as janelas de admissão (fechando-as) ao mesmo tempo em que as válvulas de escape fecham-

se. O ar limpo admitido é submetido à compressão. Um pouco antes de o pistão alcançar sua posição mais alta, uma certa quantidade de óleo diesel é atomizada na câmara de combustível pela unidade injetora de combustível. O intenso calor, causado pela alta compressão do ar, inflama imediatamente o combustível atomizado no cilindro. A pressão resultante força o pistão para baixo, no curso de expansão. As válvulas de escape vão se abrir quando o pistão estiver na metade do curso descendente, permitindo que os gases queimados saiam pelo coletor de escapamento. Quando o pistão, em seu curso descendente, descobre as janelas de admissão, o cilindro é novamente “lavado” pelo ar limpo. O ciclo completo de combustão é concluído em cada cilindro durante cada volta do virabrequim, ou em outras palavras, em 2 tempos.

Figura 9 – Funcionamento do motor diesel 2 tempos: a) 1º tempo; b) 2º tempo



Fonte: www.ufpel.edu.br/mlaura/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combustão-Interna.

2.4 Motores superalimentados

A potência desenvolvida por motores a combustão interna pode ser aumentada com a elevação da pressão de admissão. Este fenômeno é obtido com

aplicação da superalimentação. Este processo consiste em forçar o ar para o interior do cilindro, de modo que o peso da carga aumente. Os superalimentadores são de dois tipos: sopradores e turbinas.

2.4.1 Soprador

É um dispositivo que tem por finalidade manter um fluxo de ar contínuo e forçado para o interior do cilindro. É acionado pelo próprio motor.

2.4.2 Turbina

É um dispositivo composto de dois rotores, ligados entre si por um eixo. É acionado pela energia cinética dos gases queimados. Inicialmente a turbina é acionado pelo motor, porém com o aumento da energia cinética gerada pelos gases de descarga a turbina inicia a sua operação de maneira livre deixando de ser impulsionada pelo motor.

3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM TURBINA A GÁS

Nas sondas de produção por uma questão de economia normalmente são utilizados turbo-geradores, esse equipamento pode utilizar diesel ou gás. Semelhante aos diesel-geradores a energia mecânica é transmitida para os geradores assim gerando energia elétrica, quando o poço está em processo de produção de gás o mais comum e a utilização desse gás proveniente do poço.

Para iniciarmos é importante fazer análise termodinâmica do sistema de cogeração com base na 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica, abordando sistematicamente conceitos dos principais componentes e seus processos. Abordaram-se também tópicos relacionados à transferência de calor no processo e finalmente uma descrição sucinta do método numérico utilizado para a simulação da cogeração. Dentre os principais equipamentos do sistema de cogeração estão a microturbina, a unidade recuperadora de calor e o reservatório térmico.

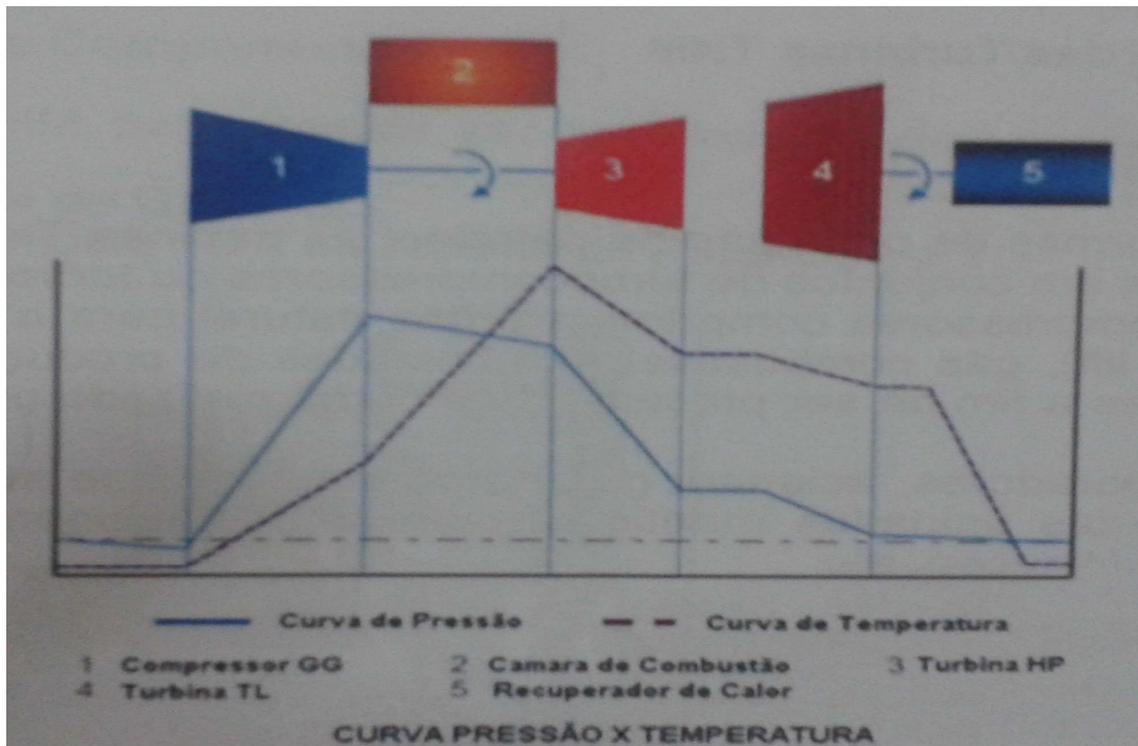
3.1 Turbina a gás

As turbinas a gás são utilizadas numa grande variedade de serviços. Elas estão presentes em diferentes segmentos, geralmente na aviação, mas também são largamente encontradas em equipamentos mecânicos como bombas, compressores e geradores de energia elétrica. Na indústria do petróleo não é diferente. Em várias sondas de produção as turbinas a gás são peça fundamental na geração de energia elétrica.

As turbinas a gás são essencialmente máquinas térmicas que utilizam o ar como fluido motriz para prover energia. Para conseguir isso, o ar que passa através das turbinas devem ser acelerado, isto significa que a velocidade ou energia cinética é aumentada. Para obter esse aumento primeiramente aumenta-se a pressão do ar e em seguida adiciona-se calor.

Finalmente a energia gerada é transformada em potência no eixo da turbina de expansão. As turbinas a gás são atualmente empregadas principalmente em sistemas de compressão de gás geração de energia elétrica.

Figura 10 – Curva Pressão x Temperatura



Fonte: BRAVO, Pedro. Man Diesel e turbina, 1º ed, Ed. Man, Rio de Janeiro.

3.2 Princípio de Operação

Uma turbina a gás produz energia a partir do resultado das seguintes etapas contínuas do ciclo de BRAYTON.

3.2.1 Admissão

O ar atmosférico é admitido após passar por uma seção de filtragem de quatro estágios.

3.2.2 Compressão

O ar é comprimido em um compressor axial com um estágio centrífugo onde a pressão e temperatura do fluido (ar) são aumentadas.

O compressor de ar é o componente da turbina responsável pelo aumento da pressão do ar ele é acionado pela turbina do gerador de gás (turbina de alta pressão/HP). Instalada na extremidade traseira do compressor de ar.

Os compressores axiais normalmente são empregados nesses casos por serem projetados para maiores vazões do que os centrífugos e, por possuírem um melhor quociente na relação peso x potência.

O princípio de funcionamento do compressor axial é o da aceleração do ar com posterior aumento da pressão. É composto por uma seção estacionária, onde se encontram instalados as palhetas estatoras (vanes) e a seção rotativa composta por um conjunto de rotores com palhetas (blades), esses discos são fixados por tirantes, formando um eixo (rotor). Cada estágio de compressão é composto, por palhetas estatoras e um rotor com palhetas móveis. O rotor é responsável pela aceleração do ar. É nesta etapa que o ar recebe trabalho para aumentar a energia. Os setores de palhetas estatoras tem a finalidade de direcionar o ar para incidir com um ângulo favorável sobre as palhetas do próximo rotor e promover a desaceleração do fluxo de ar para ocorrer a transformação da energia de velocidade em aumento de pressão e temperatura (efeito difusor).

3.2.3 Combustão

Na câmara de combustão, cerca de 25% do ar comprimido e o combustível injetado a uma pressão e vazão controladas, promovem a mistura e queima desse combustível, a uma pressão praticamente constante.

A combustão ocorre em duas câmaras dispostas em V, alimentadas de combustível gás, através de injetores. Esses injetores são alimentados por um Sistema de Dosagem de combustível, denominados de reguladores ou governores de combustível que proporciona uma vazão adequada de combustível em função da demanda necessária:

- a) A partida do equipamento;
- b) A demanda de carga da máquina acionada.

A ignição da mistura ar e combustível ocorre durante a partida, através de uma vela de ignição e um injetor, esse conjunto é denominado tocha. Posteriormente a combustão se auto – sustenta.

3.2.4 Primeira Expansão

Os gases gerados na combustão a alta temperatura são expandidos a alta velocidade através dos estágios da turbina HP. Esta consiste de um conjunto de dois

rotores e as distribuições HP1 e HP2, com palhetas que promovem o efeito bocal e direciona o fluido motriz (gases) para proporcionar o melhor ângulo de ataque nas palhetas dos rotores da turbina HP1 e HP2, convertendo a energia dos gases em potência no eixo para acionar o compressor axial de ar e posteriormente a turbina de potência.

3.2.5 Segunda Expansão

A segunda expansão é realizada pelos gases provenientes da turbina HP e agora irão acionar outra turbina de dois estágios, denominada Turbina Livre (TL) ou Turbina de Potência (baixa pressão/LP).

