

EXTRAPOLAÇÃO DO USO DE TECNOLOGIA NOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: UM ESTUDO DE CASO DE UMA TURBINA RECONFIGURADA

FREITAS, André Luiz Silva Gomes de
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA andreeng_@outlook.com
REIS, Artur Vinicius Araújo
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA arturvinicius.reis@gmail.com
SILVA, Marcos Gabriel C.
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA marcos00gabriel@outlook.com
GOMES, Fábio Souza
Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA

Resumo

Na construção de novos projetos para veículos automotores diversos parâmetros são analisados pelos engenheiros a fim de trazer um conforto e segurança para os futuros compradores deste produto. Para este artigo foram demonstradas as consequências de um mal uso de um remapeamento e turbina em um veículo Mercedes, fazendo com que o motor quebrassem e causando elevados prejuízos. Para isso foram utilizadas revisões bibliográficas e os métodos de exames utilizados foram os de aspecto visual. Propôs-se avaliar todas as condições de dano no motor em função das prováveis causas. Assim todas as informações e dados foram coletados direto do motor, no processo de desmontagem. E comprovar que não se deve trabalhar acima da segurança pré-estabelecida. Primeiro foi realizado a retirada do motor para ser vistas as peças danificadas, logo em seguida foram analisadas as novas potências em que o veículo estava trabalhando e por meio da equação de Clapeyron hipóteses foram criadas. Concluímos dessa forma, que para uma nova potência, que o veículo antes deve passar por novos cálculos para que assim possam ser feitas análises de quais peças usar a fim de não acontecer o rompimento do motor.

PALAVRAS -CHAVE: Turbina;Equação de Clapeyron; Remapeamento; Novas tecnologias; *downsizing*

1. Introdução

Os veículos automotores estão no mercado há algum tempo considerado tendo como desafio, aos fabricantes, promover maior conforto nos quesitos como facilidade no transporte e realização de tarefas do cotidiano dado que na atualidade o automóvel tem como propósito principal a locomoção e que a mobilidade ágil (ganho de tempo) é um ativo indispensável, já que “tempo é dinheiro”.

Com o aumento da concorrência entre as montadoras, tem ocorrido maiores exigências do mercado consumidor. Nesse sentido, a indústria automobilística está cada vez mais em busca por contemplar as necessidades dos seus clientes, desde quesitos como a estética do carro, pintura e a busca por motores mais robustos e econômicos. Além das cobranças do consumidor final, a indústria automobilística precisa ainda atender normas e procedimentos vigentes no Brasil, tais como os itens de segurança, a qualidade no seu processo produtivo.

Na finalidade de embarcarem nos padrões pré-estabelecidos, de modo a não perderem mercado, as indústrias automobilísticas têm se mobilizado e em meio a essa busca por soluções inovadoras, surgiu um novo conceito que passou a ser conhecido como *downsizing*.

Esse termo *downsizing* traduzindo, tem o significado de redução da cilindrada (capacidade volumétrica) com conseqüente aumento do ganho de potência, ou seja, a ideia fundamental dos novos projetos é: produzir motores menores com pequenas cilindradas, no entanto, com desempenho satisfatório otimizando ao máximo o processo de combustão, tendo como conseqüência uma maior eficiência e economia. (GUEDES, 2014).

Porém é importante frisar que as tecnologias inseridas nos motores de combustão interna têm razoável robustez. A inserção de um aparato que promova um determinado incremento no desempenho de um motor de combustão tem seus protocolos de confiabilidade garantidos pelo projeto de engenharia daquele motor/veículo. Portanto, o que se percebe, no mercado de reparação externa, ou seja, a que ocorre fora dos revendedores autorizados, é que em algumas situações estes projetos, que garantem a qualidade do produto, as vezes é ignorado. Desse modo fica a questão: até que ponto um implemento de uma tecnologia que melhora a eficiência e o desempenho de um veículo é viável?

Este trabalho tem por objetivo geral um estudo sobre as conseqüências que uma reconfiguração realizada de maneira errada pode trazer no motor, quando ocorre alteração dos parâmetros originais de fábrica. Para fundamentar a pesquisa um breve estudo foi

realizado demonstrando as principais evoluções de aparatos tecnológicos dos motores de combustão interna do Ciclo Otto e finalmente, para corroborar, será apresentado um estudo de caso de um motor que se fraturou devido a reconfiguração de sua turbina.

