

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA

IRINEU FERNANDES DA SILVA

**DIESEL GERADORES FUNCIONANDO EM BAIXA CARGA: problemas e solução
técnica adotada no modelo Rolls-Royce B32:40V12A-2.CD
da plataforma Sevan Brasil**

RIO DE JANEIRO

2014

IRINEU FERNANDES DA SILVA

**DIESEL GERADORES FUNCIONANDO EM BAIXA CARGA: problemas e solução
técnica adotada no modelo Rolls-Royce B32:40V12A
da plataforma Sevan Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

RIO DE JANEIRO

2014

IRINEU FERNANDES DA SILVA

**DIESEL GERADORES FUNCIONANDO EM BAIXA CARGA: problemas e solução
técnica adotada no modelo Rolls-Royce B32:40V12A
da plataforma Sevan Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho à minha esposa, Rebeca Nagle, por ter sido minha sempre presente colaboradora.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Agostinho Albuquerque da Silva e Antonia Fernandes da Silva, por sempre terem me incentivado aos estudos e pelo exemplo que me deram.

À minha digníssima esposa, Rebeca Nagle, por ser meu grande apoio e ter se mostrado compreensiva nos momentos dedicados à realização deste curso, sou eternamente grato.

Aos Professores. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro e Raquel da Costa Apolaro pelo incentivo a este trabalho e apoio para realização do mesmo.

Aos OSM Hans Binnekamp e Daniel Merino Villagaray que são os Chefe-de-Máquinas da Sevan Brasil, ao Comandante Jef's Jegers da Sevan Brasil e ao Eng^o Rafael Fontana, Gerente da Sevan Brasil. Estes tornaram possível para mim o ingresso neste curso.

E é por Cristo que temos tal confiança em Deus; não que sejamos capazes, por nós, de pensar alguma coisa, como de nós mesmos; mas a nossa capacidade vem de Deus.
2 Coríntios 3:4-5

RESUMO

Geradores a diesel funcionando sob baixa carga sofrem diversos problemas, sendo o mais notável deles, a carbonização. Além disso, emitem mais poluentes por unidade de combustível queimado que se estivessem a plena carga. O bom funcionamento de geradores diminui a emissão de poluentes que é regulada por órgãos e convenções internacionais tais como a convenção MARPOL 73/78 da IMO. Por razões operacionais e de segurança, é necessário que geradores permaneçam por longos períodos funcionando em baixa carga. O presente trabalho aborda e explica esses problemas sofridos pelos motores e os poluentes gerados. Estes, já ao saírem das chaminés dos motores afetam diretamente e em curto prazo a tripulação e as operações da unidade. Esse trabalho trata-se de uma abordagem descritiva tendo como elemento de estudo de caso o que ocorre na plataforma de perfuração Sevan Brasil, situação muito semelhante ao que ocorre em diversas embarcações de apoio marítimo e outras sondas de perfuração, onde seus oito geradores normalmente funcionam por vários dias com carga abaixo de 30%, sendo que, na Sevan Brasil, três geradores sofreram modificações em seus sistemas de injeção de combustível. Essas modificações geraram resultados positivos. No entanto, existe ainda muito a ser melhorado neste aspecto da geração de energia e principalmente a redução de emissão de poluentes.

Palavras-chave: Diesel. Geradores. Carbonização. Baixa carga. MARPOL. Poluição.

ABSTRACT

Diesel generators operating under light load suffer many problems, the most notable of them, carbonization. Furthermore, they emit more pollutants per unit of fuel burned than if they were running at proper load. The proper functioning of generators decreases the emission of pollutants that are regulated by international organizations and conventions such as MARPOL 73/78 and IMO. Due to safety and operational reasons, it is necessary to keep generators running under light load during long periods. This research work discusses and explains these problems suffered by the engines and pollutants generated. These pollutants as soon they come out from the engines' exhausts affect in short-term the crew and the vessel's operations. This work is a descriptive approach using a study of case element that occurs on drilling rig Sevan Brazil, which is a situation very similar to what occurs in various offshore support vessels and other drilling rigs, where there is eight generators typically operate for several days with load below 30%, and, on Sevan Brasil, three generators have received modifications in their fuel injection systems. These modifications led to positive results. However, there is still much to be improved in this aspect of power generation and especially the reduction of emissions.

Keywords: Diesel. Generators. Carbonization. Light load. MARPOL. Pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Zonas de combustível injetado	16
Figura 2 -	Esquema de uma chama de diesel com temperaturas e química	16
Figura 3 -	Visão geral do PMS	18
Figura 4 -	Motor Bergen B32:40V12A-2.CD	19
Figura 5 -	<i>Wet stacking</i>	23
Figura 6 -	Arranjo geral na elevação 32 500 cm	25
Figura 7 -	PMS com 4 DG's no barramento	27
Figura 8 -	Parâmetros do DG 2 em baixa carga	28
Figura 9 -	PMS com 6 DG's funcionando	29
Figura 10 -	Parâmetros do DG 1 em baixa carga	30
Figura 11 -	Parâmetros do DG 2 em baixa carga	30
Figura 12 -	Parâmetros do DG 3 em baixa carga	31
Figura 13 -	Parâmetros do DG 6 em baixa carga	31
Figura 14 -	Parâmetros do DG 7 em baixa carga	32
Figura 15 -	Parâmetros do DG 8 em baixa carga	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Parâmetros do PMS com 6 DG's no dia 11/09/2014 as 00:18h	33
Tabela 2 -	Comparativo entre gases dos DG's 1, 2 e 3	33
Tabela 3 -	Ajuste do avanço da injeção no DG 1	36
Tabela 4 -	Ajuste do avanço da injeção no DG 3	36
Tabela 5 -	Ajuste do avanço da injeção no DG 4	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	COMBUSTÃO EM MOTORES DIESEL	12
2.1	Combustão estequiométrica	13
2.2	Injeção de combustível	14
2.2.1	Atomização	14
2.2.2	Vaporização	14
2.2.3	Autoignição	15
2.2.4	Combustão	15
2.3	Óxidos de nitrogênio formados durante a combustão (NO_x)	16
3	DESCRIÇÃO DA PLANTA GERADORA DE ENERGIA	18
4	PROBLEMAS SOFRIDOS POR MOTORES EM BAIXA CARGA	21
4.1	Carbonização	21
4.2	Vitrificação (<i>Glazing</i>) das camisas	23
4.3	Fumaça produzida em excesso	24
5	CONFIGURAÇÃO USUAL DO PMS A BORDO DA SEVAN BRASIL	26
5.1	Parâmetros de funcionamento de cada gerador em funcionamento	29
6	SOLUÇÕES ADOTADAS NA SEVAN BRASIL	35
6.1	Substituição dos bicos dos injetores por bicos de baixa emissão (<i>Low emission nozzles</i> – LEN, E67)	35
6.2	Redução do ângulo de avanço a injeção	35
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
	Anexo A - Relatório técnico - Michael Stoller Rolls-Royce service report	41
	Anexo B - SEVAN BRASIL – Services on DG's Bergen B32:40V12A RM 5868/14	43

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é uma pesquisa do tipo estudo de caso que relata um problema cada vez mais constante a bordo de plataformas de construção de poços marítimos bem como em navios cujas operações requerem que os mesmos fiquem períodos demasiadamente longos parados ou navegando a velocidade muito reduzida em áreas cujas águas são calmas e condições meteorológicas bem suaves.

Esta situação imprime sobre os motores diversos problemas sendo a carbonização prematura e excessiva, o principal. A carbonização é também responsável por ocasionar diversas falhas prematuras, perda de potência do motor e redução da vida útil de diversas de suas peças. Os inconvenientes permeiam por diversos setores da unidade marítima. Conforme explicado no decorrer deste trabalho, um gerador diesel funcionando em regime de baixa carga, tende a trabalhar consumindo uma mistura cuja concentração de combustível é maior que a adequada para o oxigênio existente na câmara de combustão. Esse excesso de combustível não é queimado completamente, eis aí a fonte da carbonização e seus demais inconvenientes.

Algumas medidas podem ser adotadas a fim de que esta situação seja ao menos amenizada reduzindo danos aos motores e ao meio ambiente.

O normal é que o gerador seja dimensionado adequadamente para a carga mais usual da planta. No caso de plataformas e navios, existe uma quantidade de equipamentos muito maior do que a quantidade que é usada corriqueiramente, considerando o fato de que existe redundância de diversos equipamentos, existem equipamentos que só são usados durante operações específicas que estão em contrato comercial da unidade para serem realizadas esporadicamente. Desta forma, no meio marítimo, é bastante comum que os geradores sejam superdimensionados em relação à carga que é normalmente utilizada.

Durante a fase da pesquisa bibliográfica e levantamento e seleção das fontes não foram encontrados artigos científicos nem sites da internet em quantidade significativa sobre o tema deste trabalho.

A planta que é usada para este trabalho é a que está instalada na plataforma Sevan Brasil operada pela empresa Seadrill Limited que possui escritório no Rio de Janeiro mas que possui sede administrativa em Londres, Reino Unido.

2 COMBUSTÃO EM MOTORES DIESEL

Combustão de maneira geral pode ser definida por uma reação química envolvendo uma substância combustível, ou associação de várias substâncias, com o oxigênio, conhecido como comburente. Para que esta reação ocorra é necessária uma energia de ativação e que essa reação se torne uma reação em cadeia para a manutenção da mesma. O oxigênio é naturalmente encontrado na atmosfera e, ao nível do mar, a uma concentração de 23,2 % em massa e 20,95 % em volume. A energia de ativação é uma determinada quantidade de calor a depender do tipo do combustível. Este calor altera a temperatura do combustível de maneira tal que acima de determinado valor, a temperatura de ignição, este possa queimar-se.

No caso dos motores a diesel, o que ocorre é que o ar, após ser aspirado para o cilindro, passa a ser comprimido e tem sua temperatura demasiadamente aumentada. O diesel ao injetado na câmara de combustão é atomizado, função do bico injetor, e encontra o ar acima da sua temperatura de ignição. O ar transfere calor ao diesel e este explode. Os gases desta combustão têm grande pressão e empurram a cabeça do pistão.

O óleo diesel marítimo (MDO) é o combustível mais usado nas embarcações de apoio marítimo, plataformas de perfuração e em motores auxiliares em navios mercantes. Este diesel é de origem do refino do petróleo e por conta disto possui algumas impurezas que são comuns ao petróleo. Uma delas é o enxofre, que é responsável por causar danos ao motor bem como à atmosfera. Mas para efeito deste estudo, cujo enfoque são os efeitos da carbonização, considera-se o diesel como um hidrocarboneto puro possuindo a fórmula molecular média de $C_{13}H_{28}$ ¹.

Para os motores, a proporção entre as quantidades de ar e de combustível é muito importante. Este fator é chamado de razão ar-combustível. Quando esta relação é de maneira tal que existe um excesso de ar para a quantidade de combustível, é chamada de *mistura pobre*. Mas quando existe uma deficiência de ar, resultando em excesso de combustível, é chamado *mistura rica*. Mas quando existe uma devida proporcionalidade entre ar e combustível, ou seja, quantidade exata e necessária para queimar todo o combustível, é dado o nome de *mistura*

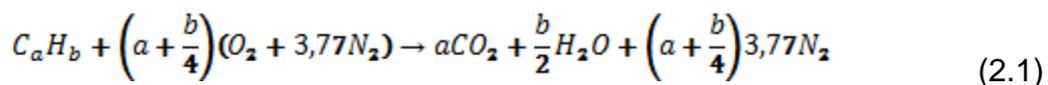
¹ VENTURI, V. et al. **Relação ar/combustível e consumo específico para formulações de diesel/biodiesel**. SBQ, 2007. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/eventos/30rasbq/resumos/T1173-1.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.

estequiométrica.

