



## Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

### Criação de sistema de gerenciamento eletrônico bicombustível (Dual Fuel) para motores MAN 3240 da EPASA

DANIEL SOFER(1); PATRÍCIA CRUZ(1);  
DSofer(1);

#### RESUMO

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um novo e inovador sistema de gerenciamento eletrônico bicombustível de motor para permitir que os motores MAN3240 da EPASA (originalmente operando no ciclo Diesel, alimentados com óleo combustível OCB) passem a poder operar com gás natural como principal combustível. A criação deste novo sistema de gerenciamento eletrônico bicombustível incluiu a criação de inovadoras unidades injetoras controladas eletronicamente, de inéditos injetores de gás natural e de uma nova arquitetura multinível para o subsistema eletrônico de controle de combustão.

#### PALAVRAS-CHAVE

Bicombustível, conversão, gás natural, gerenciamento eletrônico termelétrica

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A importância da geração térmica na matriz energética do Brasil tem sido inquestionável nos últimos anos. Sua flexibilidade e rapidez no atendimento às demandas de despacho tem sido instrumentais para o equilíbrio do sistema elétrico nacional.

Como efeito colateral indesejável da geração térmica, principalmente àquela obtida a partir de combustíveis líquidos (como Diesel ou o OCB), tem-se características negativas, como o elevado custo desta energia gerada e a elevada emissão de poluentes. Para fazer frente a estes aspectos indesejáveis, o setor tem se mobilizado na busca de soluções que permitam a substituição dos combustíveis líquidos por alternativas mais vantajosas do ponto de vista do custo da energia gerada e menos poluentes. O gás natural desponta como o combustível alternativo com maior potencial de aplicação para a geração de energia, oferecendo interessantes ganhos nas áreas do custo de geração e da emissão de poluentes.

Contudo, é um fato que a disponibilidade de gás natural ainda não é universal e ilimitada para as termelétricas, em particular para aquelas que hoje operam a combustível líquido.

Neste contexto de busca de otimização operacional, de busca pela redução de custos de energia gerada e de minimização de emissões a EPASA, Centrais Elétricas da Paraíba S.A., iniciou um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento nos moldes definidos pela ANEEL com a DSofer, para criar um novo sistema, capaz de tornar os motores MAN3240 utilizados pela EPASA, originalmente operantes no ciclo Diesel com OCB como combustível, em motores operantes no modo de combustão *Dual Fuel* valendo-se de gás natural como combustível, como será detalhado a seguir.

A opção pela conversão dos motores MAN3240 da EPASA em motores *Dual Fuel* deu-se pela necessidade de poder ter um período de transição entre a operação a combustível líquido e a operação idealmente desejável, totalmente a gás natural. Este período de transição se faz necessário pela eventual limitada disponibilidade de gás natural para a planta, assim como por outros aspectos, incluindo os contratuais. A opção pela conversão *Dual Fuel* oferece, ainda, uma gradualidade nesta transição, permitindo que todos os procedimentos operacionais da planta, assim como todas as instalações auxiliares da mesma, possam ser adequados para o novo combustível.

Como será detalhado a seguir, o sistema criado para atender às demandas da EPASA inclui uma alteração do modo de controle da combustão mesmo em sua operação com o combustível líquido original, oferecendo dois modos distintos de operação. Suplementarmente, o novo sistema permite, mesmo no modo de operação com o combustível líquido original, ganhos operacionais interessantes, que se traduzem em redução de consumo específico e redução de emissões de poluentes.

## 2.0 - O PONTO DE PARTIDA: O MOTOR MAN3240

A EPASA tem potência total instalada de 341.5 MW, utilizando óleo combustível OCB1 como fonte de energia. No total são empregados 40 motores, todos da família 3240 da MAN. Destes, 38 são motores 18V3240, com 18 cilindros em configuração V. Os dois motores restantes são 9L3240, com 9 cilindros em linha.

Estes motores são divididos em duas unidades geradoras idênticas, cada qual com 19 motores 18V3240 e um motor 9L3240.