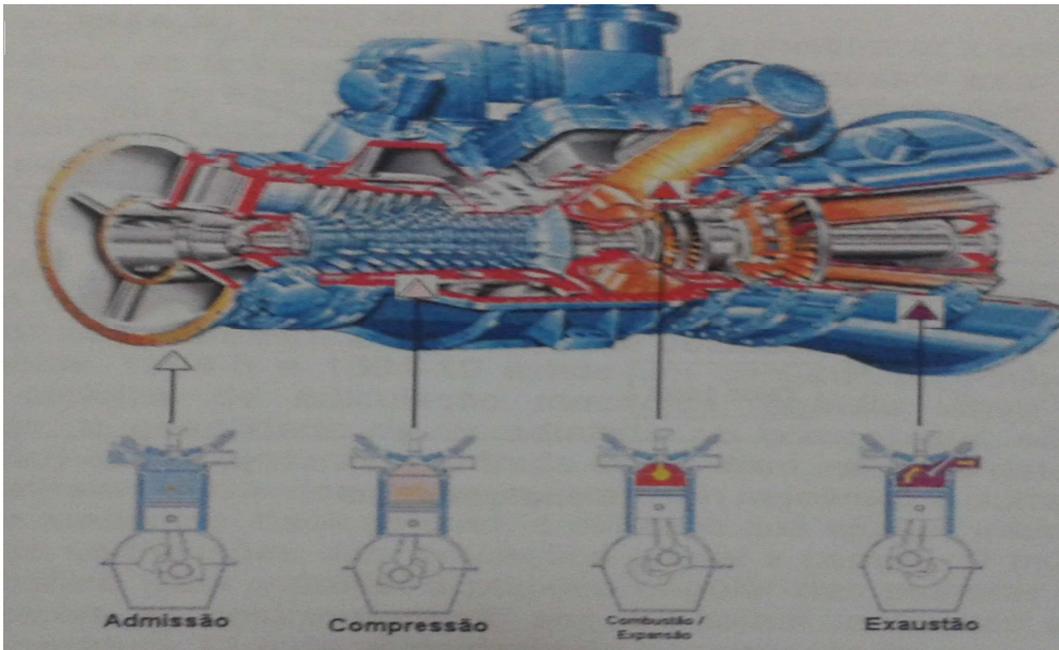
A Turbina de Potência (LP) consiste em um conjunto de dois rotores e distribuições BP1 e BP2, que a exemplo das distribuições HP, também com palhetas que promovem o efeito bocal e direcionam o fluido motriz (gases) para proporcionar um melhor ângulo de ataque nas palhetas dos rotores da Turbina de baixa pressão (LP), convertendo energia dos gases em potência no eixo, e assim, transmitindo potência a máquina acionada no nosso caso geradores.

Na distribuição BP1 estão instalados termo pares que monitoram a temperatura T4 e essa temperatura é utilizada no sistema de controle e limitação das turbinas.

3.2.6 Exaustão

Finalmente os gases fluem para o duto de exaustão, onde sua energia remanescente pode, opcionalmente, ser aproveitada em um sistema de recuperação de calor (aquecimento de água, por exemplo). É importante lembrar que não existe conexão mecânica entre o eixo do Conjunto Gerador de Gás (CG) e o eixo da turbina de potência (LP).

Figura 11-Turbina a Gás



Fonte: BRAVO, Pedro. Man Diesel e turbina, 1º ed, Ed. Man, Rio de Janeiro.

3.3 Vantagens e desvantagens da turbina a gás

Atualmente, o interesse em turbinas tem crescido significativamente em plantas de ciclo-combinado. Comparando as turbinas a vapor com as turbinas a gás, nestas pode-se observar as seguintes vantagens:

- a) Possuem tamanho reduzido e são mais leves;
- b) Menor custo inicial por unidade;
- c) Tempo menor na fabricação e entrega, e instalação com maior rapidez;
- d) Têm o início de operação mais rápido;
- e) Operam com uma maior variedade de combustíveis líquidos e gasosos;
- f) Estão sujeitas a menores restrições ambientais.

Entretanto existe também as suas desvantagens:

- a) Menor potência específica;
- b) Menor vida útil;
- c) Menor eficiência;
- d) Mais sensível a qualidade do combustível;

- e) Muitos componentes sob alta condição mecânicas;
- f) Ruído de alta frequência;
- g) Necessidade de grande quantidade de ar;
- h) Produção de grandes quantidades de gases quentes;
- i) Sua manutenção na planta exige um mão de obra especializada.

3.4 Tipos de turbina a gás

As turbinas a gás se subdividem nas seguintes categorias:

- a) Turbinas a gás industriais;
- b) Turbinas a gás aero-derivativas;
- c) Turbinas a gás de média-capacidade;
- d) Turbinas a gás pequenas.

A eficiência das turbinas a gás modernas tem alcançado uma média de 45% com uma temperatura de chama de 1400°C. A limitação da eficiência das turbinas a gás é, ainda hoje, influenciada pelas condições metalúrgicas dos materiais que a compõem assim como a relação de pressão do compressor.

Segundo a relação de compressão para um aumento na faixa de 55°C na temperatura de chama, o trabalho útil e a eficiência aumentam em 10% e 1,5%, respectivamente. O princípio de funcionamento das turbinas a gás para um ciclo simples e de simples eixo conforme processa-se com entrada de ar no compressor de escoamento axial à condições ambientes. Como esta condição varia dia a dia e também de local para local, é importante e conveniente considerar algumas condições padrões para efeitos comparativos. As condições padrões usadas para as turbinas a gás industriais são estabelecidas pela International Standards Organization (ISO 2314 – Gas Turbines – Acceptance Tests: 1989), estas condições também são usualmente conhecidas como *Condições ISO*.

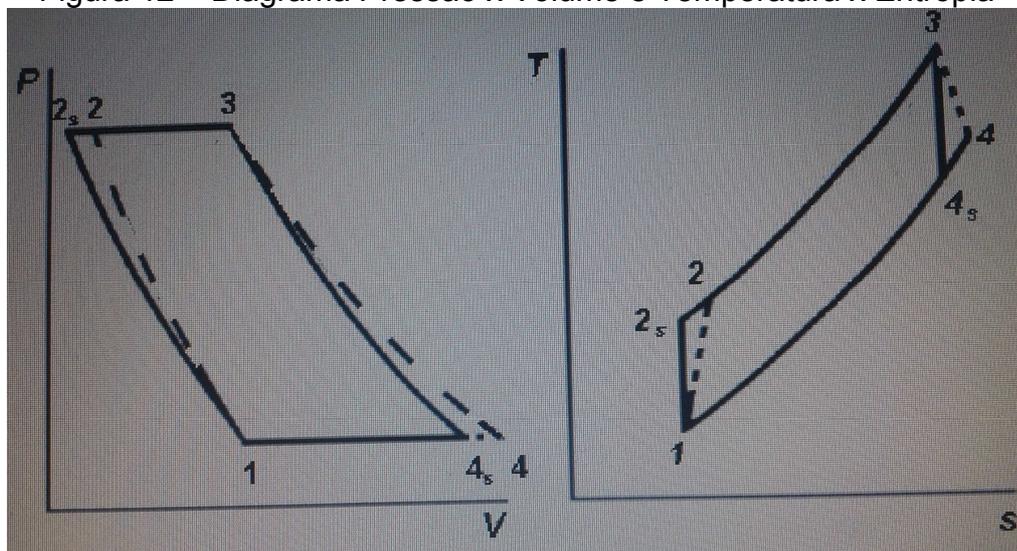
Durante o processo de compressão a temperatura do ar na descarga do compressor geralmente se encontra em torno de 400 a 465°C. Após este estágio ocorre o processo de combustão à pressão constante, elevando assim a temperatura dos gases entre 1370 e 1430°C. Ocorrido o processo de combustão, a mistura dos gases (produtos) deixa o sistema de combustão e entra na turbina, também chamada

expansor a uma temperatura média da mistura. Na seção da turbina, a energia dos gases quentes é convertida em trabalho em dois processos. No bico de injeção na seção da turbina, os gases quentes são expandidos pelas palhetas estacionárias, e uma porção desta energia térmica com alta entalpia é convertida em energia cinética a alta velocidade. Na seção subsequente da turbina as palhetas móveis convertem em trabalho uma porção da energia cinética transferida. A temperatura de descarga na turbina está em torno de 480 a 640°C. Uma parcela do trabalho desenvolvido pela turbina é usada para operar o compressor, e o restante disponível para o trabalho útil na saída da turbina. Tipicamente mais de 50% do trabalho desenvolvido pela turbina é usado para movimentar o compressor.

4 TERMODINÂMICA NA TURBINA E CICLO BRAYTON

Considera-se o ciclo Brayton como ciclo ideal que governa o comportamento das turbinas a gás. A Fig. 12 mostra os diagramas pressão x volume (Pv) e temperatura-entropia (Ts) para o ciclo Brayton que utiliza compressão e expansão isentrópicas, observa-se também o caminho de um ciclo real representado pelos pontos 1, 2, 3 e 4.