2.1 Combustão estequiométrica

Esta é a combustão que ocorre de tal maneira que a reação produza exclusivamente CO₂ e H₂O, considerando o combustível livre de impurezas e outros elementos químicos divergentes do carbono e do hidrogênio. Na prática, esta é uma situação muito improvável de acontecer pois demanda um controle muito rigoroso, apurado e permanente da quantidade de combustível injetado na câmara de combustão. Desta forma, os gases de escape seriam praticamente invisíveis pois para uma combustão estequiométrica de um combustível com nenhuma impureza (condições ideais) os únicos produtos seriam CO₂ e H₂O.

O normal é que haja um pequeno excesso de ar para que durante funcionamento do motor exista sempre oxigênio suficiente para a queima total (ou pelo menos a maior quantidade possível) do combustível. Isto é enfatizado pelo fato de que cada impureza do combustível tende a consumir também uma parcela do oxigênio dissolvido no ar. É o que ocorre com o enxofre que tende a formar os óxidos de enxofre junto com os gases de descarga. A equação química a seguir é a demonstração simples da combustão estequiométrica um hidrocarboneto geral.



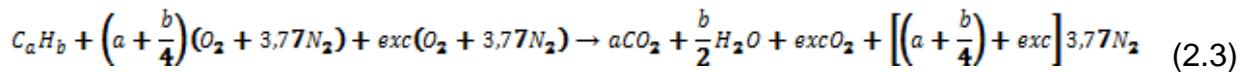
Coeficiente de excesso de ar (λ) é a relação entre a quantidade de oxigênio aspirado em mol e a quantidade de oxigênio em mol requerida para uma combustão estequiométrica para cada mol de combustível a ser queimado (fórmula 2.2). Este excesso de ar ajuda a prevenir a carbonização que será explicada a seguir.

$$\lambda = \frac{Ar_{real}}{Ar_{teórico}} \quad (2.2)$$

O excesso de ar (exc) é a diferença entre a quantidade de ar real (aspirada) e a quantidade de ar para a queima estequiométrica em mol. Segundo Garcia², para combustíveis líquidos a quantidade de excesso de ar deve ser entre 0 % a 18 %

² GARCIA, Roberto. **Combustíveis e combustão industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

A equação química a seguir é a demonstração simples da combustão com excesso de ar de um hidrocarboneto geral.



2.2 Injeção de combustível

O combustível é injetado na câmara de combustão no final do tempo da compressão. Normalmente o período de injeção dura em torno de 20° da rotação da árvore de manivelas. A duração deste período em motores diesel depende também da velocidade de rotação. O manual do motor B32: 40V12A-2.CD enviado à Sevan Brasil não fornece o período de injeção em graus, mas diz que em todos os oito motores daquela planta tiveram o devido ajuste para iniciar a injeção 7,0° antes do ponto morto superior, PMS (TDC – *top dead center*). Este parâmetro é chamado de ângulo de avanço de injeção. Para motores que funcionam a velocidades maiores, deve-se aumentar ligeiramente este ângulo de avanço³.

O redemoinho, a turbulência do ar e alta velocidade na qual o combustível é injetado são necessários para espalhar o combustível através da câmara de combustão e misturar bem.

Uma série de eventos ocorre após a injeção a fim de tornar possível o processo de combustão adequado.

2.2.1 Atomização

É o processo pelo qual o combustível é reduzido a partículas muito pequenas ao passar sob pressão pelos orifícios do bico injetor. Desta forma o combustível assume a forma de névoa no interior da câmara de combustão tendo maior área de contato com o ar e misturando-se ao mesmo devido ao seu movimento.

2.2.2 Vaporização

As gotículas de combustível líquido evaporam-se. Isto ocorre rapidamente

³ PULKRABEK, Willard W; **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

devido ao contato com o ar em alta temperatura após ser comprimido. Normalmente é necessário uma taxa de compressão mínima de 12:1 a fim de atingir essa temperatura mínima para que ocorra esta vaporização que ocorre em milésimos de segundo. A medida que a gotícula vai sofrendo a vaporização, a sua superfície inferior vai esfriando. Isso afeta significativamente a evaporação subsequente. Próximo ao núcleo do jato de injeção, a combinação de alta concentração de combustível e resfriamento devido à evaporação causará a ocorrência de saturação adiabática do combustível. O fluxo de calor para vaporização cessará naquela região e somente após mistura e calor adicional, o combustível tornará a sofrer vaporização.

2.2.3 Autoignição

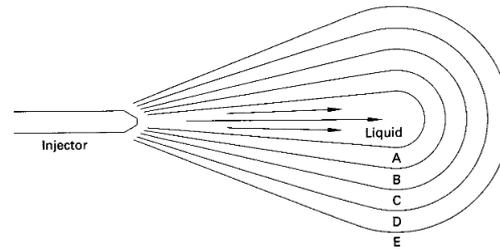
O combustível que foi vaporizado e misturado ao ar começa a sofrer a ignição após alguns graus à injeção. Na verdade, a reação de queima do hidrocarboneto é feita em várias etapas de maneira que ocorre a quebra das moléculas de hidrocarbonetos maiores em menores juntamente com alguma oxidação das mesmas. Desta forma, por serem exotérmicas, sempre a cada reação algum calor é liberado, aumentando a temperatura do ar de sua vizinhança, de maneira tal que essas reações tenham sustentação para ocorrer em cadeia.

2.2.4 Combustão

É a ocorrência, por algum período dessas reações em cadeia e ocorrendo em várias direções, promovendo um rápido aumento de temperatura e pressão no interior do cilindro.

A figura 1 abaixo ilustra um esquema de um jato de combustível de um motor por ignição a compressão mostrando zonas de ar e vapor de combustível cercando um núcleo de combustível líquido. Este núcleo é cercado por zonas sucessivas de vapor que são misturas ricas demais para queimar-se (A), mistura rica combustível (B), estequiométrica (C), mistura pobre (D), mistura pobre demais para queimar (E). a autoignição começa principalmente na zona B. Carbono sólido, fuligem, é formado majoritariamente nas zonas A e B.

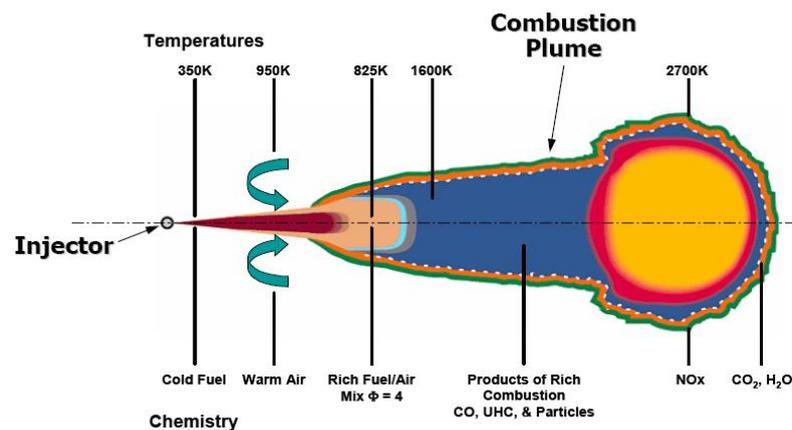
Figura 1 - Zonas de combustível injetado



Fonte: Engineering fundamentals of the internal combustion engine (Willard W. Pulkrabek)

A figura 2 mostra um esquema de uma chama de diesel com produtos e reagentes em suas respectivas camadas⁴.

Figura 2 - Esquema de uma chama de diesel com temperaturas e química



Fonte: Injector nozzle hole parameters and their influence on real DI diesel performance (Mikael Lindström)

2.3 Óxidos de nitrogênio formados durante a combustão (NO_x)

Nota-se que as duas equações químicas mostradas anteriormente não levam em consideração a formação de óxidos de nitrogênio, que são o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) durante a combustão. A denominação chamada de NO_x é a somatória dos óxidos anteriormente citados (NO + NO₂).

O que ocorre na prática é que existe sim a formação de NO_x em pequena quantidade durante a combustão, o que é indesejável pois é um poluente

⁴ CHARLTON S. J., **US Perspective on Engine Development**. SAE Heavy-Duty Diesel Emissions Control Symposium, 2007.

atmosférico e mais um consumidor de oxigênio dentro da câmara de combustão, justificando ainda mais a necessidade de excesso de ar na mistura.

A emissão desses óxidos é controlada por órgãos governamentais e internacionais, especialmente no caso de navios e plataformas *off-shore*, conforme está descrito no Anexo VI Capítulo I Artigo 2 Definição 5 e Capítulo III Artigo 13 da Convenção MARPOL 73/78 da Organização Marítima Internacional (IMO), bem como no Código Técnico Sobre o Controle da Emissão de Óxidos de Nitrogênio por Motores Diesel Marítimos, adotado pela Resolução 2 da Conferência MARPOL de 1997, conhecido como Código Técnico NO_x.

Os NO_x são responsáveis por danos ao meio ambiente e à saúde humana. Quando chegam à atmosfera, reagem na presença da luz solar formando ozônio (O₃). Este ozônio é troposférico, que fica na superfície da terra. O O₃ que se encontra na camada de ozônio é chamado de ozônio estratosférico. O ozônio é perigoso para saúde humana, provocando efeitos como tosses, desconforto e diminuição da capacidade pulmonar. Além disso, o NO_x, no ar, reage com a água formando o ácido nítrico, HNO₃ que também é grande responsável pela formação de chuvas ácidas.

A explicação detalhada do processo de formação desses óxidos é de complexidade considerável e não é objetivo deste trabalho. A produção deste poluente é determinada por parâmetros físicos e químicos da combustão, especialmente a taxa de liberação de calor. Esse mecanismo de formação de NO_x depende da pressão, da temperatura e tempo de permanência em que o N₂ fica em contato com o O₂ durante a combustão, da formação da chama (influenciada pelo número de Reynolds), da concentração dos reagentes, do projeto de queimadores e da câmara de combustão e da composição do combustível (MARTINS; FERREIRA, 2010). De acordo com o Código Técnico NO_x, quanto maior for a temperatura da combustão, maior será a quantidade de formação de NO_x.

De acordo com o Capítulo III Artigo 13 do Anexo VI da Convenção MARPOL 73/78, os limites para emissão de NO_x por motores diesel marítimos são:

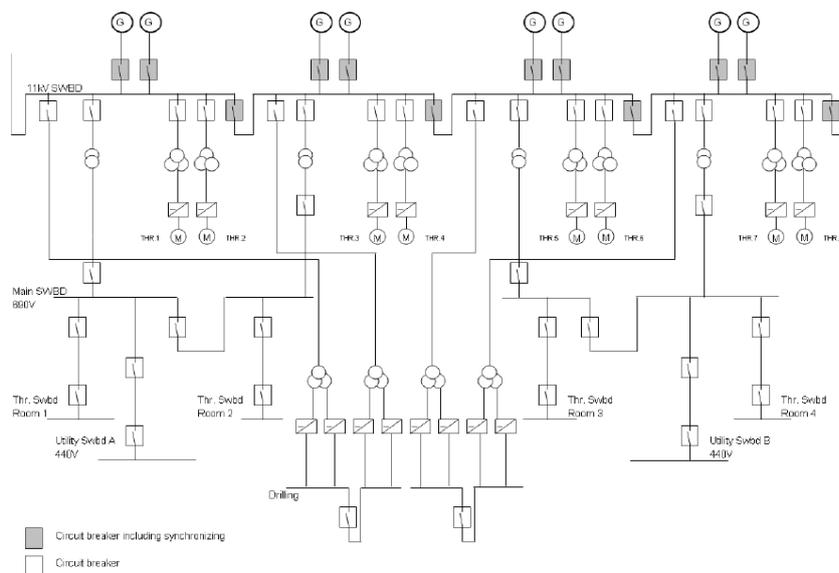
- a) 17,0 g/kW h, quando n for inferior a 130 rpm;
- b) $45,0 \times n^{0,2}$ g/kW, quando n for 130 ou mais, mas inferior a 2000 rpm;
- c) 9,8 g/kW h, quando n for 2000 rpm ou mais;

Onde n = velocidade nominal do motor (rotações do eixo de manivelas por minuto).