A Figura 1 mostra algumas vistas da EPASA.



FIGURA 1 – (a) Vista externa da EPASA, (b) vista interna da casa de máquinas e (c) do motor MAN3240

Um fato importante sobre o motor MAN3240 é que o controle de combustão neste motor é feito por meio totalmente mecânico (1). Ou seja, toda a dosagem de combustível, para cada cilindro do motor, a cada ciclo de combustão, é feita mediante o posicionamento relativo de peças e elementos totalmente mecânicos (2). Desta forma, as eventuais variações de massa injetada e fase para cada dado *setpoint* do motor passam a ser controladas pelas regulagens mecânicas e pela soma de tolerâncias destes componentes. O controle mecânico de combustão tem sua origem na primeira metade do século XX, tendo sido empregado com sucesso em diversos motores desde então.

Contudo, apesar de permitir a operação dos motores, este controle puramente mecânico da combustão apresenta uma série conhecida de limitações técnicas. Dentre estas podem ser citados o fato que dito tipo de controle não oferece um meio dinâmico de balanceamento de cilindros, assim como este tipo de controle não permite ajustes dinâmicos e individuais para otimização de parâmetros de combustão ao variar de condições operacionais, incluindo alterações ou flutuações de características físico-químicas do combustível e/ou alinhamentos da potência gerada com a carga demandada/despachada. Ainda, pelas características construtivas dos elementos mecânicos utilizados neste tipo de controle de combustão para a pressurização, dosagem e injeção do combustível líquido, este tipo de sistema se vê limitado nas pressões que pode oferecer para a injeção do combustível no motor. De forma geral, e mais especificamente para os motores MAN3240 utilizados pela EPASA, as pressões de injeção ficam ao redor de 1000 bar. Este valor de pressão é muito inferior ao desejável para a formação ideal de gotículas de combustível na câmara de combustão, que, por sua vez, é condição desejável para uma queima mais adequada.

Para aprimorar a injeção do combustível líquido, para aumentar significativamente a pressão de combustível praticável pelo sistema de injeção e para permitir a dosagem e o acionamento totalmente individual e controlado eletronicamente de cada injeção de combustível líquido do motor, foram criadas, ao longo deste trabalho, inovadoras unidades injetoras controladas eletronicamente. Além de oferecer importantes vantagens na injeção do combustível líquido, estas unidades injetoras também desempenham um papel crucial na operação *Dual Fuel* do Sistema, como será visto em maiores detalhes a seguir.

## 3.0 - O CONCEITO BÁSICO DO SISTEMA

A partir da análise do motor MAN3240 original (1) (2) e da meticulosa avaliação das demandas operacionais de curto e médio prazo da EPASA, foi concebido um inovador sistema de gerenciamento de motor *Dual Fuel* para os motores MAN3240 da EPASA. Este Sistema permite controlar a combustão no motor MAN3240, em dois distintos modos de operação (sendo eles modo *Dual Fuel* e modo líquido), oferecendo ganhos importantes em ambos. No modo *Dual Fuel* o motor opera com gás natural como combustível principal, usando uma injeção reduzida de combustível líquido para oferecer, como será detalhado, à mistura ar/gás natural a energia de ativação necessária à reação. No modo de operação com combustível líquido, o motor utiliza unicamente o combustível líquido original como fonte de energia, mas opera com todo seu controle de combustão gerenciado de forma integralmente eletrônica e com importantes vantagens operacionais e de controle.

Ainda, indo além destes ganhos operacionais, o novo Sistema foi concebido de forma a permitir aplicação simples, veloz e econômica nos motores MAN3240 da EPASA.