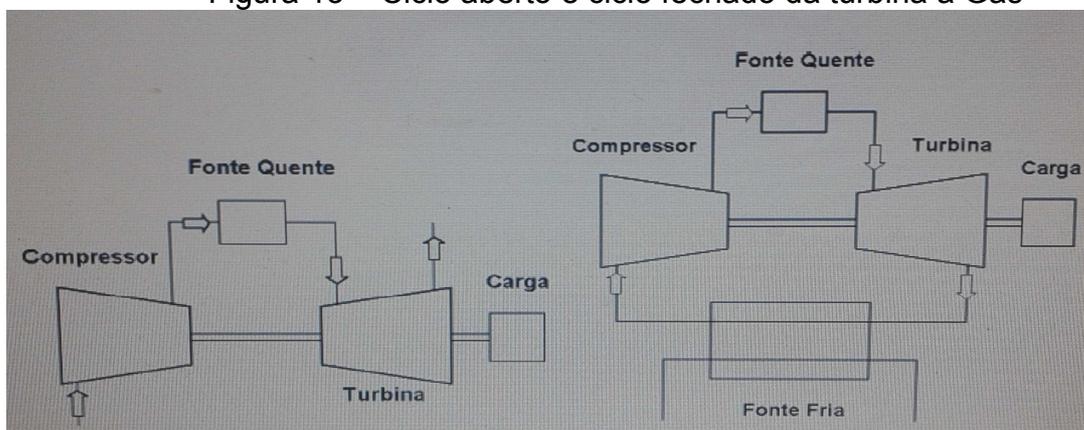
Figura 12 – Diagrama Pressão x Volume e Temperatura x Entropia



Fonte: www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br

Existem dois tipos de ciclos que as turbinas a gás podem operar: ciclo aberto e o ciclo fechado conforme ilustrados na Fig. 13.

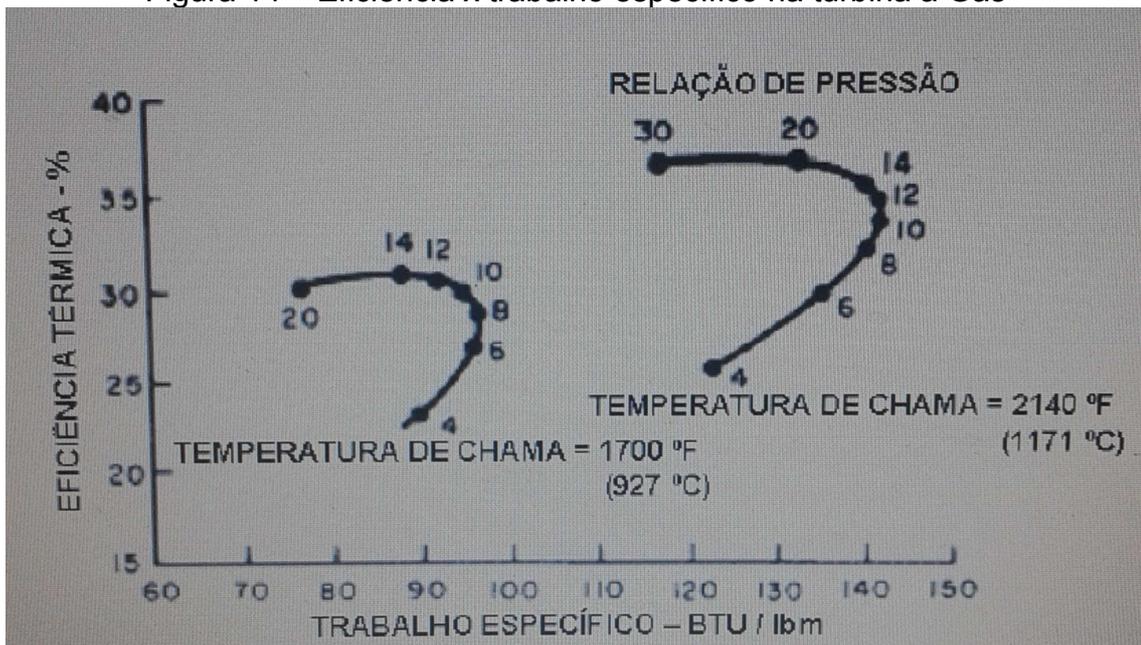
Figura 13 – Ciclo aberto e ciclo fechado da turbina a Gás



Fonte: www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br

O ciclo Brayton pode ser caracterizado por dois parâmetros significantes que são: a relação de pressão e a temperatura de chama, maior temperatura alcançada no ciclo. Contudo em um ciclo real existe uma pequena perda de pressão no sistema de combustão e, portanto, a pressão no começo do processo de expansão, ponto 3 da Fig. 12, é ligeiramente inferior à do ponto 2. Na Fig. 13 está um exemplo ilustrativo destes dois parâmetros no comportamento das turbinas a gás.

Figura 14 – Eficiência x trabalho específico na turbina a Gás



Fonte: www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br

A eficiência térmica, η_{Term} , para o ciclo Brayton, para primeiras aproximações, pode ser calculada usando a clássica análise termodinâmica, onde considerando constante o calor específico a pressão constante tem-se o seguinte:

$$\eta_{term} = 1 - Q_{out}/Q_{in} = 1 - C_p (T_4 - T_1)/C_p (T_3 - T_2) = 1 - T_1 T_4 / T_1^{-1} / T_2 T_3 / T_2^{-1} \quad \text{Eq. (1)}$$

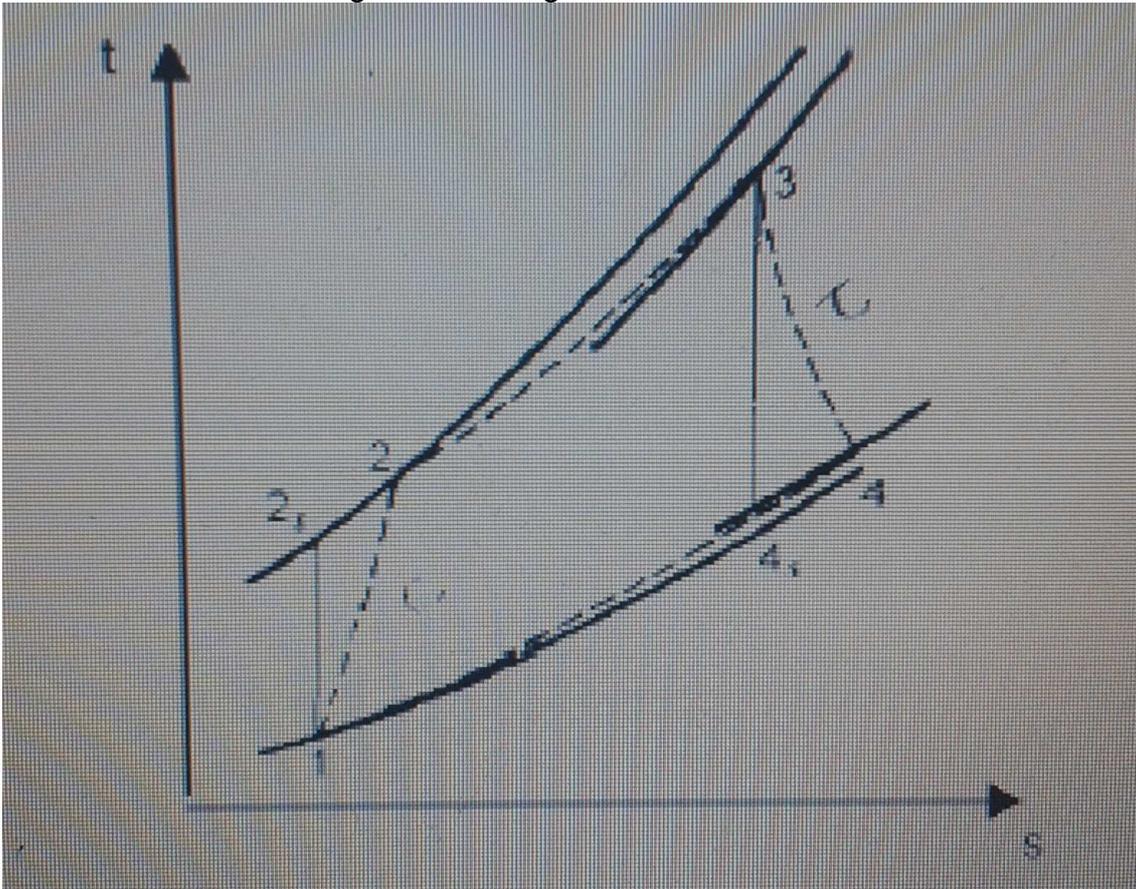
Com o uso das relações isentrópicas a eficiência também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\eta_{term} = 1 - T_1/T_2 = 1 - (P_1/P_2)^{(k-1)/k} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde o coeficiente k é a relação entre o calor específico a pressão constante e o calor específico a volume constante: ($k = c_{p0}/c_{v0}$). No comportamento do ciclo real das turbinas a gás, como mostrado no diagrama $T \times s$ da Fig. 15, observa-se um

certo afastamento em relação ao ciclo ideal, causado principalmente pelas irreversibilidades do compressor e da turbina, que deixam de ser isentrópicas, devido também às perdas de carga do fluido e na câmara de combustão. Usualmente estas perdas estão numa faixa 15%, o que representa uma significativa redução da eficiência das turbinas a gás.