3 DESCRIÇÃO DA PLANTA GERADORA DE ENERGIA

A plataforma Sevan Brasil possui um PMS (Power Management System – Sistema de Gerenciamento de Energia) com oito geradores do modelo 1DK4538-8AM05-Z fabricado pela SIEMENS movidos a motores diesel. Cada gerador tem capacidade de 5 535 kW de potência ativa e 6 920 kVA de potência aparente, tensão nominal de 11 000 V, frequência de 60 Hz e rotação de 720 rotações por minuto (rpm). Os geradores são agrupados em quatro grupos de dois geradores, sendo cada grupo um sistema de geração auto suficiente, conforme demonstrado esquematicamente na figura a seguir:

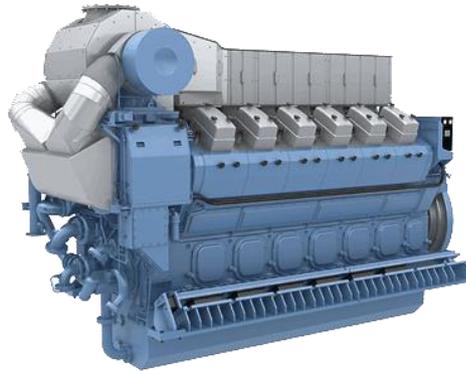
Figura 3 - Visão geral do PMS



Fonte: FUNCTIONAL Design Specification PMS (Siemens)

Os motores que acionam os geradores são quatro tempos, movidos a óleo diesel marítimo (MDO), fabricados pela Rolls-Royce, modelo B32:40V12A-2.CD (Figura 4).

Figura 4 - Motor Bergen B32:40V12A-2.CD



Fonte: www.rolls-royce.com

Este motor é dotado com as seguintes características⁵:

Rotação	720 rpm
Diâmetro do cilindro	320 mm
Curso do cilindro	400 mm
Razão de compressão	01:16,70
Número de cilindros	12 em "V"
Pressão Média Efetiva (P_{me})	24,9 bar
Potência Máxima	5 765 kW
Consumo específico de combustível	185 g/kWh
Consumo combustível em Potência Máxima	1 290 l/h
Consumo específico de Óleo Lubrificante	0,8 g/kWh
Turbo compressor tipo	ABB TPS-61F33
Resfriador de ar tipo	RR66/132
Consumo de ar em Potência Máxima	39 000 kg/h
Pressão de ar	3,2 bar
Temperatura de ar	55 °C
Alarme de velocidade do turbo compressor	33 989 rpm
Temperatura dos gases de escape após a turbina	325 °C
Fluxo de massa de gases de escape	40 100 kg/h
Fluxo após a turbina	68 800 m ³ /h
Fluxo com 90 % de carga	37 600 kg/h
Fluxo com 80 % de carga	34 400 kg/h

⁵ ROLLS-ROYCE. **Service manual: Engine type: Bergen B32:40V12A-2.Clean Design Engine no.:16149-56.** Bergen: Rolls-Royce Marine AS. 2011. 596p

Fluxo com 50 % de carga
Condições de referência:

22 300 kg/h

Potência do motor medida em teste de bancada seguindo procedimentos de acordo com a norma ISO 3046-1.

Temperatura do ar de entrada entre 25 °C e 0 °C.

Temperatura da água de arrefecimento (LT- *low temperature*, baixa temperatura) para o resfriador de ar com no máximo 42 °C

Umidade relativa do ar de 60%.

O consumo específico de combustível foi medido no teste de bancada de acordo com a norma ISO 3046-1 utilizando-se óleo diesel com poder calorífico de 42,7 MJ/kg sem bombas acopladas ao eixo. Em caso de existência de bomba acoplada ao eixo, 1 g/kW/h deve ser acrescido para cada bomba.

Representante da Bergen Rolls-Royce no Brasil:

Rolls-Royce Brazil

Tel:+55 21 2277 0100

Fax: +55 21 2277 0186

Endereço:

Rolls-Royce Brasil Ltda.

Av. Almirante Barroso 52 – 20º Andar

20031-000 Rio de Janeiro RJ - Brasil

Este tipo específico de motor apresenta a designação "CD" na referência de modelo. Esta sigla significa *Clear Design* que quer dizer "projeto limpo". *Clean Design* é um nível de classificação dado pelo DNV (Det Norske Veritas) que atesta que o motor foi construído com características tais que as suas emissões são em um nível 20% abaixo que o limite estabelecido pela IMO no Anexo VI da convenção MARPOL.

4 PROBLEMAS SOFRIDOS POR MOTORES EM BAIXA CARGA

O uso contínuo de um motor funcionando em baixa carga pode causar diminuição de seu desempenho, maior emissão de poluentes, consumo excessivo de combustível e até mesmos danos significativos devido as seguintes condições.

- a) Acúmulo de fuligem em válvulas de descarga, turbo compressores e coletores de descarga;
- b) Lubrificação pobre dos cilindros e selagem deficiente dos anéis de segmento;
- c) Vitrificação nas paredes das camisas;
- d) Consumo excessivo de óleo lubrificante;
- e) Excesso de combustível não queimado no sistema de descarga de gases.

4.1 Carbonização

Carbonização é o nome do processo pelo qual ocorre acúmulo de carbono sólido, cinzas, nas superfícies internas da câmara de combustão (estão também incluídos aqui a superfície do bico injetor e, conseqüentemente, obstrução dos orifícios de atomização do combustível), nas válvulas dos cabeçotes, nos turbo compressores e nos dutos de descarga. Esse acúmulo é decorrente da produção de cinzas oriundas de combustão incompleta do motor que trabalha com mistura rica, ou seja, deficiência de oxigênio e falha na combustão.

A maioria dos fabricantes de motores para geradores recomenda que o motor funcione a pelo menos 30% de carga da sua capacidade nominal. Sob esta capacidade, é possível evitar a carbonização e conseqüentemente o fenômeno de *wet stacking*, que será explicado posteriormente. Esta recomendação dar-se por conta de que todo gerador operando sob baixa carga tende a operação utilizando mistura rica e, por conseqüência, carbonizar-se.

Um motor sob baixa carga requer baixa quantidade de combustível para funcionar, embora seja uma quantidade maior que a necessária. Pouco combustível admitido produzirá pequena quantidade de gases na exaustão e, conseqüentemente, o turbo compressor funcionará a uma determinada rotação em que gerará um fluxo de ar comprimido de admissão em quantidade menor que a ideal para aquela queima. Desta forma, a combustão dar-se-á com mistura rica, já que o fluxo de ar está abaixo do ideal. Como em um ciclo vicioso, nesta situação, o sistema de

manutenção de carga e rotação do motor solicitarão uma demanda maior de combustível, tornando o consumo para aquela determinada carga maior que o teórico. Em síntese, o que ocorre em motores gerando energia em uma quantidade muito menor para a qual foi projetado é que a mistura ar-combustível a ser processada no interior da câmara de combustão será sempre rica. Paralelamente a essa situação, o motor tende a trabalhar com temperaturas dos gases de descarga e das paredes internas menores do que as recomendadas e ideais para o bom funcionamento da máquina.

Em uma câmara de combustão cujas paredes possuem temperaturas abaixo das ideais para a combustão, pois em baixa carga o sistema de arrefecimento supera a capacidade que o motor tem de produzir calor, tende a tornar mais difícil ainda a manutenção da reação da queima. Paredes frias naturalmente roubam calor do ar comprimido que seria utilizado para energia de ativação e manutenção da reação em cadeia da combustão. Esse fato afasta mais ainda o ciclo termodinâmico real do motor do modelo ideal que seria o Ciclo Diesel ou Ciclo Misto (também conhecido como Sabathé).

A combustão, pelo fato de ser deficiente e incompleta, terá produtos como carbono sólido, obviamente na forma alotrópica de grafite que é a fuligem ou cinza, e monóxido de carbono (CO), que é um gás tóxico e levemente inflamável, além dos usuais, água e dióxido de carbono (CO₂), que são os resultantes da combustão completa. As quantidades de produção de CO e cinzas dependerão do grau de deficiência de ar na razão ar-combustível.

A carbonização é responsável por diversos problemas no motor e, entre eles o fenômeno conhecido por *wet stacking*. Este fenômeno é caracterizado pelo acúmulo de combustível não queimado acumulado na fase líquida no lado da turbina (exaustão) do turbo compressor. O combustível mistura-se à fuligem e fica retido na saída da turbina, formando assim uma pilha (*stack*). O *wet stacking* é detectado por uma mancha negra e oleosa na saída dos tubos de descarga e justamente na saída do turbo compressor (figura 5).

4.2 Vitrificação (*Glazing*) das camisas

Figura 5 - *Wet stacking*



Fonte: <http://www.powercity.com.cn>

O combustível não queimado forma na parede da camisa uma camada semelhante a esmalte que interfere no contato dos anéis de segmento com a camisa. Esta camada promove um “excesso de lubrificação” que reduz a capacidade dos anéis de reter a combustão acima dos mesmos e o óleo lubrificante abaixo. Esta camada também é responsável por promover preenchimento das ranhuras naturais da camisa, responsáveis por permitir mais aderência ao óleo lubrificante. Desta forma, a lubrificação das camisas ficará deficiente. Caso esta situação aconteça por períodos longos, a solução única é a abertura dos cilindros e realizar limpeza do material e usar ferramenta abrasiva a fim de construir novamente as ranhuras das camisas.

Com a selagem dos anéis de segmento deficiente, torna-se possível a passagem de combustível não queimado que, misturado ao lubrificante, diminui sua viscosidade e torna-o perigoso podendo incendiar o cárter em casos extremos. Além disso, também pode ocorrer a passagem de fuligem e gases para o lado do óleo lubrificante, formando a tão prejudicial borra no sistema que é capaz de obstruir minúsculos orifícios de lubrificação e sujar filtros e assim diminuindo a pressão de lubrificação do sistema.

Por outro lado, o lubrificante que também não foi devidamente removido pelos anéis de segmento (no caso, o anel de raspagem), ao permanecer na câmara de combustão tende-se a participar da queima, produzindo ainda mais poluentes, aumentar a carbonização e a sua fumaça característica de cor azulada. Nesta situação, obviamente o consumo de óleo lubrificante e a emissão de poluentes aumentam.