Para contextualizar o desafio técnico que converter um motor como o MAN3240 para a operação *Dual Fuel* representa, a própria fabricante do motor, a empresa alemã MAN Diesel, oferece o serviço de conversão de seus motores para a operação *Dual Fuel*. Trata-se de conversão baseada em tecnologia da própria MAN. Contudo, esta conversão oferecida pelo fabricante, além de empregar tecnologia e componentes totalmente importados, se traduz na desmontagem quase total do motor e a substituição de uma parte importante dos componentes principais do motor por outros, distintos. Como resultado deste conceito de conversão, este tipo de trabalho resulta em tempos de parada (e resultante indisponibilidade dos motores) elevados. Como se tal fato já não fosse suficientemente desencorajador, o custo total deste tipo de modificação (que altera profundamente o motor base) se aproxima do custo do próprio motor novo. Pela sua complexidade, pelo seu elevado custo de investimento e pelas características oferecidas, este tipo de conversão tem escassa aplicabilidade prática.

Em contraposição a este tipo de conversão “tradicional”, o presente projeto se propôs a tarefa de criar uma alternativa capaz de permitir que toda a conversão seja feita de forma direta, simples e sem desmontagem do motor, constituindo uma alternativa atraente e com custos de investimento marcadamente menores que as alternativas existentes. Toda a estrutura do motor permanece inalterada, havendo apenas a troca de componentes auxiliares, como será visto de forma detalhada a seguir. Como resultado direto desta filosofia, a conversão dos motores MAN3240 pode ser feita com a mesma celeridade e simplicidade que se dispense para as mais rotineiras manutenções periódicas. Ainda, o custo total da conversão resultante da aplicação do Sistema desenvolvido neste projeto é uma pequena fração do custo das conversões “tradicionalistas” que contemplam profundas alterações ao motor. Suplementarmente, o novo Sistema permite injetar nova vida em motores originalmente concebidos para uso de combustíveis líquidos, permitindo que os investimentos efetuados na planta original possam ser utilizados para gerar energia com novos combustíveis, efetivamente resultando em ganhos para todo o setor. Em adição a todas estas características, a totalidade das operações efetuadas para a conversão com o novo Sistema são reversíveis de forma igualmente simples, permitindo que, em caso de necessidade, a reversão possa ser feita de forma praticamente instantânea.

Esta simplicidade de aplicação do novo Sistema sobre o motor MAN3240 transferiu para as atividades de pesquisa, desenvolvimento e manufatura de componentes importantes desafios. Esta transferência e concentração de desafios para o processo de pesquisa e desenvolvimento faz sentido sob a ótica geral da operação da planta, pois é lógico que maiores esforços sejam enveredados nas atividades de pesquisa e desenvolvimento, visando simplificar as operações na planta. Este deve ser, sempre, o enfoque da pesquisa e desenvolvimento: a busca por soluções inovadoras e vantajosas, que possam oferecer aplicação simples em campo e gerar ganhos substanciais de aplicação, operação e manutenção. Este novo enfoque da pesquisa e desenvolvimento, através do qual o P&D alia a geração de tecnologia nacional com sua aplicação efetiva, abre novos horizontes para o setor.

E, justamente do enfrentamento destes desafios para a obtenção de todos os componentes que integram este novo Sistema, resultam os trabalhos detalhados a seguir. Mediante a criação de inovadores e inéditos componentes mecânicos e eletrônicos (incluindo hardware e software) foi possível materializar este novo sistema de gerenciamento eletrônico bicomustível.

### 3.1 O conceito de *Dual Fuel* seus dois modos de operação

Sempre que se cogita a conversão de um motor originalmente operando no ciclo Diesel de combustão (com combustível líquido, como o OCB) para o uso de gás natural cabe avaliar que estes dois combustíveis têm características físico-químicas muito distintas. Mas, em particular, para sua aplicação em motores a combustão interna, estes combustíveis diferem marcadamente em sua temperatura de autoignição (3) (4). O ciclo Diesel de combustão prevê a entrega da energia de ativação para a mistura de reagentes mediante o aquecimento do comburente da reação, obtido pela compressão deste comburente, sobre o qual se procede à injeção do combustível. Este tipo de entrega de energia de ativação está à base do conceito dos motores operando no ciclo Diesel, a ponto destes motores serem conhecidos na engenharia mecânica também como motores de ignição por compressão. Esta característica operacional se traduz no fato destes motores não terem um sistema comandado para o fornecimento da energia de ativação à reação ar/combustível e, ainda, em detalhes construtivos como a elevada taxa de compressão. Pelas suas características físico-químicas, o gás natural não se presta à ignição por compressão. O gás natural demanda temperaturas por demais elevadas para a ativação de sua reação de oxidação, sendo tipicamente empregado em motores operando no ciclo Otto, também conhecidos como motores de ignição comandada ou por centelha. Nestes motores a energia de ativação para os reagentes é fornecida tipicamente através de uma centelha, que permite o início pontual da combustão (oferecendo temperaturas elevadíssimas no diminuto volume interessado por dita centelha). A partir deste início pontual da combustão, há propagação da chama mediante o deslocamento físico de uma frente de chama, que se propaga pela câmara de combustão.