Figura 15 – Diagrama T x S – Ciclo Real



Fonte: www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br

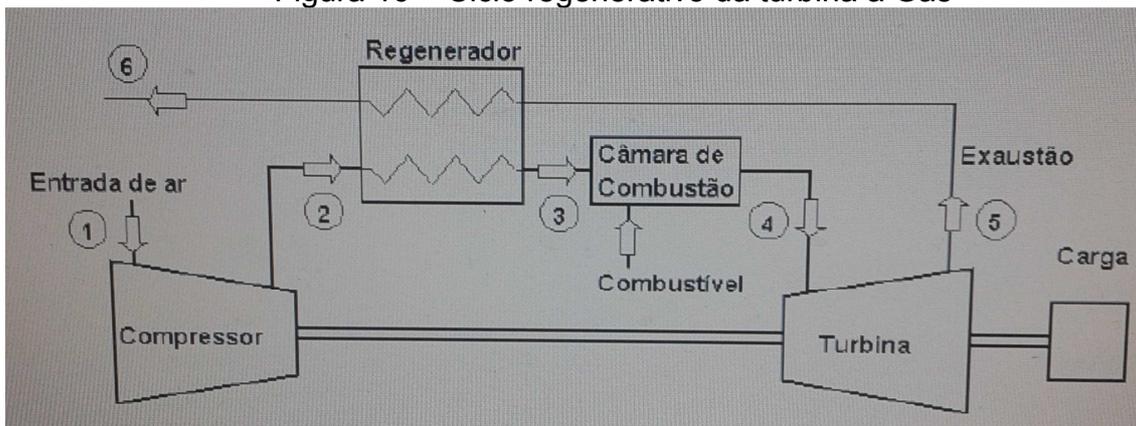
Uma outra importante característica das turbinas a gás que limita seriamente a eficiência térmica é o grande trabalho requerido para o compressor, medido como *back work ratio* = W_{comp} / W_{turb} .

4.1 Ciclo simples de turbinas a gás regenerativo

Para um ciclo simples e aberto de turbinas a gás, a transferência de calor dos gases dos produtos da combustão ou de um trocador de calor geralmente ocorre simplesmente com uma transferência direta (calor de rejeito) com o meio ao redor.

Uma maneira de melhorar o rendimento deste ciclo é a utilização desta energia térmica, desde que a temperatura do fluxo que sai na turbina seja bem maior do que a temperatura do fluxo que entra no compressor. Com a introdução de um regenerador, trocador de calor de contracorrente, o calor pode ser transferido dos gases de descarga da turbina para os gases a alta pressão que deixam o compressor conforme mostrado na Fig. 16.

Figura 16 – Ciclo regenerativo da turbina a Gás



Fonte: www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br

Logo, como uma menor rejeição de calor pelo ciclo é esperado que a eficiência térmica seja aumentada até um certo limite com uma grande dependência da relação de pressão e da relação das temperaturas mínima e máxima conforme visto a seguir:

$$\eta_{\text{term}} = 1 - T1/T4(P2/P1)^{(k-1)/k} \quad \text{Eq. (3)}$$

Na prática, em um regenerador real, a temperatura do ar que deixa o regenerador no estado 3, Fig. 16, é um pouco menor que a temperatura do ar entrando no estado 5. Também a temperatura T6 é maior que a temperatura T2.

A eficiência do regenerador é definida por:

$$\eta_{\text{reg}} = h3 - h2 / h5 - h2 \quad \text{Eq. (4)}$$

Assumindo um gás ideal com calor específico constante, a eficiência do regenerador pode ser relacionada pela seguinte equação:

$$\eta_{\text{reg}} = T3 - T2 / T5 - T2 \quad \text{Eq. (5)}$$

Dependendo dos parâmetros que operam a turbina a gás, o regenerador pode aumentar em 10% a sua eficiência. Entretanto, pela existência de um aumento na queda da pressão em ambas partes no regenerador, ou seja, nos lados do ar comprimido e da exaustão da turbina, a relação de pressão é comprometida, o que

poderá reduzir a potência de saída de 10 a 15%. Os regeneradores geralmente têm um custo alto em relação à sua aplicação, por isso a sua utilização deve ser bem justificada ao equipar uma turbina a gás. Um outro aspecto importante que deve ser considerado é o fato do regenerador diminuir a temperatura dos gases de exaustão, reduzindo portanto a eficiência do sistema de cogeração.

4.2 Temperatura adiabática da chama

Considera-se a temperatura adiabática da chama a temperatura atingida pelos produtos no processo de combustão sem transferência de calor, ou seja, adiabaticamente, sem envolver trabalho ou variações de energia cinética ou potencial. A máxima temperatura adiabática da chama que pode ser atingida para um dado combustível onde os seus reagentes estão a uma determinada pressão, temperatura e estado, ocorre quando a mistura é estequiométrica. Uma maneira de se controlar a temperatura adiabática da chama é pela quantidade de excesso de ar, parâmetro este muito importante principalmente para as turbinas a gás, onde a temperatura máxima admissível é determinada por condições metalúrgicas. A máxima temperatura da chama está também diretamente limitada ao efeito da dissociação dos produtos formados.

5 RELACIONAR O CUSTO BENEFÍCIO ENTRE OS GRUPOS GERADORES

Nesse tópico a intenção é relacionar as vantagens financeiras e operacionais de maneira que possamos entender tudo que foi especificado anteriormente. Detalhamos o funcionamento dos diesel geradores e das turbinas a gás, dessa forma podemos mostrar que do ponto de vista econômico é muito melhor que pudéssemos operar sempre nas plataformas seja de produção ou de perfuração com sistema de turbo geração aproveitando, assim o gás proveniente do poços.

Nosso estudo não contempla detalhar os processos de separação primário e secundário que ocorre nas plantas de produção de petróleo, contudo esse gás que fruto desse processo é a principal matéria-prima para ser queimada nas nossas turbinas que fornecem potência para o eixo dos geradores produzindo assim a energia necessária pra manter toda a plataforma de produção (FPSO`s) em plena produção.

A própria diferenças de atividades nas sondas de perfuração e produção nos limita a possibilidade da utilização do gás como matéria-prima.

5.1 Diesel geradores em sondas de perfuração de posicionamento dinâmico

Para que uma Unidade DP (Dinamic Position) possa manter posição, vencendo as forças externas nela atuantes a todo momento ao mesmo tempo em que executa as atividades para as quais foi designada, é necessário que um suprimento de energia elétrica esteja continuamente disponível.

O responsável por suprir e gerenciar a demanda de energia requerida por todos os sistemas e equipamentos de uma Unidade DP é o Sistema de Geração e Gerenciamento de Energia, abreviadamente “SGE”.

Uma variável importante que deve ser diariamente monitorada pelo Fiscal é o *consumo e estoque de combustível (diesel)* da unidade DP, o qual deve ser capaz de suprir pelo menos 15 dias de operação. Um navio-sonda DP consome em média 25 a 30 m³/d de diesel ao passo em que uma SS-DP consome 30 a 35 m³/d em média. Atenção especial deve ser dada ao estoque, principalmente por ocasião de

testes em poços, uma vez que o consumo de diesel nos queimadores é bastante alto (chega até a 25 m³/dia nos “*mud burners*”).

Os elementos básicos do SGE são os *grupos moto-geradores*, cuja função é produzir energia elétrica. Os requisitos principais do Sistema como um todo são:

- a) **Capacidade de transmissão:** fornecer energia elétrica em todos os locais exigidos pelos consumidores com carga ativa ($W = \text{Watts}$) e reativa ($\text{VAR} = \text{Volt Ampére Reativos}$), variáveis com o tempo.

- b) **Qualidade de serviço:** a *freqüência* e a *tensão* efetivas entregues às cargas devem no caso ideal serem constantes. Como a carga numa sonda varia com o tempo, a tendência da tensão e da freqüência é de enfrentarem oscilações de acordo com a variação da mesma. Porém ainda assim um sistema de boa qualidade deverá mantê-las dentro de uma faixa estreita de variação. Para isso deverão ser mantidos sempre uma quantidade mínima de geradores em operação, evitando oscilações decorrentes de partidas de elevadas cargas, tais como, os motores de indução dos thrustres.

- c) **Confiabilidade:** o sistema de geração elétrico deve fornecer a quantidade de energia necessária de forma ininterrupta, ou seja, deve haver uma continuidade do serviço independentemente de eventuais falhas localizadas que possam ocorrer, evitando paralisar o trabalho do consumidor. O sistema deve, portanto, ser redundante naqueles equipamentos que apresentam taxa de falha elevada.

- d) **Economicidade:** obter todos os itens anteriores com custo mínimo. Para que se possa obter todas as características acima a sonda deve possuir um Plano de Manutenção Preventiva eficaz que contemple todas as recomendações dos fabricantes dos equipamentos e que possua um software elaborado por empresas especializadas e reconhecidas no mundo que mantenham o mesmo sempre atualizado. O plano deve ser dinâmico alterando as tarefas e os procedimentos sempre que acontecer observações ou incidentes que as justifiquem evitando as reincidências.