4.3 Fumaça produzida em excesso

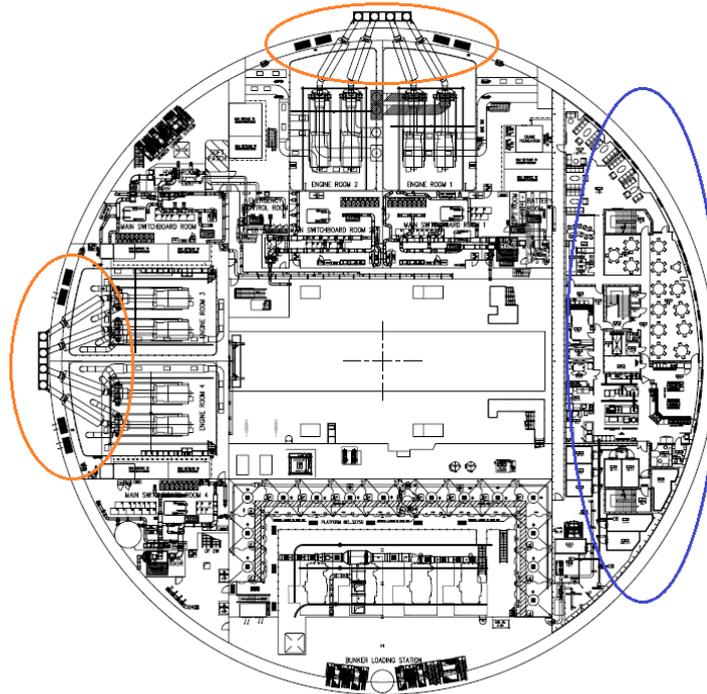
Este verdadeiramente é um problema causados pelos geradores em baixa carga que traz transtornos mais diretos e afeta a todos os tripulantes da Sevan Brasil. A fumaça que sai das chaminés dos geradores é escura, por conta do excesso de fuligem, gases como CO e NO_x, hidrocarbonetos gerados a partir de combustível queimado parcialmente, compostos de enxofre, etc.

Esta fumaça suja o convés, incomoda quem passa ou trabalha nas proximidades das chaminés, suja os filtros de admissão das diversas unidades de ar condicionado, ventilações da plataforma e das aspirações dos motores e, se levada pelo vento, incomoda ou impossibilita o trabalho no piso de perfuração.

Figura 6 mostra uma página do plano de arranjo geral⁶ na elevação 32 500 cm (piso logo abaixo do convés superior, *upper deck*). As chaminés descarregam na atmosfera a na elevação 36 500 cm, que é o convés superior. Estão marcadas em vermelho, quatro a bombordo (DG's 1, 2, 3 e 4) e as outras quatro na popa (DG's 5, 6, 7 e 8). Nota-se que a superestrutura onde se abrigam as acomodações e o passadiço está situada na proa da embarcação (em azul). O piso de perfuração localiza-se ao centro.

⁶ - COSCO Shipyard Group. **SM521 – SEVAN650 BRASIL DRILLING RIG. General Arrangement.** DWG No. N280-100-GA-01. Cosco: Jiangsu, 2011.

Figura 6 - Arranjo geral na elevação 32 500 cm



Fonte: SM521 – SEVAN650 BRASIL DRILLING RIG. General arrangement (COSCO)

5 CONFIGURAÇÃO USUAL DO PMS A BORDO DA SEVAN BRASIL

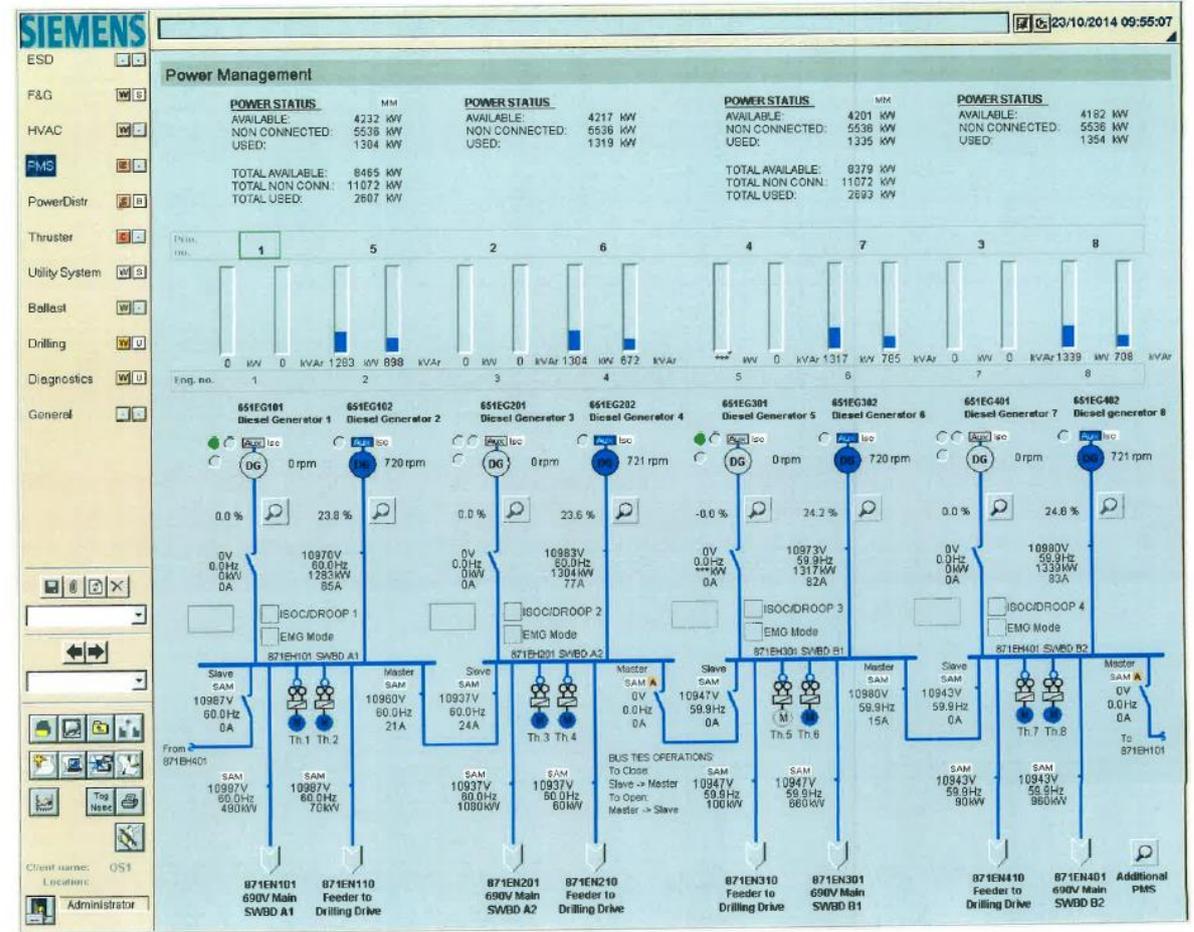
Quando a plataforma está navegando, todos os barramentos são ligados entre si formando um barramento único. Caso a unidade esteja em operação, em situação de condições meteorológicas adversas, o procedimento determina que seja realizada a abertura de todos os disjuntores que unem os barramentos a fim de ajustar para a configuração chamada de *4-split*, que denota os quatro barramentos segregados.

Por força de contrato, o PMS daquela unidade é configurado, quando a unidade está em DP (posicionamento dinâmico), operando, conectada ao poço ou não e em condições normais de tempo que é quando o mar está calmo, ou não demasiadamente revoltado, e ventos a baixa velocidade, de tal maneira que fique pelo menos um motor em casa barramento A1, A2, B1 e B2. Sendo que os barramentos A1 e A2 são ligados entre si através de disjuntores de 11 kV. Do mesmo modo, os barramentos B1 e B2 são ligados entre si, formando assim uma configuração de barramento segregado em *2-split*. Esta é a configuração para operação normal.

Nesta configuração normal, tem-se dois geradores no mínimo em cada lado, que corresponde a dois barramentos ligados entre si. Mesmo que a carga seja muito pequena a ponto de apenas um gerador em cada barramento ser capaz de suprir a carga existente naquele barramento, dois geradores devem ser mantidos na linha por questão de contrato, disponibilidade e redundância. Desta forma, por longos períodos esses motores trabalham com baixa carga variando de 20 até 50%, quando é acionado automaticamente um terceiro gerador para aquele determinado barramento. Configurando assim, geradores funcionando em baixa carga.

A figura 7 mostra a situação que é a mais corriqueira na Sevan Brasil enquanto está operando normalmente. Quatro diesel geradores (DG's) operando em baixa carga e suprindo toda a demanda necessária, enquanto outros quatro em *stand-by*. Esses dados foram coletados no dia 23 de outubro de 2014 as 09:55h.

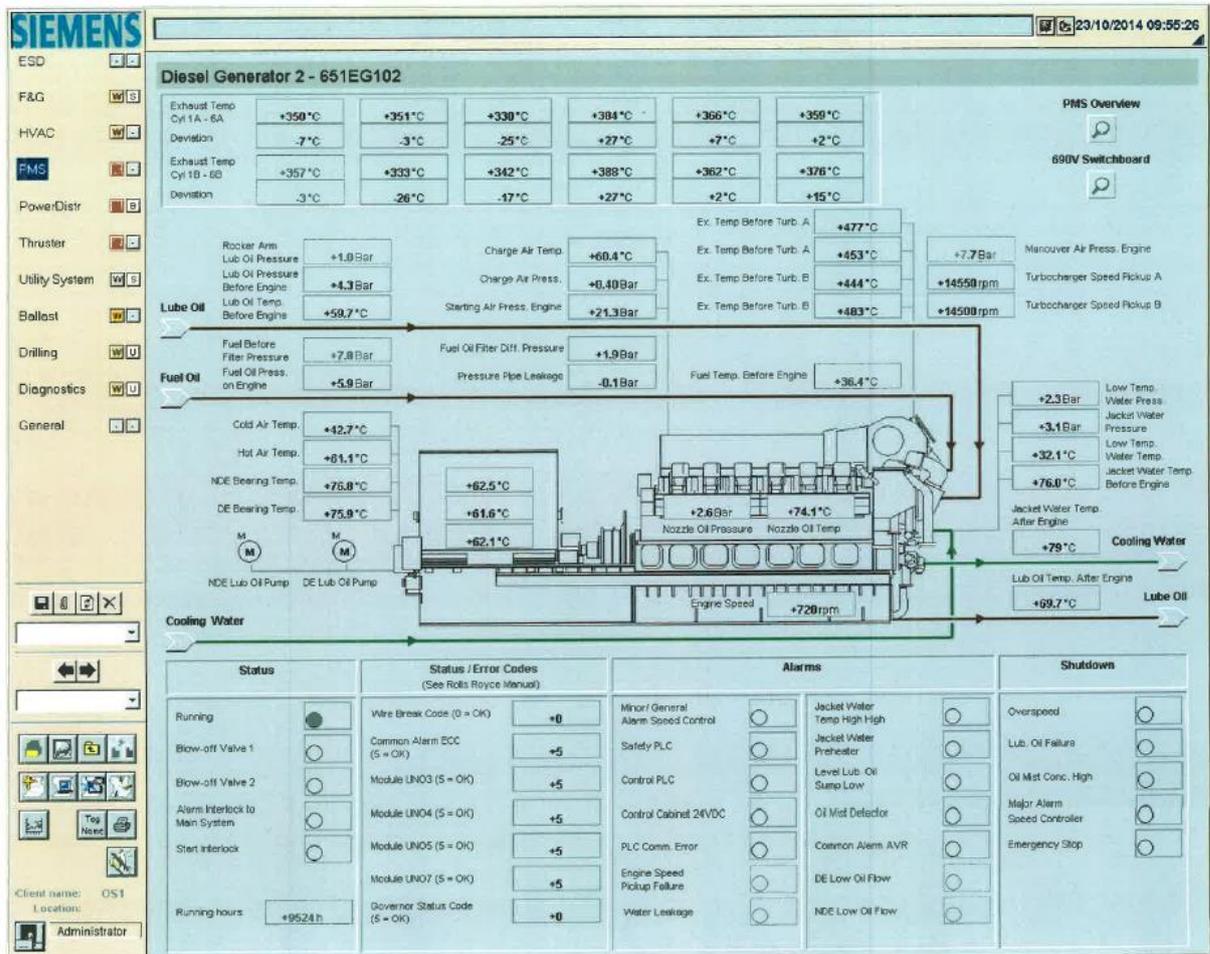
Figura 7 - PMS com 4 DG's no barramento



Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

A figura 8 mostra os dados do funcionamento do gerador 2 que naquele instante estava com 23,8% de carga. Por consequência disso, tinha-se pressão de ar de admissão a 0,40 bar e turbo compressores funcionando a 14 550 rpm e 14 500 rpm. O demais geradores por estarem sob carga semelhante, esses parâmetros de funcionamento também são semelhantes. Nesta situação de carga, caracteriza-se uma condição de carbonização nesses motores.