Assim, quando se deseja converter um motor originalmente operante no ciclo Diesel de combustão para o uso de gás natural, deve se pensar em como proceder à entrega da energia de ativação da mistura de reagentes, que passará a ser ar/gás natural.

A opção de uso de uma centelha para entregar tal energia de ativação a um motor originalmente operante no ciclo Diesel é costumeiramente denominada de “conversão dedicada” para a operação a gás natural, posto que o motor deixa de poder operar no ciclo Diesel. Este tipo de conversão, na esmagadora maioria dos sistemas de conversão conhecidos, acarreta profundas e, muitas vezes, irreversíveis alterações ao motor.

Outro modo de oferecer a energia de ativação para a mistura ar/gás natural é a injeção de uma diminuta massa de combustível líquido (o próprio combustível utilizado na combustão no ciclo Diesel) sobre a mistura de reagentes (ar/gás natural). Este combustível líquido, alinhado com quanto naturalmente faria na combustão no ciclo Diesel, queima. A energia liberada nesta queima passa a ser a energia de ativação para a mistura ar/gás natural. Este tipo de combustão é denominado *Dual Fuel*, uma vez que para que a mesma possa ocorrer são necessários ambos os combustíveis, concomitantemente, na câmara de combustão.

Uma das características únicas do conceito *Dual Fuel* é o fato do motor continuar podendo operar com o combustível original.

Para levar o conceito de combustão *Dual Fuel* a novos limites, o Sistema criado neste projeto foi concebido, desde seu início, de forma a permitir o controle totalmente eletrônico da injeção de cada um dos combustíveis, para cada cilindro do motor MAN3240.

Assim, o novo Sistema, batizado de HPDF3240, inclui dupla injeção eletrônica de gás natural e de combustível líquido.

O Sistema HPDF3240 oferece dois distintos modos de operação, selecionáveis eletronicamente e totalmente parametrizáveis. São eles o modo líquido e o modo *Dual Fuel*.

Na operação no modo líquido o Sistema HPDF3240 opera o motor MAN3240 apenas injetando combustível líquido. Esta operação difere da operação original do motor posto que a totalidade do controle de combustão se dá de forma integralmente eletrônica e com controle individual para cada cilindro. Como será visto em maiores detalhes adiante, foram criadas inovadoras unidades injetoras controladas eletronicamente, capazes de pressurizar e dosar o combustível líquido para cada cilindro do motor, em tempo real, para cada ciclo de combustão. Vantagens como o balanceamento dinâmico de combustão, o ajuste pormenorizado de parâmetros de injeção, incluindo débito e fase, e o aumento significativo da pressão de injeção estão entre as características oferecidas pelo Sistema HPDF3240 em sua operação no modo Líquido.

Na operação em modo *Dual Fuel*, o Sistema HPDF3240 gera a mistura ar/gás natural através da injeção eletrônica de gás. O título da mistura e o faseamento da geração desta podem ser, assim, integralmente controlados eletronicamente. Uma vez a mistura tendo sido admitida no cilindro correspondente e comprimida, o Sistema HPDF3240 comanda a injeção de uma massa reduzida de combustível líquido, para gerar a energia de ativação da reação de combustão na câmara. As massas de cada combustível poderão ser alteradas pelo sistema a qualquer momento, sendo possível efetuar ajustes ciclo-a-ciclo.