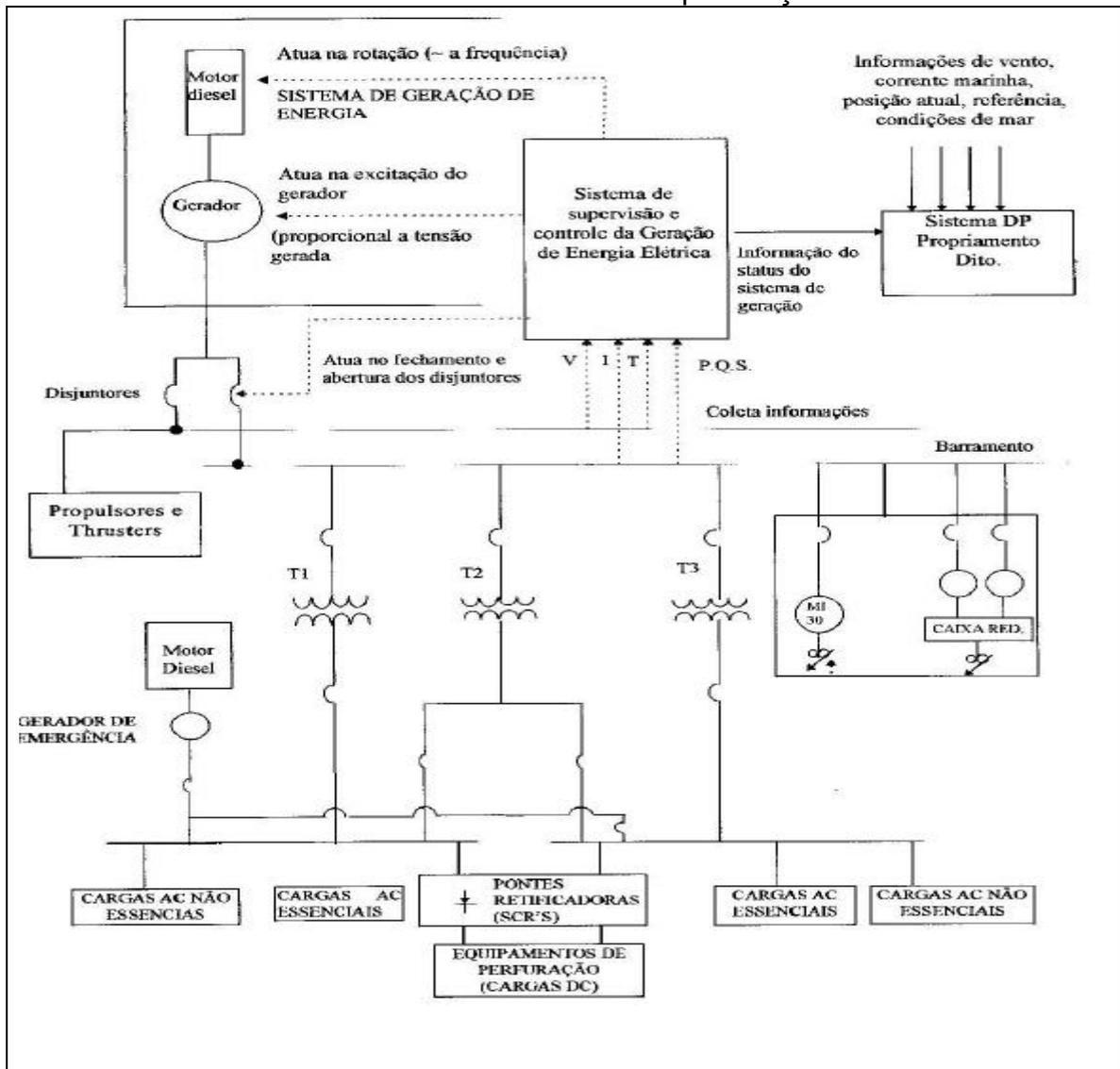
5.1.1 Diagrama unifilar básico de uma sonda DP

A figura a seguir apresenta os principais componentes relacionados ao sistema DP. Olhando para ela, podemos dividi-la em duas partes tendo como linha de separação o barramento. De um lado temos os fornecedores de energia e do outro os consumidores.

Os fornecedores compõe-se dos seguintes elementos:

- a) Motor Diesel: responsável pela transformação da energia química do óleo diesel em energia mecânica de rotação de seu eixo;
- b) Gerador: transforma esta energia cinética de rotação do eixo em energia elétrica, enviando uma tensão elétrica (V) a uma determinada frequência, na corrente (A) solicitada pela carga. O gerador fornece então ao barramento uma potência em VA ou KVA. (Kilo Volt Ampere);
- c) Sistema de Supervisão e Controle (Power Management System): Monitora as informações de tensão(V), corrente (I) e frequência (f) existentes no barramento para: atuar na excitação do gerador (AVR - automatic volt regulator) para manter a tensão terminal (V) constante; atuar na rotação do motor para manter a frequência constante; colocar/retirar geradores do barramento ou efetuar descarte de cargas não essenciais, em função do valor da corrente existente no barramento; fornecer estas informações ao DP para atuação de forma preventiva.
- d) Disjuntores: são chaves para conexão de equipamentos ou cargas nos barramentos. São nos disjuntores que se coloca todo o sistema de proteção dos geradores, retirando-os do barramento em caso de alguma anormalidade.

Figura 17 – Diagrama unifilar básico do sistema de geração de energia elétrica básico de uma sonda flutuante de perfuração



Fonte: livro Fundamentos de Posicionamento Dinâmico Vol II, página 8.

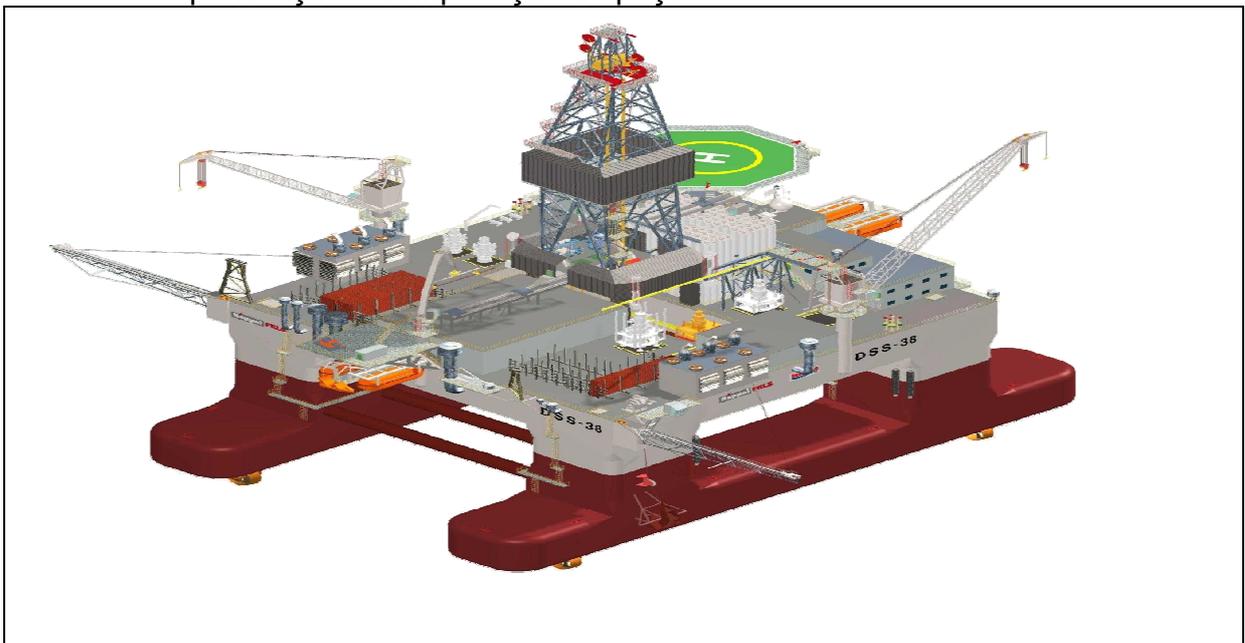
Os consumidores são os que utilizam a energia gerada.

- Transformadores: equipamentos necessários para adequar os parâmetros elétricos tais como tensão (V) e corrente (A), para os níveis desejados pelos consumidores. A tensão é gerada em níveis elevados, normalmente 6000 V, para permitir uma distribuição mais fácil (cabos elétricos de pequeno diâmetro);
- Propulsores e Thrusters: são os equipamentos responsáveis pela geração das forças que mantêm o posicionamento e permitem o deslocamento da plataforma,

sendo os principais consumidores de energia. Normalmente alimentados por motores elétricos de indução que trabalham na tensão gerada (6000 V);

- c) Pontes Retificadoras : são conversores ou retificadores de corrente utilizados para alimentar os motores de corrente contínua das cargas de perfuração.
- d) Cargas de Perfuração: são as cargas usadas no acionamento da sonda, tais como Guincho, mesa rotativa, bomba de lama, etc.
- e) Cargas Essenciais: são cargas normalmente alimentadas por motores de corrente alternada de pequeno e médio porte que fazem parte de subsistemas de equipamentos principais.
- f) Cargas não Essenciais: são cargas normalmente alimentadas por motores de corrente alternada, de pequeno porte, cuja parada não acarreta problemas ao sistema DP.
- g) Gerador de Emergência: equipamento utilizado quando ocorre um black-out na plataforma. Deve ser acionado por motor diesel independente. Fornece energia para equipamentos essenciais a segurança da tripulação e para estabelecimento das condições de normalidade da plataforma.

Figura 18 – Gold Star sonda de posicionamento dinâmico utilizada em operações de perfuração e completção de poços



Fonte: Queiroz Galvão, plataforma Gold Star

5.2 Turbo geradores em sondas de produção (FPSO`s)

As turbinas a gás são as mais utilizadas como máquinas motrizes na geração de energia elétrica nos diversos tipos de plataformas petrolíferas. Para evidenciar sua importância será demonstrado o que é necessário para a alimentação elétrica de um FPSO.

A eletricidade, além de alimentar os diversos sistemas que existem a bordo de uma plataforma, significa vida. Portanto, os sistemas de geração e distribuição de energia elétrica são necessidades primordiais e básicas a bordo, pois sem sua existência, nada poderia funcionar nos diversos sistemas de produção de petróleo.

Um FPSO possui algumas necessidades essenciais que o sistema elétrico de geração e distribuição deve atender. Pode-se citar: os motores, parte auxiliar, máquinas de convés, equipamentos submarinos, instalações de produção, cozinha, produção de água potável, acomodações, luzes interiores e exteriores, ventilação, ar-condicionado, frigoríficas, aquecimento elétrico, sistemas sanitários e diversos tipos de bombas, além dos sistemas de produção de petróleo, que em última instância é a sua atividade fim. Pode-se notar que não é pouca coisa que precisa ser atendida, portanto esse sistema tem de ser muito eficiente e uma falha pode causar grandes transtornos aos equipamentos necessários para atender os requisitos são os motores principais, auxiliares, de emergência, com seus respectivos geradores acoplados, painéis de distribuição, transformadores, equipamentos de sincronização e transferência de barramentos e toda a aparelhagem para o controle dos geradores e distribuição de energia.