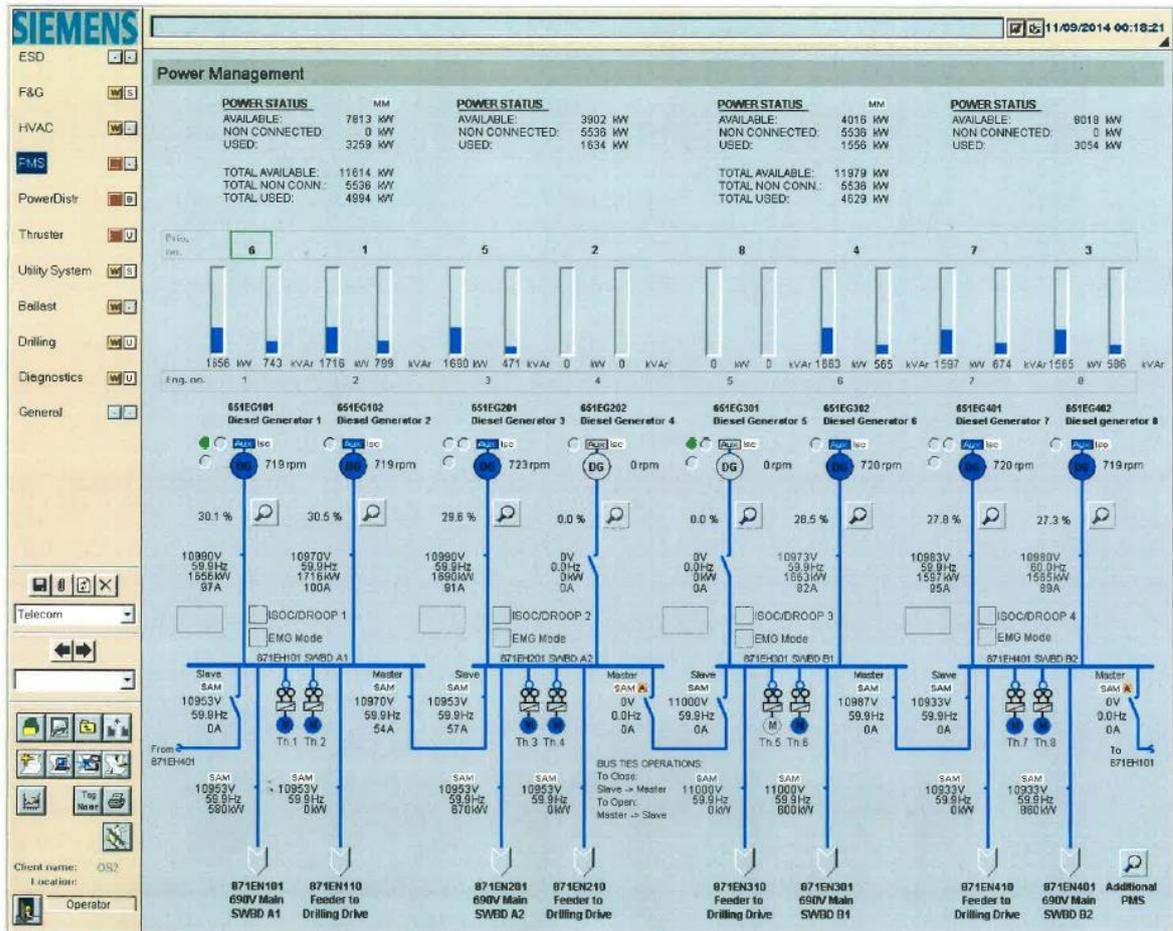
Figura 8 – Parâmetros do DG 2 funcionando em baixa carga



Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Na situação mostrada na figura 9 tem-se uma situação que existem três geradores em cada seção de dois barramentos (*split*). Também estão em baixa carga, de um lado estão a 30% de carga e do outro a 28%.

Figura 9 - PMS com 6 DG's funcionando



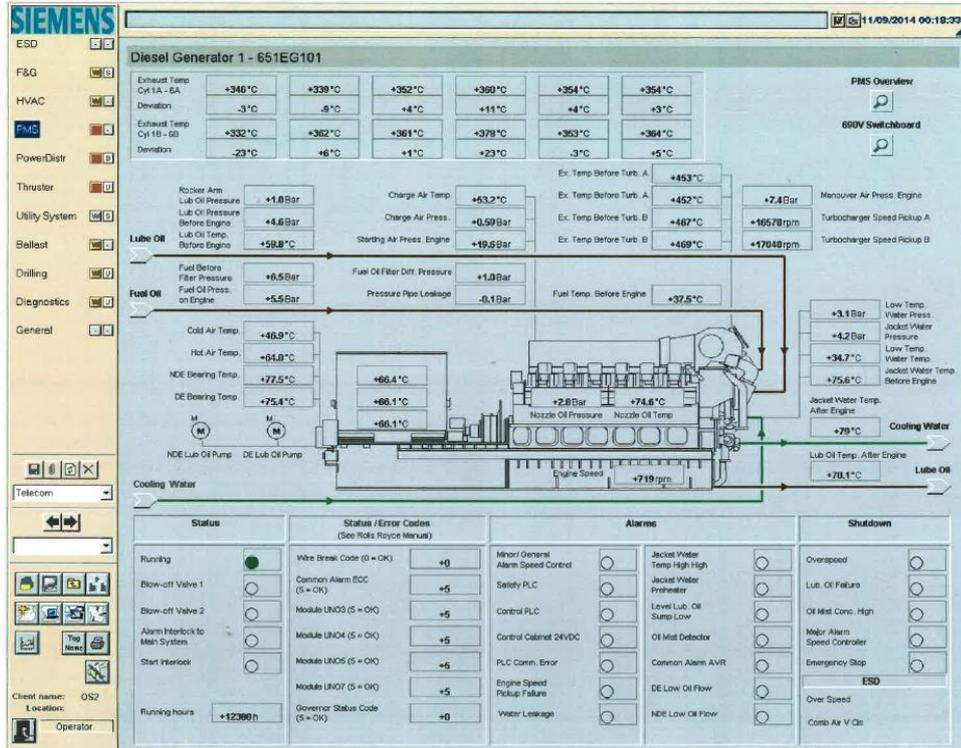
Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Esses dados, juntamente com os das outras imagens que mostram individualmente cada gerador, foram coletados no dia 11 de setembro de 2014, às 00:18h. Naquela noite, as condições meteorológicas estavam moderadas, por conta disso, havia um motor a mais em cada barramento, totalizando os seis, tendo dois em *stand-by*.

5.1 Parâmetros de funcionamento de cada gerador em funcionamento

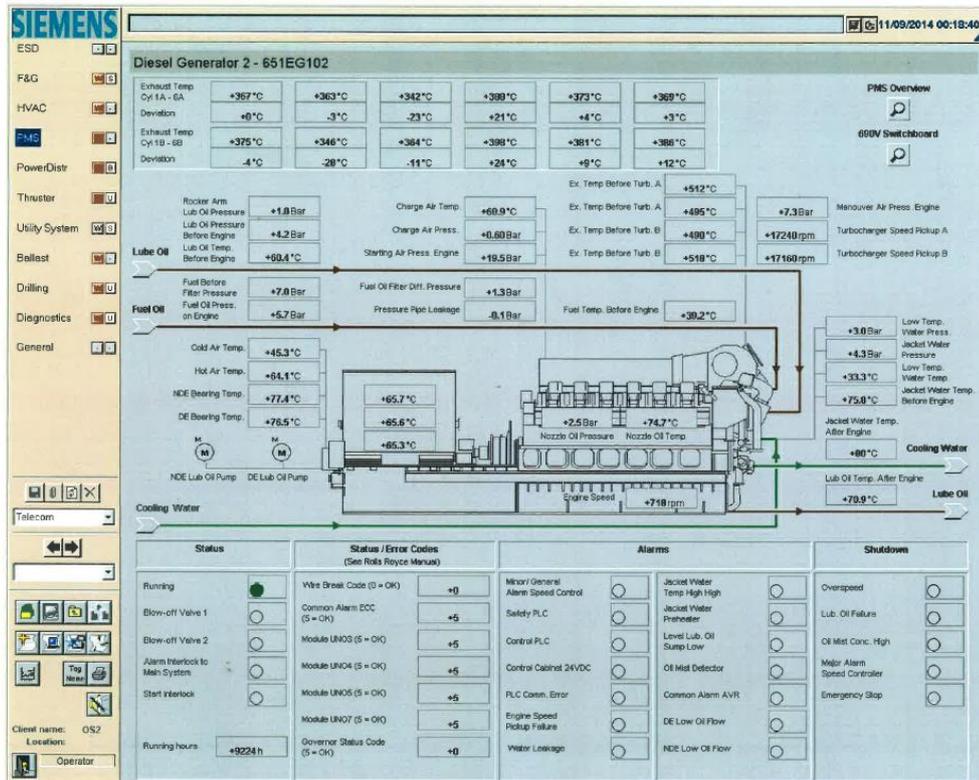
Serão mostradas nas figuras a seguir as imagens das telas do PMS mostrando os estados de funcionamento dos motores e seus respectivos parâmetros cada qual em sua tela própria.