Pela característica intrínseca do Sistema HPDF3240 de não alterar em nada a geometria base do motor MAN3240, tem-se que a taxa de compressão do mesmo permanece inalterada. Este fato representa um desafio técnico importante para o controle de combustão, uma vez que nestas condições há o grande risco de anomalias de combustão, em especial a anomalia conhecida como detonação (ou *knocking*). A tentativa de mitigar os efeitos deletérios da detonação estão à base das profundas modificações que são efetuadas para as conversões “tradicionais”, nas quais se reduz de forma marcada a taxa de compressão do motor. O Sistema HPDF3240 foi concebido para não demandar tais alterações estruturais, inclusive permitindo a operação com combustível líquido mais eficiente do que no motor MAN3240 original, algo que não seria possível se se houvesse procedido a modificar a taxa de compressão.

Para fazer frente aos desafios do controle de combustão no modo *Dual Fuel*, o Sistema HPDF3240 contará, além das inovadoras unidades injetoras controladas eletronicamente, com um inédito sistema eletrônico de gerenciamento, baseado em arquitetura criada especificamente para este Sistema e que será apresentada de forma detalhada a seguir.

### 3.2 As vantagens específicas oferecidas pelo Sistema HPDF3240 em cada modo de operação

Como visto, o Sistema HPDF3240 foi concebido de forma a permitir a operação do motor MAN3240 em dois modos distintos, mais especificamente: a) unicamente com combustível líquido (modo Líquido) e b) com gás natural como principal combustível (modo *Dual Fuel*).

No modo Líquido, o Sistema HPDF3240 oferece importantes vantagens operacionais quando comparado com o sistema original do motor MAN3240. Graças às unidades injetoras controladas eletronicamente a pressão de injeção pode efetuada a pressões superiores a 2000 bar, permitindo que a aspersão do combustível se dê com maior eficiência, o que resulta em melhor aproveitamento do combustível na combustão. Este melhor aproveitamento, por sua vez, acarreta menor consumo de combustível e menores emissões, principalmente de particulados, visíveis como fumaça no escapamento dos motores, e responsáveis por grande parte dos problemas relacionados a emissões de motores Diesel. Ainda, no modo líquido, graças ao controle totalmente eletrônico da injeção de combustível líquido no Sistema HPDF3240, é possível alterar, de forma dinâmica ciclo-a-ciclo e individualizada por cilindro a massa e a fase exata de dita injeção. A resolução angular possível no Sistema HPDF3240 é de 0.1 graus de virabrequim, oferecendo uma grande precisão no faseamento dinâmico da injeção.

Já no modo *Dual Fuel* o Sistema HPDF3240 dosa a massa de gás natural injetada por cilindro a cada ciclo de combustão através do subsistema de injeção eletrônica de gás. Como será visto a seguir, este subsistema conta com inéditos injetores de gás, montados em módulos para cada cilindro do motor MAN3240. A mistura assim formada recebe, após compressão, uma ulterior injeção de combustível líquido, dosada e faseada pela unidade injetora controlada eletronicamente do cilindro em questão, gerando a energia de ativação da reação. A precisão de dosagem e de faseamento que as unidades injetoras controladas eletronicamente permitem é absolutamente necessária para que se possa ter o controle desejado sobre o processo de combustão, inclusive mitigando os

problemas oriundos das anomalias de combustão. Para poder detectar estas anomalias de combustão o Sistema HPDF3240 conta com uma variedade de sensores, criados especificamente para este Sistema, em particular com sensores dedicados a monitorar a combustão para detectar indícios de anomalias. Dentre estes sensores o Sistema contará com a capacidade de sensoriamento direto da pressão de combustão, permitindo que o sistema opere em malha fechada com dita pressão, controlando a atuação de cada um dos atuadores daquele cilindro de forma a buscar a forma de onda da pressão de combustão no cilindro desejada.

Graças a esta metodologia de controle de combustão o Sistema HPDF3240 permite que o motor MAN3240, sem alterações à sua estrutura base, possa operar no modo *Dual Fuel*. usando gás natural como principal fonte de energia para a combustão, resultando nas desejadas reduções de emissões e de custo da energia gerada.