Com relação aos motores principais observa-se nas usinas geradoras de energia pelo menos dois conjuntos geradores de serviço, uma em operação e outra em *stand-by*.

Já o gerador deve ser dimensionado para suportar pelo menos 125 % da carga total de pico, isso para atender os requisitos de fator de segurança, uma carga ocasional de equipamentos de alta tensão e ainda fornece espaços para cargas adicionais que podem ser futuramente adicionadas.

As máquinas motrizes – motores - utilizados são duas turbinas a gás (além da Rolls-Royce, General Electric, Siemens e outras empresas fabricam esses equipamentos) devido à disponibilidade de gás natural advindo da produção de petróleo, por ser leve e compacta e deixar assim um espaço a mais para equipamentos de produção e armazenamento de petróleo. Na figura 20 é mostrada uma turbina da Siemens sendo instalada. Os geradores auxiliares funcionarão em caso de falha dos turbogeradores principais, como são chamados os grupo turbina – gerador. Estes Geradores deverão ser capazes de alimentar os sistemas essenciais e o hotel, não fornecendo energia para os equipamentos do processo. As máquinas motrizes para os geradores auxiliares são na maioria das vezes motores diesel.

Assim como na parte principal, deverão existir pelo menos dois conjuntos de geração, um em funcionamento e um em *stand-by* que também deverão ser dimensionados para suportar como o sistema principal 125% da carga de pico (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2009).

O Sistema de geração de emergência é projetado para fornecer automaticamente energia elétrica caso o FPSO perca o poder de serviço. Ele garante os elementos críticos para a tripulação e fornece a potência necessária para que os geradores principais voltem a funcionar. Tem responsabilidade sobre os sistemas de refrigeração e ventilação.

Segundo a classificadora American Bureau of Shipping (ABS) o sistema de emergência deve atender por pelo menos 18 horas os seguintes sistemas: sistema de detecção de incêndios, detecção de gás, comunicação, paginação e alarme, iluminação de emergência, ajudas à navegação e uma bomba de incêndio com carga total.

Figura 19 – Sonda de produção de petróleo e gás (FPSO's)



Fonte: Livro: O uso de turbina a gás para geração de energia elétrica em plataformas, pagina 29

6 SEGURANÇA DA OPERAÇÃO NAS ÁREAS DE PRÉ-SAL

Deixamos por último o tema segurança e iremos detalhar a necessidade de operar na área do pré-sal com total confiabilidade e segurança em todas as operações. Em sondas que operam em águas ultra-profundas não existe a mínima possibilidade de ocorrer Black out seja ele parcial ou total. Por essa razão existe um sistema de gerenciamento de energia elétrica que é responsável por monitorar qualquer tipo de variação de carga na planta de geração, seja essa variação proveniente dos thrusters, que são propulsores e tem como qualquer circunstância a obrigação de manter a posição da plataforma durante as operações ou proveniente de todos os equipamentos da própria atividade de perfuração ou completação de poços, pois devido a determinada fase do projeto a demanda de carga nas operações podem ser maiores ou menores. Hoje atualmente existem várias empresas que oferecem esse software responsáveis por todo esse controle, são alguns deles os fornecedores Kongsberg, Siemens e Alston por exemplo. Veremos agora mais detalhadamente um sistema de PMS (Power Management System).

6.1 O Sistema de gerenciamento de energia

O PMS é um sistema cujas principais funções são:

a) Manter a qualidade da geração: a tensão e a frequência geradas devem permanecer dentro de estreitos limites de variação. Para realizar tal função o sistema colhe informações através de vários transdutores. Estas informações são: sinais de tensão, sinais de corrente, frequência da tensão do barramento, potência gerada por cada um dos geradores e a potência total. Todos estes sinais são processados, comparados com valores padrão, pré-ajustados, e após esta comparação é emitido um sinal de controle para ajustar o parâmetro em questão de volta para o nível aceitável (padrão + - variação permitida).

b) Gerenciar a operação em paralelo de todos os geradores conectados ao barramento: este gerenciamento permite que todos os geradores em operação tenham a mesma tensão e frequência, além de garantir que todos forneçam a mesma potência ativa (KW) e a mesma potência reativa (KVAR). Este gerenciamento é extremamente importante no caso de mudança bruscas de cargas, tais como a entrada em operação de um *thruster* ou a saída do mesmo, pois é ele quem vai garantir a margem de segurança igual para todos os geradores evitando a sobrecarga em um deles e o conseqüente risco de black-out. O teste de paralelismo é efetuado nas inspeções de recebimento e anuais do DPPS.

c) Partir os geradores “Stand By”: o sistema de supervisão e controle possui certos limites de potência (podem ser alterados) que uma vez atingidos e caso os mesmos persistam por um certo período de tempo (exemplo: 80% da potência total disponível no barramento por 1 minuto), o sistema dará partida no primeiro grupo moto-gerador que estiver definido na lista de prioridades para entrada em operação. Esta determinação obedece aos seguintes passos:

- 1) A potência total disponível é calculada pelo sistema como sendo o somatório das potências máximas que podem ser fornecidas individualmente por cada grupo moto-gerador.
- 2) A lista de prioridades é definida pelo operador, através de chaves comutadoras nos sistemas mais antigos ou teclado em sistemas mais novos. O critério de escolha é o estado operacional do equipamento e o tipo de operação que está se desenvolvendo.

O tempo de partida dos grupos moto-geradores principais situa-se em geral na faixa de 30 a 50 segundos, estando compreendidas as seguintes etapas:

- *Partida do grupo moto-gerador desde a velocidade zero até a velocidade nomina:* neste caso todos os grupos parados encontram-se pré-aquecidos através de circulação da água de refrigeração dos grupos em operação, a qual passa pelos mesmos antes de dirigir-se aos trocadores de calor. Antes que o

grupo atinja a velocidade nominal é necessário ainda um retardo de modo a permitir a circulação de óleo lubrificante por todas as partes do sistema do motor diesel.

- *Sincronização do gerador com o barramento*: O sincronismo só é atingido quando quatro condições são atendidas: *mesma seqüência de fases* (deve ser observado, após manutenção, se não há problema de cabos invertidos); *mesma tensão* (a tensão do gerador deve ser igual à tensão do barramento); *mesma freqüência* (a freqüência do gerador deve ser igual à freqüência do barramento); *mesmo ângulo de fase* (as tensões de ambos, gerador e barramento, devem estar passando pelos valores máximos e mínimos no mesmo instante de tempo conforme mostra a figura abaixo):

Apenas uma partida por vez é programada para cada grupo gerador. Caso não haja sucesso nessa primeira partida, será acionado o segundo grupo definido pelo operador (ou pelo próprio sistema). Neste caso haverá a indicação visual e sonora de “falha na partida” a qual deverá ser verificada pelo operador ou equipe de manutenção. Esta função é extremamente importante pois no caso de entrar em operação um *thruster*, poderá haver um corte de cargas (balanço de cargas deve ser atendido) ou até mesmo um “black-out” devido à atuação das proteções do sistema. Em sistemas mais modernos o PMS trabalha com “reserva de potência” inibindo a entrada de cargas quando a mesma for atingida.

c) Efetuar corte automático das cargas (“Load Shedding”): o sistema automático de corte de cargas é acionado caso a potência das cargas ultrapasse o somatório das potências nominais dos grupos moto-geradores durante um certo período, sendo que este tempo diminui à medida que o percentual de carga aumenta. Neste caso, as cargas previamente escolhidas são cortadas em seqüência, geralmente definidas por grupos, programando se a retirada primeiramente de *cargas não essenciais*. Nas sondas mais modernas o *load shedding* foi substituído por limitação de potência dos principais consumidores limitando a carga a 100% da potência disponível, isto é, não ocorre sobrecarga.

$$\sum \text{das potência geradas} = \sum \text{das potências consumidas}$$

- Situação operacional com corte automático das cargas (‘‘ Load Shedding ’’) da unidade NS-11

Exemplo:

Grupo 1 = Ar condicionado, bombas de água potável e outras: 105% da potência total - durante 5 segundos

Grupo 2 = Corte de alguns SCR's 10 segundos.

Grupo 3 = Corte do restante dos SCR's 15 segundos

Grupo 4 = Corte de alguns *Thrusters*.

Sobrecarga admissível 130% por 30 segundos (NS-11). Como as cargas do Grupo 1 não são muito significativas em termos de potência total cortada, o que tem maior efeito é o corte de cargas pertencentes aos demais grupos. Em função disso é que alguns sistemas mais modernos não adotam um corte de cargas com base em grupos e sim uma redução linear na potência disponível em cada ponte retificadora (SCR). Isso é feito limitando-se o ângulo de disparo dos SCR's das pontes, restringindo-se assim o valor máximo da tensão de saída e em consequência teremos a diminuição da potência disponível para o acionamento das cargas de perfuração. O efeito prático deste sistema é que teremos por exemplo a mesa rotativa girando com velocidade menor ou a bomba de lama diminuindo o seu número de *strokes* (o equipamento fica lento ou “fraco”).

Convém lembrar que cada equipamento de perfuração é acionado em geral por motores de 800 HP (regime contínuo) e 1000 HP em regime intermitente.