1.2 Motor de combustão interna

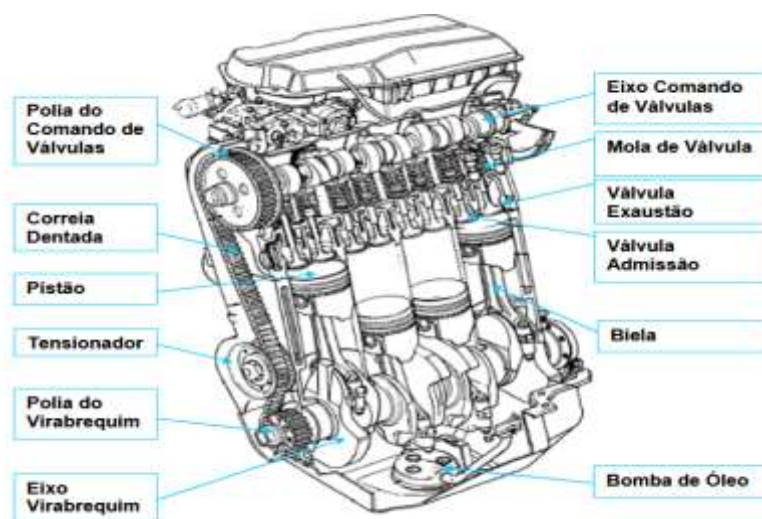
Motor de combustão interna foi idealizado pelo francês Alphonse Beau de Rochas em 1862 impondo as condições para que um motor de combustão interna, de quatro tempos, tivesse seu funcionamento com uma economia maior.

Alphonse futuramente veio a descrever os eventos para que a economia e a eficiência poderiam ser ainda maiores. Essa eficiência totaliza os 4 tempos e é o que acontece atualmente em todo motor de combustão interna.

Porém, suas ideias não obtiveram êxito na construção de um motor sendo fabricado somente em 1876 por Nikolaus Otto, que foi o físico que determinou o ciclo teórico sob qual o motor trabalha. Futuramente a firma alemã Otto veio a fabricar motores de 4 tempos com pistões moveis, ligados a uma peça chamada virabrequim e esse motor passou a ser conhecido popularmente como motor Otto (PASSARINI 1993).

Vale ressaltar que a ignição já era obtida por meio de vela assim como atualmente.