#### 4.0 - O SISTEMA HPDF3240 E SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES

##### 4.1 A unidade injetora controlada eletronicamente

A FIGURA 2 apresenta a nova unidade injetora controlada eletronicamente do Sistema HPDF3240.

Esta nova unidade injetora controlada eletronicamente foi projetada para poder ser instalada no motor MAN3240, em substituição direta à unidade injetora mecânica existente no motor. A totalidade das peças e componentes internos da unidade injetora controlada eletronicamente do Sistema HPDF3240 foi concebida, projetada, prototipada e ensaiada como parte dos trabalhos deste projeto. Dado que um dos objetivos técnicos de projeto era o aumento significativo da pressão de bombeamento da unidade injetora controlada eletronicamente, grande ênfase foi dada para os componentes de pressurização desta unidade. Dentre eles se destaca o elemento bombeante, responsável pela pressurização direta do combustível. Para assegurar a eficiência de bombeamento, a precisão mecânica dos componentes internos da unidade injetora controlada eletronicamente precisou ser levada a extremos. No exemplo do elemento bombeante, que pode ser visto na FIGURA 3 em fase de manufatura e preparação, a precisão dimensional chega a frações de micrometro, com tolerâncias, em certas medidas, de 0,5 micrometro (0,5  $\mu\text{m}$ ).

Os desafios de manufatura apresentados por estes componentes (cujas características mecânicas também incluem grande resistência mecânica, resiliência e dureza superficial) demandaram a criação de estruturas de manufatura de alta precisão, que são raras no mundo e que, até a sua criação ao longo da execução deste projeto, não existiam no Brasil.



FIGURA 2 – Vista tridimensional da nova unidade injetora controlada eletronicamente



FIGURA 3 – Vista do elemento bombeante da unidade injetora controlada eletronicamente em fase de manufatura

#### 4.2 Os injetores de gás DSG

A injeção eletrônica de gás natural no Sistema HPDF3240 é efetuada por injetores de gás criados como parte dos trabalhos do projeto. Estes injetores foram batizados injetores DSG. A Figura 4 apresenta uma vista externa de um dos novos injetores de gás DSG. Os injetores DSG são objeto de distintas patentes de invenção.



FIGURA 4 – Vista de injetor de gás DSG

A dosagem do gás natural para cada cilindro do motor assume extrema importância na operação *Dual Fuel* do motor MAN3240.

Para que tal dosagem possa ser feita de forma ainda mais precisa, o Sistema HPDF3240 é dotado, para cada cilindro, de um módulo, também objeto de ulterior patente de invenção, que aloja múltiplos injetores DSG. Estes módulos estendem o *dynamic range* da injeção de gás no Sistema, posto que o subsistema de controle do Sistema HPDF3240 pode acionar, em momentos distintos, quantos injetores se fizer necessário, cada qual com o tempo de acionamento desejado, gerando a massa de combustível gasoso que cada cilindro necessita com maior flexibilidade e linearidade. A adoção do módulo de injeção de gás para cada cilindro faz parte da total e completa modularidade por cilindro do Sistema HPDF3240, com um completo conjunto de atuadores (seja para o combustível líquido que para o gás natural) e sensores, replicados cilindro a cilindro. Esta modularidade, inclusive, facilita a aplicação do Sistema HPDF3240 para distintos membros da família 3240, como o 18V3240 e o 9L3240.

Sobre a importância da criação dos injetores de gás DSG, é importante ressaltar que, no mundo, existiam apenas dois fabricantes (um americano e outro alemão) dotados de tecnologia própria para criação e manufatura de injetores de gás para motores de grande porte. Com a criação do injetor de gás DSG como parte deste projeto, o Brasil passa a ter tecnologia própria e inovadora para a criação de injetores de gás aplicáveis a motores de grande porte para a geração de energia elétrica.