Figura 10 - Parâmetros do DG 1 em baixa carga



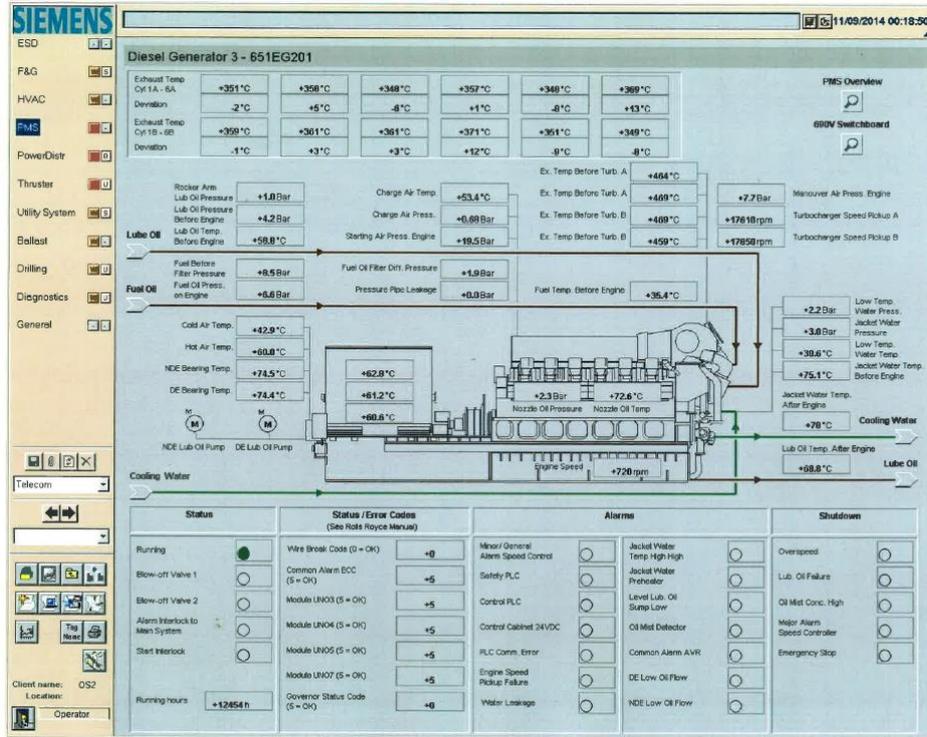
Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Figura 11 - Parâmetros do DG 2 em baixa carga



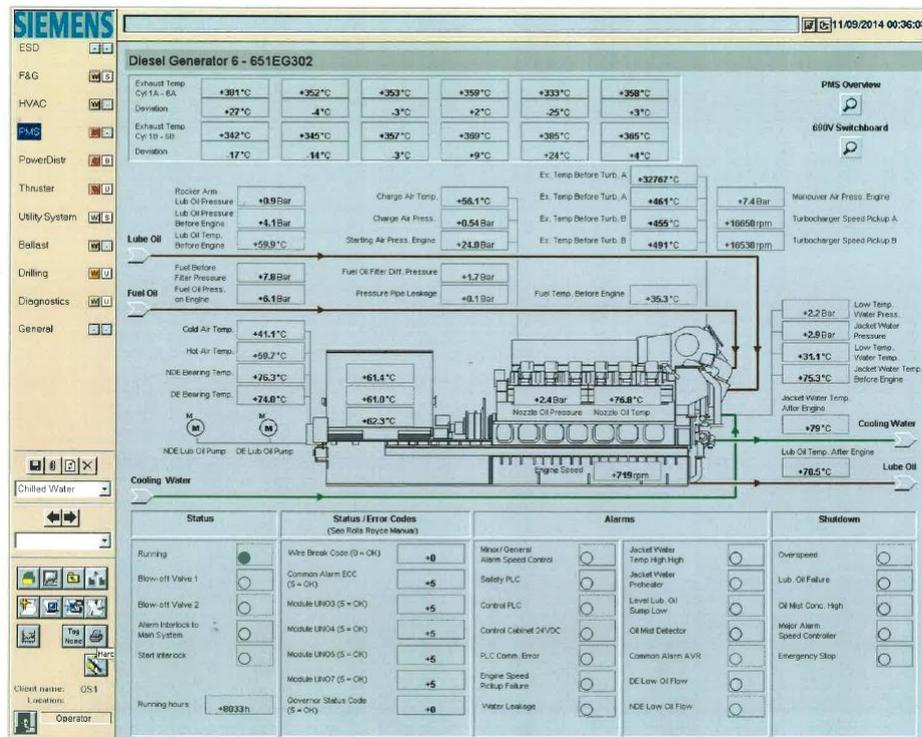
Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Figura 12 - Parâmetros do DG 3 em baixa carga



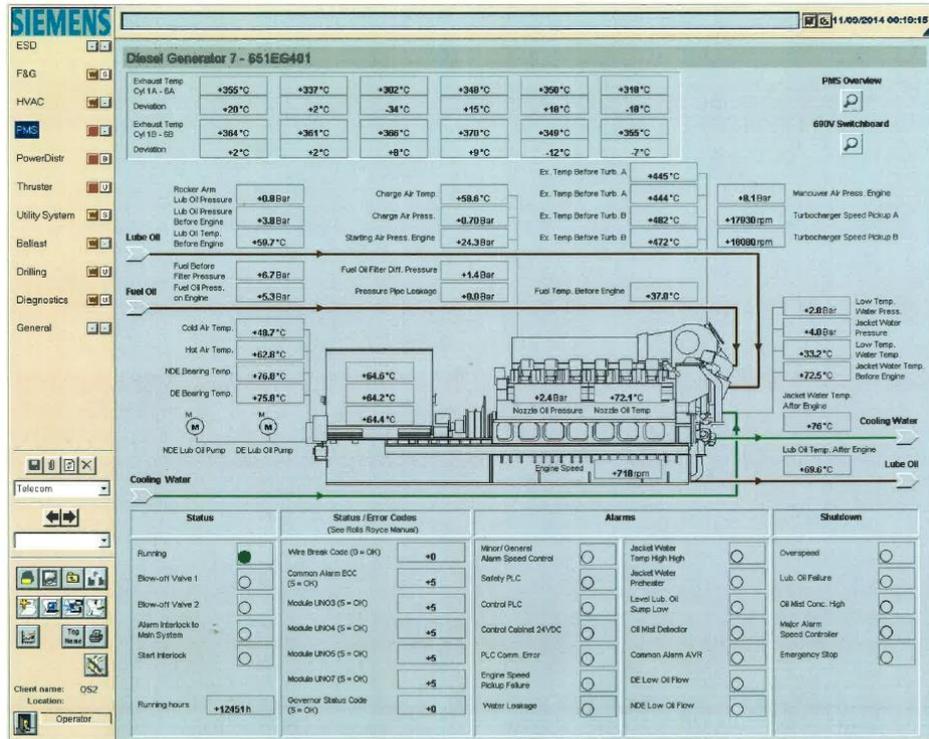
Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Figura 13 - Parâmetros do DG 6 em baixa carga



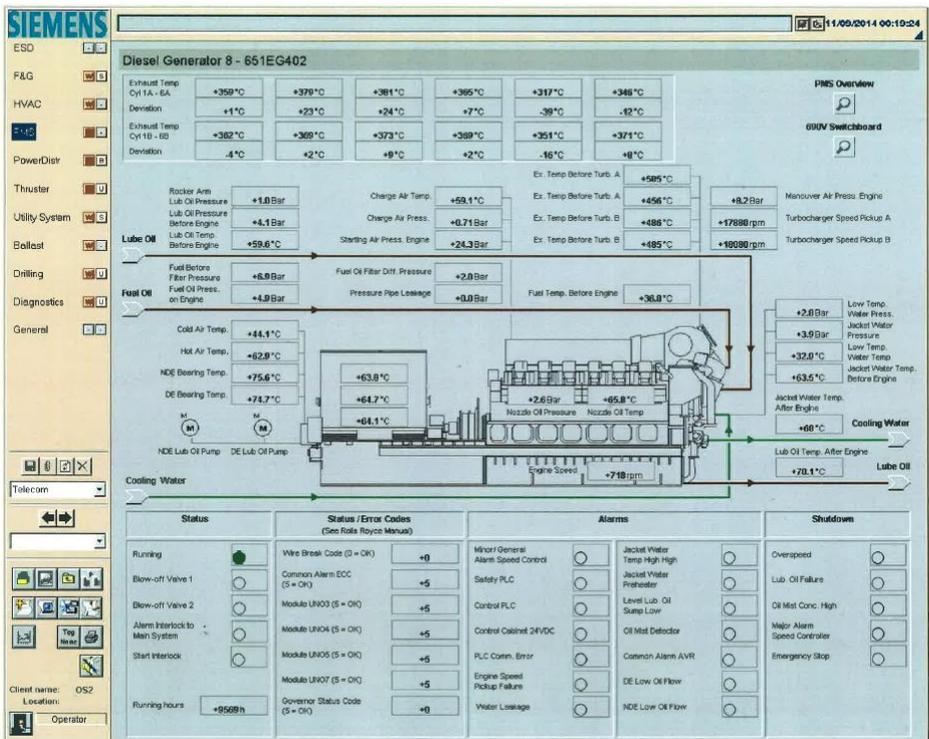
Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Figura 14 - Parâmetros do DG 7 em baixa carga



Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

Figura 15 - Parâmetros do DG 8 em baixa carga



Fonte: PMS da Sevan Brasil (SIEMENS)

A tabela abaixo mostra um resumo esquemático dos parâmetros indicadores de carga dos geradores mostrados nas figuras anteriores. Está demonstrado nesta tabela a porcentagem de rotação dos turbo compressores em função da sua rotação máxima, nível de alarme no sistema, que é 33 989 rpm. Motor com carga baixa, baixa pressão de ar na admissão e TC's virando em baixa rotação o que pode caracterizar uma situação de carbonização.

Tabela 1 - Parâmetros do PMS com 6 DG's no dia 11/09/2014 as 00:18h

DG	Carga (%)	Pressão do Ar (bar)	TC 1 (rpm / %)		TC 2 (rpm / %)	
1	30,1	0,59	16 570	48,75%	17 040	50,13%
2	30,5	0,60	17 240	50,72%	17 160	50,49%
3	29,6	0,68	17 618	51,83%	17 850	52,52%
6	28,5	0,54	16 650	48,99%	16 530	48,63%
7	27,8	0,70	17 930	52,75%	18 080	53,19%
8	27,3	0,71	17 880	52,61%	18 080	53,19%

A tabela 2 tem o objetivo de comparar a temperatura (Temp) de gases dos geradores 1,2 3 que estavam funcionando em paralelo no primeiro barramento. Sabe-se que naquele dia os geradores 1, 3 e 4 já haviam sofrido modificações no ângulo do avanço a injeção e seus bicos injetores substituídos por bicos de baixa injeção E67.

Tabela 2 - Comparativo entre gases dos DG's 1, 2 e 3

DG	1	2	3
Temp. Gases antes TC A (°C)	453	512	464
Temp. Gases antes TC A (°C)	452	495	469
Temp. Gases antes TC B (°C)	467	490	469
Temp. Gases antes TC B (°C)	469	518	459

Observa-se que os geradores 1 e 3 apresentam temperaturas menores antes de cada turbo compressor em comparação com o gerador 2 que não sofreu as modificações, soluções, descritas no próximo capítulo. Isso indica que o combustível está sendo melhor queimado no interior dos cilindros e de maneira mais equilibrada, diminuindo a quantidade de produtos de combustão incompleta passando para o turbo compressor. Os dados mostrados nessa tabela aliados ao fato de que se

observou por oficiais de máquinas e alguns outros tripulantes que naquelas chaminés houve melhoria significativa da fumaça emitida pelos geradores 1 e 3 mostram que houve aprimoramento do funcionamento destes motores bem como diminuição de emissão de poluentes na atmosfera.

6 SOLUÇÕES ADOTADAS NA SEVAN BRASIL

6.1 Substituição dos bicos dos injetores por bicos de baixa emissão (*Low emission nozzles* – LEN, E67)

A Seadrill optou por trocar esses bicos injetores nos motores a medida em que fosse realizada a manutenção programada de substituição e ajustes de injetores. Os motores que receberam esta modificação foram os DG's 1, 3 e 4. Desta forma, ao invés de utilizar o bico “normal” do motor, pois é do mesmo modelo que está previamente instalado, usou-se o modelo E67 da Rolls-Royce que é indicado para geradores que normalmente operam em baixa carga. Essa manutenção programada deve ocorrer a cada 2 000 h de funcionamento.

Um das diferenças entre esses bicos é que o bico E67 é ajustado em bancada, logo antes de sua instalação no motor, para que a mola interna libere abertura da agulha e conseqüentemente a injeção do combustível a uma pressão mínima de 450 bar, enquanto que o bico “normal”, o original, é ajustado para a pressão de 600 bar. Essa capacidade construtiva de atomizar combustível sob o comando de pressão menor permite que a injeção seja feita de maneira mais constante e permanente durante todo o intervalo angular da injeção. Minimizando momentos de excesso de combustível dentro da câmara de combustão.