O corte de uma carga é feito retirando-se a alimentação do circuito de mínima tensão do disjuntor que alimenta a carga. Desta forma, a falta de alimentação da bobina de UVT (Under Voltage Trip) causa a abertura do disjuntor.

d) Colocar em operação o gerador de emergência: caso haja um “black-out” o sistema colocará em operação o gerador de emergência num período de 03 a 10 segundos após a ocorrência do mesmo. Este gerador tem potência em média de

500 KW suficiente para acionar a iluminação de emergência e alguns sistemas fundamentais, não estando incluído nenhum propulsor ou *thruster*.

- e) Indicar o “status” do sistema de geração** - esta indicação é feita através de medidores analógicos e nos sistemas mais modernos também em indicações digitais através de telas de microprocessadores. Deve existir uma coerência entre todas as indicações. Por exemplo: a soma das potências individuais de cada gerador deve ser igual à potência mostrada pelo indicador de potência total do barramento e estas devem estar coerentes com as indicações digitais. O sistema indica de forma clara, através de diagramas simplificados traçados nos painéis, quais os grupos que estão em operação, que cargas estão conectadas aos barramentos e quais são os valores de operação dos dispositivos de proteção (por exemplo: temperatura da água de refrigeração de um motor).
- f) Intertravar disjuntores:** o sistema também quais dos disjuntores que estão abertos podem ser fechados. Exemplo: o sistema não permitirá que se feche o disjuntor do gerador de emergência enquanto houver tensão no barramento ao qual ele estará ligado.
- g) Proteger geradores e motores diesel:** o sistema supervisiona alguns parâmetros considerados importantes de modo a desligar o disjuntor ou parar um motor diesel caso os limites tanto superior ou inferior sejam atingidos. Alguns destes parâmetros porém não causam nenhuma das duas hipóteses acima, havendo somente um alarme visual e sonoro quando um limite é ultrapassado.
- i) Indicar e registrar condições anormais ocorridas no sistema:** além dos grupos-geradores, todas as cargas principais tais como *thrusters*, motores AC e DC utilizados na sonda e outros equipamentos são monitorados e protegidos pelo sistema, havendo uma indicação visual no painel do operador. Nos Sistemas mais modernos as ocorrências anormais ficam armazenadas em disquete ou impressas, o que permite *a posteriori* identificar situações, suas causas e o que ocorreu em um dado instante relativo a eventos tais como “black-out”.

j) **Fornecer informações ao posicionamento dinâmico:** nas plataformas mais modernas o sistema de supervisão de geração fornece ao sistema DP informações tais como: *número de geradores em operação; lista de prioridades para entrada em operação; potência total disponível* (somatório das potências máximas que podem ser fornecidas com os geradores que estão operando); *potência total consumida*. Com estas informações o sistema de posicionamento saberá até que ponto pode acionar os *thrusters* de modo a não permitir a ocorrência de um “*black-out*”.

6.2 Evento de Black out parcial real em unidade de perfuração de posicionamento dinâmico

Descrição dos eventos que ocasionaram o blackout parcial 480V (Ship Service 1 e 4).

Por volta das 11:20 horas (21/03), o sistema passou a apresentar pico de corrente no Ship Service 1 – Operador passou a verificar no sistema qual carga poderia ser remanejada. Tomando as seguintes ações:

- 1) Verificou que estava com a Sea Water Cooling Pump 3 na linha;
- 2) Verificou em uma planilha, que a SWC Pump 2 não estava sendo alimentada pelo Ship Service 1;
- 3) Por volta de 12:25, optou por ligar a Sea Water Cooling Pump 2;
- 4) Estabilizada a pressão de água salgada no sistema de refrigeração, realizou o comando de parada da SWC Pump 3;

Consequências:

- Por volta das 12:27 ocorreu uma sobrecarga, provocando o trip (Proteção ANSI 51 – Sobrecorrente Temporizada) no disjuntor do Ship Service 1;
- O Ship Service 4 assumiu as cargas do MCC 2 e MCC 6 através do “Change Over” Automático, essas que estavam sendo alimentadas pelo Ship Service

1. Por volta de 12:28 ocorreu sobrecarga no equipamento devido a adição dessas cargas abrindo assim o disjuntor (ANSI 51 TRIP).

Após restabelecimento da alimentação de 480V do Ship Service 1 e 4, identificamos vazamento no sistema de refrigeração do breaking resistor de bombordo. Iniciamos o reparo no sistema de refrigeração, indisponibilizando Top Drive, Drawworks 3 e 4 (Atividade concluída).

Sequência dos Eventos (K-Chief):

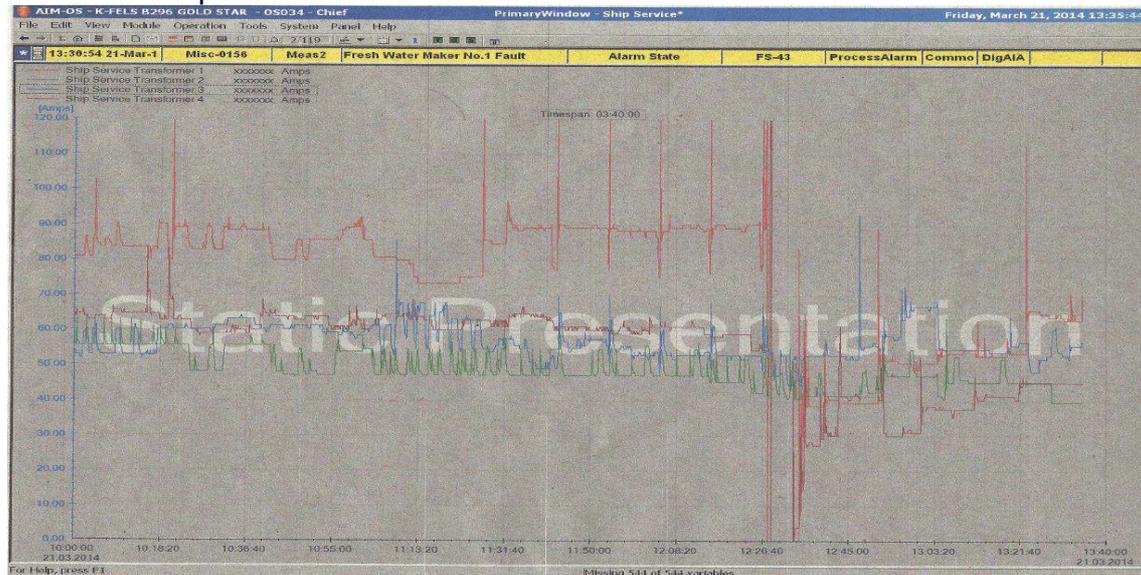
Figura 20 – Página do histórico de alarmes

12:27:46	21-Mar-1	MVSB-05A-CB	CBTripped	Ship Service Transformer 1 Breake	Alarm State	FS-62	ProcessAl	Power	DigAlAc	
12:27:46	21-Mar-1	MCC-E1-B1-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-1 Main Bus-1 Black	Alarm State	FS-51	ProcessAl	Power	DigAlAc	A B
12:27:46	21-Mar-1	MCC-E2-B1-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-2 Main Bus-1 Black	Alarm State	FS-51	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:27:46	21-Mar-1	MCC-C2-BLKOUT	Meas2	480VAC MCC-2 Main Bus Blackout	Alarm State	FS-51	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:27:46	21-Mar-1	MCC-C6-BLKOUT	Meas2	480VAC MCC-6 Main Bus Blackout	Alarm State	FS-53	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:27:46	21-Mar-1	VMCC1-B1-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-1 Main Bus-1 Black	Alarm State	FS-62	ProcessAl	Power	DigAlAc	
12:27:46	21-Mar-1	MVSB-05A-CB	Error	Ship Service Transformer 1 Breake	Breaker Error	FS-62	ProcessAl	Power	Normal	
12:27:46	21-Mar-1	MCC-E1-B1-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-1 Main Bus-1 Black	Alarm State	FS-51	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:27:46	21-Mar-1	MVSB-05A-CB	Error	Ship Service Transformer 1 Breake	Breaker Error	FS-62	ProcessAl	Power	DigAlAc	
12:27:46	21-Mar-1	MVSB-05A-CB		Ship Service Transformer 1 Breake	Breaker opened	FS-62	ProcessM	Power	Normal	
12:27:46	21-Mar-1	MCC-E3-MS-13C		Engine Rm #1 Supply Fan MS-13C	Remote control	FS-51	ProcessM	HVAC	Normal	
12:27:46	21-Mar-1	MCC-E3-MS-13C		Engine Rm #1 Supply Fan MS-13C	Remote control	FS-51	ProcessM	HVAC	Normal	
12:27:45	21-Mar-1	MSBA1-WC-003		Central Sea Water Cooling Pump #	Stopped	FS-62	ProcessM	Machine	Normal	

12:28:28	21-Mar-1	MCC-E5-B2-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-6 Main Bus-2 Black	Alarm State	FS-54	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:28:28	21-Mar-1	MCC-E6-B1-BKOUT	Meas2	480VAC MCC-6 Main Bus-1 Black	Alarm State	FS-54	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:28:28	21-Mar-1	MCC-C1-BLKOUT	Meas2	480VAC MCC-1 Main Bus Blackout	Alarm State	FS-51	ProcessAl	Power	DigAlAc	A
12:28:28	21-Mar-1	MVSB-15B-CB		Ship Service Transformer 4 Breake	Breaker opened	FS-69	ProcessM	Power	Normal	
12:28:28	21-Mar-14	MCC-E3-MS-13C		Engine Rm #1 Supply Fan MS-13C	Remote control	FS-51	ProcessM	HVAC	Normal	
12:28:28	21-Mar-1	MCC-E1-ME-13A		Engine Rm #1 Exhaust Fan ME-13	Remote control	FS-51	ProcessM	HVAC	Normal	
12:28:28	21-Mar-1	MCC-E1-MS-13A		Engine Rm #1 Supply Fan MS-13A	Remote control	FS-51	ProcessM	HVAC	Normal	