#### 4.3 O subsistema de controle eletrônico de combustão

Para fazer frente aos desafios de controle de combustão que o projeto impõe e, ainda, para otimizar a aplicação do Sistema HPDF3240 em motor de grande porte (como é o caso do MAN3240) uma inovadora arquitetura eletrônica

foi concebida. Nesta nova arquitetura eletrônica, por si só objeto de múltiplas patentes de invenção, distintos níveis de controle, cada qual em malha fechada, atuam sobre os distintos atuadores do Sistema HPDF3240. Ainda, nesta nova arquitetura eletrônica, cada cilindro é dotado de uma unidade eletrônica individual de cilindro, batizada de UCIC. Todas as UCICs recebem dois diferentes *backbones* de comunicação, integrando não apenas elas mesmas, de forma a criar um único conjunto orquestrado de controle, mas, ainda, duas ulteriores centrais de controle: a unidade de controle geral de motor (UCG) e a unidade de geração de base temporal de alta resolução do motor (UTM).

A inovadora e inédita arquitetura oferece múltiplas vantagens ao Sistema HPDF3240. Dentre estas podemos destacar a maciça capacidade de cálculo, posto que cada unidade eletrônica (tanto UCIC, UTM quanto UCG) é dotada de múltiplos processadores, permitindo que o Sistema HPDF3240 tenha capacidade de entradas, saídas, leituras analógicas, digitais e de processamento elevadíssimas. Outra vantagem que a nova arquitetura oferece se traduz em um novo conceito de chicote para o motor, com fragmentos de chicote modulares, unidos por conectores especiais, formando ramais modulares de conexão. Este conceito, também objeto de patente, permite que um motor do porte físico do motor MAN3240 tenha, sempre, uma simplicidade extrema para a avaliação e eventual manutenção de seu chicote. A experiência mostra que problemas de conexão entre unidades eletrônicas, sensores e atuadores são causa frequente de problemas em sistemas eletrônicos de controle. Os problemas de chicote elétrico são frequentes em sistemas de controle dos mais variados. Quando o sistema precisa ser aplicado em ambiente particularmente hostil e, ainda, em motor de porte físico grande, como é o caso nesta aplicação, o risco de se ter problemas de confiabilidade e de manutenção de um chicote “tradicional” teriam sido grandes. Desta forma, como parte integrante do conceito do subsistema de controle eletrônico do Sistema HPDF3240, um novo conceito de chicote elétrico de conexão foi criado, sendo dotado de segmentação e ramificação modulares, gerando ramais padronizados, que podem ser facilmente testados e, quando necessário, substituídos. Este inovador conceito demonstra que os trabalhos de criação do Sistema HPDF3240, sempre feitos em conjunto com a equipe técnica da EPASA, mantém íntima ligação com as demandas de operação, manutenção e diagnóstico dos motores

Do ponto de vista operacional, cada UCIC controla o módulo de injeção de gás para seu cilindro, a unidade injetora controlada eletronicamente, efetua a leitura e elaboração de dados de todos os sensores de cilindro e, ainda, se comunica com as demais UCICs, com a UTM e com a UCG.

A Figura 5 apresenta uma vista esquemática da nova arquitetura eletrônica criada no Sistema HPDF3240.