Essa adaptação isoladamente não causou resultados sensíveis tanto no desempenho como na qualidade da fumaça gerada. Mas, no entanto, não deve ser considerada dispendiosa uma vez que os bicos injetores devem ser trocados a cada 2 000h quando todos os injetores são removidos para limpeza e ajuste. Ao invés de substituir o bico por outro igual, usa-se desta vez o modelo E67.

6.2 Redução do ângulo de avanço a injeção

Esta redução foi feita tendo base em recomendações técnicas do departamento de engenharia da Seadrill e consultoria do fabricante Rolls-Royce. O objetivo desta medida é reduzir a quantidade de injeção de combustível, causando a tendência de mistura menos rica, bem como iniciar a injeção em um momento em que o ar esteja mais comprimido e mais quente uma vez que, o motor ao trabalhar em baixa carga, aspira o ar uma pressão menor.

De acordo com o manual deste modelo de motor, este avanço é de no máximo 7° antes do PMS para que o motor funcione bem e possa atender os critérios de baixa emissão de NO_x. Desta forma, assim esses motores devem, ou deveriam, ter saídos da fábrica. O que não se sabe ao certo é que se o ajuste foi perdido com o uso ou não. O fato é que a Seadrill contratou uma empresa especializada em reparos de motores marítimos, a *Romaga Manutenção e Reparos de Motores Ltda.*, para verificar o ângulo de avanço em cada cilindro e ajustar para abaixo de 7°, caso esteja maior. O valor combinado seria 6,6°, ou bem próximo. Esses serviços foram feitos entre os dias 09 de agosto de 2014 e 16 de agosto de 2014.

As tabelas a seguir foram retiradas do relatório do serviço prestado pela Romaga.

Tabela 3 - Ajuste do avanço da injeção no DG 1

Cilindro	Banco A		Banco B	
	Antes	Depois	Antes	Depois
1	8,5°	6,6°	8,2°	6,6°
2	6,9°	6,6°	7,5°	6,7°
3	5,9°	6,6°	7,1°	6,6°
4	6,5°	6,7°	7,0°	6,6°
5	6,9°	6,6°	6,9°	6,6°
6	7,0°	6,6°	7,0°	6,6°

Tabela 4 - Ajuste do avanço da injeção no DG 3

Cilindro	Banco A		Banco B	
	Antes	Depois	Antes	Depois
1	7,5°	6,7°	6,5°	6,5°
2	7,5°	6,7°	8,0°	6,6°
3	9,0°	6,5°	8,0°	6,7°
4	7,5°	6,6°	6,5°	6,5°
5	8,0°	6,6°	7,0°	6,6°
6	7,5°	6,6°	8,0°	6,6

Tabela 5 - Ajuste do avanço da injeção no DG 4

Cilindro	Banco A		Banco B	
	Antes	Depois	Antes	Depois
1	7,5°	6,6°	7,2°	6,6°
2	6,4°	6,6°	7,2°	6,6°
3	6,5°	6,6°	7,2°	6,5°
4	7,0°	6,7°	7,5°	6,7°
5	8,0°	6,7°	7,5°	6,7°
6	7,0°	6,5°	7,5°	6,5°

Os procedimentos para realização deste ajuste foram realizados em acordo com a instrução 7207 do manual de manutenção do motor⁷. Esse ajuste foi feito após a substituição dos bicos injetores.

Nota-se que no campo que mostra os ângulos antes do ajuste realizados estão mostrados valores tanto acima como abaixo de 7°. Isso demonstra que as quantidades de combustível injetadas estavam bem desiguais, tornando as queimas nos cilindros também diferentes causando um funcionamento desequilibrado no motor. Este fato, além de causar um adicional de vibrações alternativas e torcionais no motor, faz com que sejam emitidos mais poluentes para determinada potência que se fosse na situação de maior equilíbrio como acontece após o ajuste.

Após esse ajuste, cada motor foi testado com 24% de carga, considerando que esta é a situação mais corriqueira. Percebeu-se funcionamento normal com bom desempenho. Foi percebido também melhoria da qualidade da fumaça nas chaminés dos motores 1, 3 e 4.

Este ajuste por se tratar de uma manutenção corretiva programada, deve ser posta em prática em momento adequado levando em consideração a situação orçamentária da sonda e em comum acordo com o cliente uma vez que o motor a ser ajustado tenderá a ficar mais de 24 horas indisponível para a operação além de require mão de obra especializada de terra.

⁷ ROLLS-ROYCE. **Service manual: Engine type: Bergen B32:40V12A-2.Clean Design Engine no.:16149-56.** Bergen: Rolls-Royce Marine AS, 2011.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de geração de energia embarcados em unidades de perfuração que operam em regiões de clima ameno dotadas de vários sistemas consumidores e que possuem redundâncias de equipamentos e geradores capazes de prover à planta alta disponibilidade e confiabilidade tornado as operações seguras e confiáveis devem estar condicionados a trabalharem em condições de carbonização.

Algumas modificações podem e devem ser implementadas a fim de reduzir os efeitos causados em motores que operam em baixa carga. Alguns deles trazem problemas nos próprios geradores enquanto outros prejudicam a saúde dos trabalhadores da unidade e outros prejudicam o meio ambiente.

As medidas aplicadas no objeto de estudo deste trabalho surtiram efeitos positivos. No entanto, esta é uma área que comporta ainda muitas melhorias necessárias. Outra medida que poderia ser adotada seria a implantação de cargas fantasmas, que não interfiram nos equipamentos e sistemas, como banco de capacitores e resistores resfriados a água salgada. O controle eletrônico individual de injeção também seria outra forma inteligente de aperfeiçoamento.

É possível que organizações governamentais aumentem suas exigências para reduzir emissões e consumos de combustível forçando armadores e empresas ligadas à indústria do petróleo a adotarem melhorias mais significativas otimizando seus sistemas de geração de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A CLOSE look at wet stacking. Disponível em: <<http://www.plantengineering.com/industry-news/electrical-news/single-article/a-close-look-at-wet-stacking/e0b399904af236d9f863742ca8f03440.html>>. Acesso em: 15 de set. 2014.
- CHARLTON S. J., **US Perspective on engine development**. SAE Heavy-Duty Diesel Emissions Control Symposium, 2007.
- COSCO Shipyard Group. **SM521 – SEVAN650 BRASIL DRILLING RIG. General arrangement**. DWG No. N280-100-GA-01. Jiangsu: Cosco, 2011.
- EFFECTS of diesel generator light load running. Disponível em: <<http://www.workspace-technology.com/blog/2011/02/27/effects-of-diesel-generator-light-load-running/>>. Acesso em: 10 de set. 2014.
- FLACK, J.; BENNETT et al. **Marine combustion practice**. Norwich: Pergamon, 1969.
- GERADORES. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/>>. Acesso em: 10 de set. 2014.
- GUILHERME, Antônio. **Combustão**. Disponível em: <<http://www.antonioguilherme.web.br.com/Arquivos/combustao.php>>. Acesso em: 03 out. 2014.
- LINDSTRÖM, Mikael. **Injector nozzle hole parameters and their influence on real DI diesel performance**. Estocolmo: Royal Institute of Technology, 2009. Disponível em: <<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:159595/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2014.
- LOAD banks for prevention of wet stacking in diesel generator sets. Disponível em: <http://www.powercity.com.cn/resource/load-banks-prevention-wet-stacking-diesel-generator-sets_cn.html>. Acesso em: 15 de set. 2014.
- MALEEV, V. L. **Internal-combustion engines: theory and design**. 2. ed. Tóquio: McGraw-Hill, 1945.
- MAGALHÃES, Leandro L.; **SEVAN BRASIL – Services on DG's Bergen B32:40V12A RM 5868/14**. Rio de Janeiro, 2014. (Relatório técnico)
- MARTINS, Cristiane A. e FERREIRA, Marco A. Considerações sobre a formação de NO_x na combustão. **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Campina Grande: ABCM, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/conem/2010/PDF/CON10-0881.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2014.

PIMENTEL, Valéria S. de Barros. **Análise e diagnose de diesel geradores operando com óleo de dendê “in natura”**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. Disponível em: <http://teses.mecanica.coppe.ufrj.br/teses/index.php/doc_download/39-analise-e-diagnose-de-diesel-geradores-operando-com-oleo-de-dende-in-natura>. Acesso em: 08 out. 2014.

PULKRABEK, Willard W; **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

RODRIGUES, Gelmirez R. **Máquinas de combustão interna**. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2000.

ROLLS-ROYCE. **Service manual: Engine type: Bergen B32:40V12A-2.Clean design engine no.:16149-56**. Bergen: Rolls-Royce Marine AS, 2011.

SHARMA, Rohit; SINGH, Ranba Ranjit; VISHWAKARMA, Shailendra Kumar. Experimental study of the effect of fuel injector nozzle holes on direct injection diesel engine. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**. v 7, n 4, Jul. - Aug. 2013. Disponível em <<http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol7-issue4/J0746774.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2014.

SIEMENS. **Functional design specification (FDS) PMS. 51PO-03220.130-F-002**. Jiangsu: Cosco, 2010.

STEWART & Stevenson Services, Inc. FRIDDELL, James; FORD, Alves; FERGUSON, Mike. **Method of and apparatus for improving operation of a diesel engine at light loads**. US 4254752 A, 10 mar. 1981, 17 set. 1979. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US4254752>>. Acesso em: 02 out. 2014.

STOLLER, Michael. **Rolls-Royce service report: Engine N.: 16149-56**. Offshore Brasil: Rolls-Royce, 2010. (Relatório técnico).

TASKIRAN, Ozgur Oguz e ERGENEMAN, Metin. Experimental study on diesel spray characteristics and autoignition process. **Hindawi Publishing Corporation Journal of Combustion**. v. 2011, 2011. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/jc/2011/528126/>>. Acesso em: 08 out. 2014.

VENTURI, V. et al. Relação ar/combustível e consumo específico para formulações de diesel/biodiesel. **30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. SBQ, 2007. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/eventos/30rasbq/resumos/T1173-1.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.

VLASSOV, D. **Fundamentos da lubrificação 2008**. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/FUNDAMENTOS%20DA%20COMBUST%C3%83O.pdf>> Acesso em: 05 out. 2014.