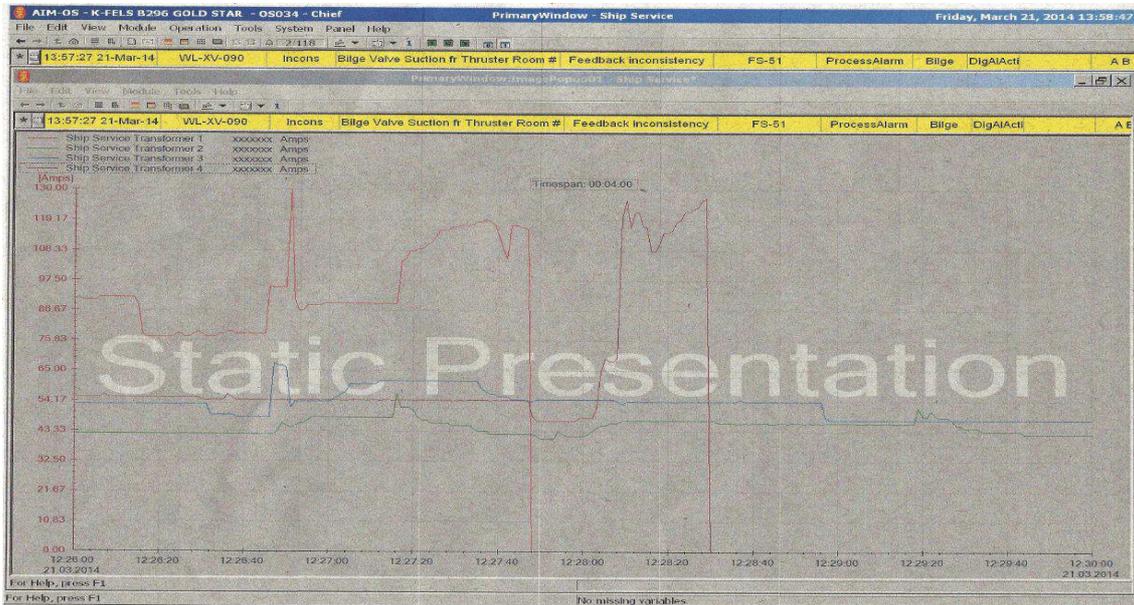
Fonte: Queiroz Galvão, plataforma Gold Star

Figura 21 – Gráfico dos picos de correntes em todos os transformadores de serviço. Detalham os picos de correntes nos transformadores 01 e 04.



Fonte: Queiroz Galvão, plataforma Gold Star

Figura 22 – Gráfico do momento do blackout nos transformadores de serviço 01 e 04.



Fonte: Queiroz Galvão, plataforma Gold Star

As figuras 20, 21 e 22, possuem muitos detalhes de informação, na figura - 20 podemos observar o cronograma de todas as falhas que ocorreram até o momento do blackout, dessa maneira é possível avaliar quais foram os erros cometidos e tomar as ações corretivas para recuperar o sistema. Já na figura- 21 fica bem claro os picos de corrente no transformado de serviço #01 e após o blackout do transformador de serviço #01, o início dos picos de corrente no transformador de serviço #04 e logo em seguida o blackout no transformador de serviço #04. No gráfico da figura – 22, mostra o momento do blackout em ambos geradores com mais detalhe.

6.2.3 Conclusões do ocorrido no blackout

Após análise do problema, concluído que a falha foi ocasionada pela má referencia do diagrama de 480V feita pelo operador e pela inobservância do funcionamento do sistema de água salgada principal. O sistema de refrigeração de água salgada

trabalha no máximo com três bombas de água salgada, no momento em que o operador adicionou mais uma bomba na linha de refrigeração foi cometido o primeiro erro, pois com essa ação ele elevou a pressão de água salgada no anel principal, rompendo assim uma linha de água salgada no sistema de dissipação de energia pelos bancos de resistores dos equipamentos da plataforma (Top Drive, Drawworks #3 e #4). Antes de ser adicionada mais uma bomba no sistema, deveria ser parada a bomba de Sea Water Cooling #03 e após isso ser ligada a bomba de Sea Water Cooling #02, mesmo que houvesse uma queda de pressão no anel principal de refrigeração essa manobra gastaria no máximo um minuto, o que não acarretaria nenhum aumento de temperatura nos equipamentos que são arrefecidos pela sistema de água salgada principal. Com acréscimo de mais uma bomba e a leitura errada do plano elétrico da planta de gerenciamento de energia elétrica (PMS), foi adicionado mais carga elétrica no transformado de serviço geral #01 ocorrendo o blackout, a automação do sistema alinhou a carga elétrica para o transformador de serviço gerais #04 que também não foi capaz de segurar a carga ocorrendo o Blackout nesse transformador também.

A planta de gerenciamento de energia elétrica e seccionado em dois barramentos principais. O barramento #01 possui os transformadores #01 e #02 e o barramento #02 possui os transformadores #03 e #04. Após o blackout parcial o sistema atual com uma proteção conhecida como Power Reduction, reduzindo a carga de todos os equipamentos que não são essências para manter o posicionamento dinâmico da plataforma. Dessa forma todos os equipamentos de perfuração tem suas cargas reduzidas a zero e inicia-se um procedimento operacional conhecido como posição de hang-off no caso da plataforma perder a posição, nós não iremos detalhar nesse trabalho os detalhes dos procedimentos de fechamento do poço, pois fugiria um pouco dos nossos objetivos. O sistema de gerenciamento de energia sempre ira priorizar o posicionamento dinâmico essa é a segurança da plataforma e das operações. Gostaria de observar que mesmo ocorrendo o blackout parcial a posição da sonda foi mantida e toda planta estabelecida rapidamente em aproximadamente 30 segundos. Devido o problema causado na linha de refrigeração dos bancos de resistores a operação na plataforma foi sim prejudicada por mais tempo, gerando prejuízo financeiro para empresa.

6.2.4 Ações Mitigadoras

- Feito revisão e instruído operadores da sala de controle sobre as corretas ações a serem tomadas em condições como as mencionadas.
- Passado modo “Change Over” dos breakers dos MCC’s de “Auto” para “Manual”.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de geração é o coração de todas as plataformas, sejam elas, de perfuração ou produção. Nenhum equipamento funcionaria com esses sistemas debilitados, por essa razão a grande importância em entender e operar a planta de geração de energia elétrica.

Nessa monografia, tentamos esgotar a importância de uma boa escolha do PMS para evitar blackout, além de comparar as vantagens e desvantagens da geração com turbo geradores ou motores diesel. Detalhamos os ciclos termodinâmicos envolvidos, concluindo o trabalho com exemplo de um blackout real e detalhando todo o ocorrido, dessa forma utilizando os ensinamentos que foram transmitidos para experiências futuras.

Desse forma nos estudos de casos que foram mostrados, nas situação de corte de carga o sistema ira remover as cargas não essenciais priorizado sempre o posicionamento dinâmico, assim como na situação real de blackout parcial. Esse trabalho mostra que todos os equipamentos tem que está adequados para cada operação. Na perfuração em sondas de posicionamento dinâmico o tempo de resposta do sistema tem que ser muito rápido, quando comparado com uma sonda de produção, pelas particularidades dessa plataforma.

Para evitar surpresas desagradáveis, semelhante a que foi exemplificada em situação de blackout, todos operadores devem possuir especialização no PMS da plataforma. Testes de blackout total e parcial devem ser realizados com frequência garantindo que as falhas sejam corrigidas para que as mesmas não apareçam quando o sistema for solicitado. As revisões mecânicas das turbinas e motores diesel devem está de acordo com o determinado pelo fabricante, assim como os geradores devem também seguir o seu plano de manutenção elétrico.

Mostramos que a escolha correta de um sistema de gerenciamento de energia, somado com o conhecimento técnico e uma boa manutenção preventiva e preditiva irá garantir a segurança e a eficiência das operações. Finalizamos esse trabalho com o objetivo de auxiliar em problemas futuros que ocorram no sistema de geração de energia abordo das plataformas de perfuração ou produção de petróleo e gás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, Pedro. **Man diesel e turbina**. Ed. Man, Rio de Janeiro, 2013.
- MEIRELES, Alfredo S.; VERSTEEGH, Richard A. **Fundamentos de posicionamento dinâmico**. 1º ed, Ed. Blucher, São Paulo.
- MENEZES, Ernani do Livramento de. **O uso de turbina a gás para geração de energia elétrica em plataformas**. 2011.
- PETROBRAS. Manual do programa de segurança em posicionamento dinâmico, Macaé, Brasil, 1989.
- PETROBRAS. Prevenção e controle de kicks, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- PETROBRAS. Recursos críticos de segurança de poço: Equipamento e capacitação de pessoal, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- QUELHAS, André Domingues; et al. **Processamento de petróleo e gás**. Ed. LTC, Rio de Janeiro.
- QUEIROZ GALVÃO. **Manual de operação do sistema de gerenciamento de energia da plataforma gold star**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- SANTOS, Otto Luiz Alcântara. **Segurança de poço na perfuração**. Ed. Blucher, São Paulo.
- THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2º ed, Ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- MOTOR de combustão interna. Disponível em: <www.ufpel.edu.br>. Acesso em: 28 abr. 2014.
- TURBINA para cogeração. Disponível em: <www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br>. Acesso em 01 maio 2014.