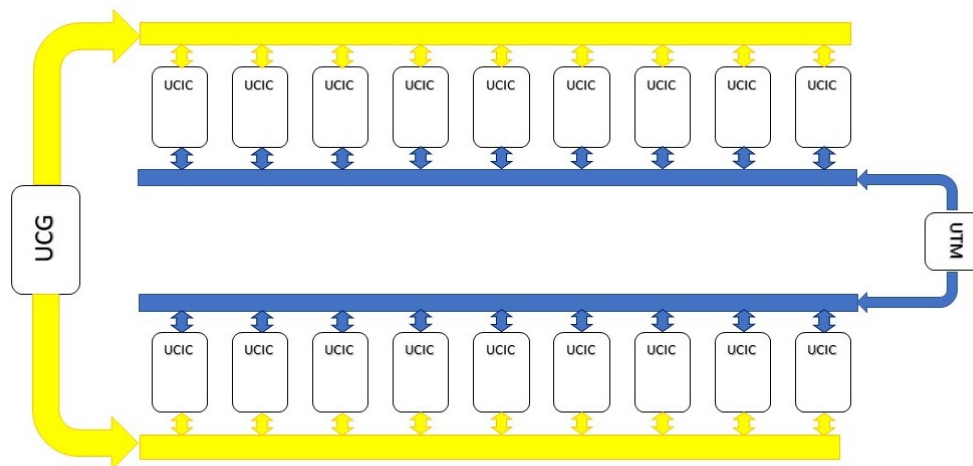


FIGURA 5 – Arquitetura eletrônica do Sistema HPDF3240

## 5.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um inovador e inédito sistema, capaz de converter os motores MAN3240 da EPASA de seu funcionamento original, unicamente a combustível líquido e com controle mecânico de injeção, para a operação *Dual Fuel* e, ainda, com gerenciamento de combustão totalmente eletrônico. Este sistema, batizado de Sistema HPDF3240, pode ser aplicado ao motor MAN3240 da EPASA sem demandar alterações a dito motor base e sem demandar extensas desmontagens ou longos períodos de inatividade. Com o Sistema HPDF3240 abrem-se novas perspectivas para a ampliação do uso de gás natural na geração termelétrica, com ganhos em custo de energia gerada, de emissão de poluentes e de aproveitamento do parque instalado de motores, tudo com custos de investimento particularmente reduzidos.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Documentação técnica de motor, Instruções de trabalho, motor V32/40, de MAN Diesel SE, 2009.

- (2) Documentação técnica de motor, Instruções de serviço, motor V32/40, de MAN Diesel SE, 2009.
- (3) Hot surface ignition of several alternative fuels, David Heningsson, Lulea university of Technology, 2016.
- (4) Characterization of Auto-Ignition Phenomena in Spark Ignition Internal Combustion Engine using Gaseous Fuels Obtained from Biomass, Jorge Duarte Forero, Guillermo Valencia Ochoa, Yulineth Cárdenas Escorcia, Chemical Engineering Transactions, vol 65, 2018.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



- Daniel Sofer é doutor em engenharia mecânica pelo Politecnico di Torino (Itália), sendo o fundador das empresas DSA e DSofer, ambas empresas 100% nacionais e dedicadas à geração de tecnologia no Brasil. À frente destas empresas tem se dedicado, há mais de 20 anos, à área de controle e aprimoramento de motores a combustão interna, incluindo a criação de injetores de combustível, sistemas de injeção e sistemas de gerenciamento de motor. Exemplos de atuação aos quais se dedicou ao longo do tempo incluem a criação de injetores de combustível e sistemas de injeção para motores de competição em alta performance internacional (incluindo Fórmula 1, Fórmula Indy, IRL), criação de sistemas para gerenciamento de motores 100% a combustíveis alternativos, criação de sistemas *dual fuel*, sistemas de gerenciamento de motores para veículos pesados. Atualmente atua na criação de sistemas para o aprimoramento de motores para geração para termelétricas.

- Patrícia Cristina Cruz é engenheira de materiais pela Universidade do Vale do Paraíba. Com mais de dez anos dedicados ao setor aeroespacial, na EMBRAER, e ulteriores dois anos na engenharia de turbocompressores e seus materiais, na BorgWarner, se juntou à DSA e à DSofer em 2011. Dentre as áreas de atuação às quais se dedicou ao longo do tempo estão incluídas a criação de projetos mecânicos de grande porte, a modelagem tridimensional de estruturas e componentes, a simulação numérica de eventos, a análise de falhas de materiais, a avaliação de desgastes e suas causas, a especificação de materiais, tratamentos térmicos, tratamentos superficiais e seus respectivos ensaios de conformidade, o planejamento estratégico de projetos e o gerenciamento/acompanhamento de manufatura avançada de componentes, criação de processos de manufatura avançada, projeto e criação de ferramentas e dispositivos especiais para a manufatura e ensaio de peças, componentes, subsistemas e sistemas.