ANEXOS

Anexo A - Relatório técnico - Michael Stoller Rolls-Royce service report

Rolls-Royce Marine AS
Engines - Bergen



Rolls-Royce

Service Report Servicerapport			Project No. / <i>Prosjektnr.</i>	
			Engine No. / <i>Motornr.</i> 16149-56	
			Engine type / <i>Motortype</i> BV32:40G	
Installation or Yard / <i>Anlegg eller verk</i> Sevan Brasil		Hull No. / <i>Byggenr.</i>		Operating hours / <i>Driftstimer</i>
Client or Owner / <i>Kunde eller reder</i> Sevan Drilling		Client ref. / <i>Kunde ref.</i>		Location / <i>Arbetssted</i> Offshore Brasil
Fuel / <i>Brennstoff</i> MDO	Lube oil / <i>Smøreolje</i> Marbrax CCD 410		CW additive / <i>Kjølevannstilsetning</i> Roccor NB Unitor	
Service Engineer / <i>Reisemonitor</i> Michael Stoller		Service Superintendent / <i>Serviceinspektør</i> Knut Eivind Fosse		Time span / <i>Tidrom</i> 5.1.-10.1.13
Date/Date	Report/ Rapport			
5.1.13	Travel from Lima to Rio de Janeiro. Stay overnight in Rio.			
6.1.13	Travel from Rio to Cabo Frio. Fly on board by helicopter. Safety induction, meet the crew etc. Prepare for the job.			
7.1.13	<p>On Sevan Brasil the Interlock Start Low Lube Oil pressure will be on after stopping the engines. Which is not as it should be. A Diesel Generator after stopping, which is put in to standby mode in the Power Management System is actually not in standby because the interlock will not allow the Engine to be started. This can have severe consequences for the operation of the rig.</p> <p>The reason being for the interlock to be ON, is that the minimum pressure to reach the set point for the lube oil pressure (priming pressure min 0.3 Bar) is not achieved when the oil is hot. The priming pressure achieved with hot oil is around 0.2 Bar.</p> <p>I made sure that the lubrication is sufficient before I adjusted the set point for min priming pressure to 0.15 Bar.</p> <p>All 8 DG have now a set point for the Interlock Start Lube Oil Pressure Low of 0.15 Bar. This ensures that there is good lubrication of the engine and the generator before starting the DGs.</p> <p>This will also prevent the engines to be Interlocked after stopping them. They will now be always available for the PMS.</p> <p>On DG 3 and 4 I found the Fuel oil feeding pressure to be low. (around 4 to 5 Bar) I adjusted the pressure to 7 Bar at no load condition.</p>			

Prepared by/date: StS / 03.02.2010	Approved by/date: RTL / 03.02.2010	Form No. 628-0210	Rev. 0	Page 1 of 2
---------------------------------------	---------------------------------------	----------------------	-----------	----------------

**Rolls-Royce Marine AS
Engines - Bergen**



Rolls-Royce

	<p>Comments an Observations:</p> <ul style="list-style-type: none"> The current condition for the Switchboard set up is a 4 split. Which means that there is one DG running and supplying power to each switchboard. That means that the power produced by each engine is very low. Between 10 and 20 % . This is unfortunate for the engines. The combustion of the fuel is not complete in these load conditions, which leads to a lot of carbon residue in the engine and smoke production. <p>I recommend the switch board to be set up in a 2 split (the design of the swbd is a 2 split set up)</p> <ul style="list-style-type: none"> The load dependent start in the PMS is set to 50 % load. This means in practice, if the laod reaches 50 % the next engine on the bus will start up, which again means the load per engine drops to 25% . Normally the load is not stable. The start of the 2nd engine will be in a "peak" of load. The actual load after starting the 2nd engine will most likely be 25% only for a very short amount of time. After that the load on the 2 engines will drop lower. The result is the same as in the point mentioned above: The combustion of the fuel is not complete in these load conditions, which leads to a lot of carbon residue in the engine and smoke production. <p>The recommendation is: Run the Swbd in a 2 split configuration and adjust the load dependent start of the 2nd engine to 60%, the 3rd to 80% and the 4th to 80%.</p> <ul style="list-style-type: none"> The high pressure pipes installed on Engine 16149-16156 are the correct ones and do NOT need to be changed. The fuel oil leakage from the High Pressure Pump to the leak oil tank is on a normal level, the crew confirms. There are no leakages on the High Pressure pipes. The Crew is aware about the new service letter how to install correctly the HP pipes. The oil mist detectors installed on Sevan Brasil are: Visatron Type VN 115/87 and not Vistron VN87 plus. This means that the supply of a signal for the pre-pre warning of a imminent oil mist shutdown is not possible with the equipment installed. I recommend to upgrade the oil mist detector to a Visatron VN87 plus.
--	--

Date/Dato	Service Engineer / Reisermonter	Service Engineers signature / Reisermonterens signatur

Date/Dato	Service Superintendent / Serviceinspektør	Service Superintendent signature / Serviceinspektørens signatur

Prepared by/date: StS / 03.02.2010	Approved by/date: RTL / 03.02.2010	Form No. 628-0210	Rev. 0	Page 2 of 2
---------------------------------------	---------------------------------------	----------------------	-----------	----------------

Anexo B - SEVAN BRASIL – Services on DG’s Bergen B32:40V12A RM 5868/14



FUNDADA EM 1990

Rio de Janeiro, August 22, 2014.
RM 5868/14

To
SEVAN M. SERVIÇOS DE PERFURAÇÃO.
Av. República do Chile, 230 – 22º andar.
Centro - Rio de Janeiro - RJ

At.: Ing. Felipe Moço/ Ing. Emerson de Souza/ Ing. Daniel Villagaray

Ref.: “SEVAN BRASIL” – Services on DG’s Bergen B32:40V12A CD
Our ref.: RM 5842/14 Your ref.: P.O. 306028

Dear Sirs,

According to your request, we sent a team to carry out services on board the above mentioned rig from 09/08/2014 to 16/08/2014. Therefore, we would like to present herewith our corresponding service report and price.

1 **Services carried out on DG’s – Bergen B32:40V12A CD:**

1.1 **DG#1 – Bergen B32:40V12A CD Serial No. 16149:**

- Trip from Rio de Janeiro to Cabo Frio, with company contracted by Sevan;
- Embarkation on the platform in 09/08/2014, at 13:40;
- Familiarization with the crew and visit to the engine room in order to check for installation details;
- Removal of injection pumps protection covers, elastic pins and erosion plugs;
- Check of the commencement of injection in each cylinder from banks A and B;
- Adjustment of the timing by means of the flashlight procedure, considering the pre-injection angle specified by the engine manufacturer;
- Reassembly of the erosion plugs and respective elastic pins;
- Reassembly of the hot box covers;

- Operation of the engine with the usual load (24%) to check the engine performance and exhaust smoke.

Timing Settings (degrees before TDC)				
Cylinder	Bank A		Bank B	
	Before	After	Before	After
-				
1	8,5°	6,6°	8,2°	6,6°
2	6,9°	6,6°	7,5°	6,7°
3	5,9°	6,6°	7,1°	6,6°
4	6,5°	6,7°	7,0°	6,6°
5	6,9°	6,6°	6,9°	6,6°
6	7,0°	6,6°	7,0°	6,6°

1.2 DG#3 – Bergen B32:40V12A CD Serial No. 16151:

- Removal of injection pump protection covers, elastic pins and erosion plugs;
- Check of the commencement of injection in each cylinder from banks A and B;
- Adjustment of the timing by means of the flashlight procedure, considering the pre-injection angle specified by the engine manufacturer;
- Reassembly of the hot box covers;
- Operation of the engine with the usual load (24%) to check the engine performance and exhaust smoke.

Note: According to Mr. Daniel, the fuel injector from cylinder #6A is not yet equipped with the new nozzle type (E67), because it was not possible to remove the injector out of the cylinder head (injector seizure). In order to ensure better results, we recommend the cylinder head is replaced with a new one and then another fuel injector is fitted.

Timing Settings (degrees before TDC)				
Cylinder	Bank A		Bank B	
	Before	After	Before	After
-				
1	7,5°	6,7°	6,5°	6,5°
2	7,5°	6,7°	8,0°	6,6°
3	9,0°	6,5°	8,0°	6,7°
4	7,5°	6,6°	6,5°	6,5°
5	8,0°	6,6°	7,0°	6,6°
6	7,5°	6,6°	8,0°	6,6°

1.3 DG#4 – Bergen B32:40V12A CD Serial No. 16152:

- Disassembly of twelve spare fuel injectors;
- Cleaning of outer and inner parts and visual inspection;
- Installation of the new nozzle design (E67) in each injector and tightening of the fixing nuts to 350 Nm;
- Adjustment of the injectors opening pressure to 450 bar as per manufacturer recommendation;
- Disassembly of the hot box covers, high pressure pipes and rocker arms covers;
- Removal of twelve fuel injectors which were in operation with aid of the special extractor;
- Cleaning of the nozzle sleeves sealing surfaces;
- Fitting of the twelve spare injectors with new gaskets into the cylinder heads;
- Fitting of the high pressure pipes;
- Tightening of injectors to 100 Nm;
- Check of the commencement of injection in each cylinder from banks A and B;
- Adjustment of the timing by means of the flashlight procedure, considering the pre-injection angle specified by the engine manufacturer;
- Reassembly of the hot box and rocker arms covers;
- Operation of the engine with the usual load (24%) to check the engine performance and exhaust smoke.

Timing Settings (degrees before TDC)				
Cylinder	Bank A		Bank B	
	Before	After	Before	After
-				
1	7,5°	6,6°	7,2°	6,6°
2	6,4°	6,6°	7,2°	6,6°
3	6,5°	6,6°	7,2°	6,5°
4	7,0°	6,7°	7,5°	6,7°
5	8,0°	6,7°	7,5°	6,7°
6	7,0°	6,5°	7,5°	6,5°

Note: All services were accompanied by the Engineers on board.

2 Computation of the man-power applied according to attached timesheet:

SUPERVISOR (1x)

R\$ 5.676,00 /day x 07 days x 1x supervisor = R\$ 39.732,00

1.3 DG#4 – Bergen B32:40V12A CD Serial No. 16152:

- Disassembly of twelve spare fuel injectors;
- Cleaning of outer and inner parts and visual inspection;
- Installation of the new nozzle design (E67) in each injector and tightening of the fixing nuts to 350 Nm;
- Adjustment of the injectors opening pressure to 450 bar as per manufacturer recommendation;
- Disassembly of the hot box covers, high pressure pipes and rocker arms covers;
- Removal of twelve fuel injectors which were in operation with aid of the special extractor;
- Cleaning of the nozzle sleeves sealing surfaces;
- Fitting of the twelve spare injectors with new gaskets into the cylinder heads;
- Fitting of the high pressure pipes;
- Tightening of injectors to 100 Nm;
- Check of the commencement of injection in each cylinder from banks A and B;
- Adjustment of the timing by means of the flashlight procedure, considering the pre-injection angle specified by the engine manufacturer;
- Reassembly of the hot box and rocker arms covers;
- Operation of the engine with the usual load (24%) to check the engine performance and exhaust smoke.

Timing Settings (degrees before TDC)				
Cylinder	Bank A		Bank B	
	Before	After	Before	After
-				
1	7,5°	6,6°	7,2°	6,6°
2	6,4°	6,6°	7,2°	6,6°
3	6,5°	6,6°	7,2°	6,5°
4	7,0°	6,7°	7,5°	6,7°
5	8,0°	6,7°	7,5°	6,7°
6	7,0°	6,5°	7,5°	6,5°

Note: All services were accompanied by the Engineers on board.

2 Computation of the man-power applied according to attached timesheet:

SUPERVISOR (1x)

R\$ 5.676,00 /day x 07 days x 1x supervisor = R\$ 39.732,00

MECHANIC (1x)

R\$ 1.892,00 /day x 07 days x 1x mechanic = R\$ 13.244,00

Subtotal = R\$ 52.976,00

3 Total price:

R\$ 52.976,00 (fifty-two thousand nine hundred and seventy-six Brazilian Reais).

4 Payment conditions:

30 days after invoice (Nota Fiscal) date.

5 Final Remarks:

- 5.1 Spare parts and regular material were supplied by SEVAN.
- 5.2 According to Mr. Daniel, the existing black smoke coming from the exhaust gases has the diminished considerably after the job.
- 5.3 The timing settings on DG's #1 and #3 were performed based on the information that the fuel injectors in operation were previously fitted with the E67 nozzle and that the opening pressure was set to 450 bar.
- 5.4 Special tools and devices used to perform the jobs were returned in good condition.
- 5.5 General conditions as per RM 5842/14.

We thank you for this opportunity and look forward to working with you again and continuing our good partnership.

Yours sincerely,



Ing. Leandro L. Magalhães