Figura1: Motor de combustão interna

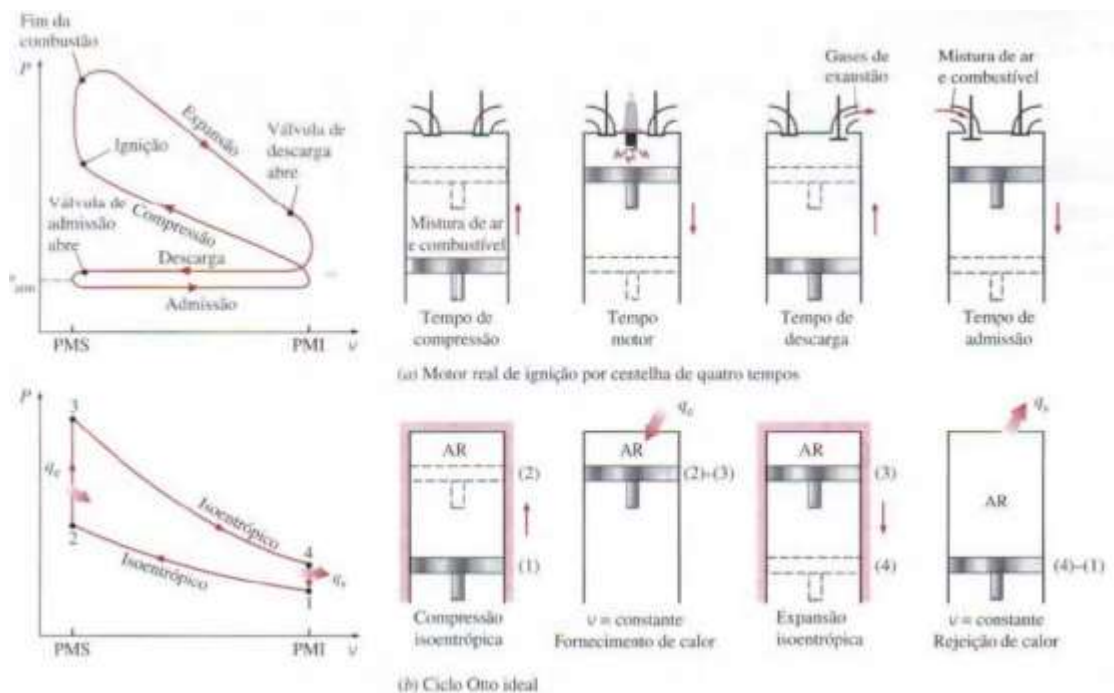


Fonte- <https://www.simplusbr.com/noticias/detalhes/simplicio-explica-sincronismo-de-motores-a-combustao-interna>

1.3 Ciclo de trabalho

Nos motores de 4 tempos um ciclo de trabalho completo corresponde a dois giros da árvore de manivelas. Conforme o virabrequim realiza o movimento os pistões dentro dos cilindros variam de ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI). As bielas têm por função a transmissão do movimento que ocorre na manivela para os pistões e, dessa forma, com as duas voltas da árvore das manivelas os 4 tempos são executados por um cilindro.

Figura2:Ciclo Otto PV



Fonte-ciclo otto - livro Termodinâmica - Yunus A Cengel, A. Boles

A figura (a) representa um ciclo de motor real de ignição por quatro tempos e a figura (b) representa o ciclo Otto ideal e para ambas este ciclo Pressão x Volume possui 4 etapas sendo elas:

- 1-2 Ocorre o processo de compressão isentrópica no diagrama Pv cuja expressão é dada por $p \cdot V^k = \text{cte}$ sendo k uma razão entre os calores específicos C_p e C_v do fluido ativo. (Yunus A Cengel 2007)

- 2-3 Ocorre o processo de aquecimento isométrico de calor, onde ocorre a ignição gerando um aumento na pressão e na temperatura sem que ocorra variação do volume. (Yunus A Cengel 2007)

- 3-4 É onde ocorre o trabalho útil é um processo de expansão adiabática, sendo assim o trabalho positivo da expansão (Yunus A Cengel 2007)

•4-1 Ocorre o processo de retirada do calor do sistema, onde uma válvula de escape se abre expelindo os gases da combustão e podendo, desse modo, iniciar um novo ciclo. (Yunus A Cengel 2007)

1.4 Sistema De Injeção Direta

A indústria automotiva vem optando pela instalação dos sistemas de injeção direta de combustível. Esse tipo de sistema é caracterizado por pulverizar o combustível na câmara de combustão, sem que tenha o intermédio de coletores de admissão, desse modo cria uma turbulência dentro da mesma e permite o funcionamento do motor em taxas maiores de compressão o que vem a melhorar o seu desempenho. (HURTADO, 2013)

A diferença entre os motores de injeção eletrônica indireta e no sistema de injeção direta é que o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão e não no coletor de admissão. Além disso, graças ao desenvolvimento do gerenciamento eletrônico, todo processo de distribuição de queima é realizado na quantidade e no tempo adequados. (BRUNETTI, 2012)

Para um melhor entendimento quando ocorre uma alta quantidade de ar na mistura sendo maior que a quantidade de combustível que está no cilindro esse fenômeno é conhecido como uma mistura “pobre”. E já para o contrário é chamada de mistura “rica”. Os motores de combustão utilizam a relação 40 partes de ar para cada 1 de combustível “40:1” em um motor convencional de gasolina a relação é de “7:1”. É importante notar que uma mistura mais pobre auxilia com que o combustível seja queimado de maneira mais econômica. (PARKER,2008)

Outra vantagem para os motores que utilizam a injeção direta é que a queima de combustível vem a ser de maneira mais completa. O controle da mistura ar-combustível é feito de forma mais precisa pois não há deposição de combustível nos pares do coletor de admissão ou nos dutos do cabeçote (BRUNETTI,2012)

Porém esse tipo de sistema vem também com suas desvantagens como o custo, por conta da exigência de uma maior resistência para suportar a alta pressão na câmara de combustão fazendo com que ocorra uma seleção de materiais com propriedades mecânicas mais elevadas. (HURTADO, 2013)

Mas essa alternativa é excelente para quem busca motores mais econômicos e que atendem as exigências dos compradores e das normas do controle de qualidade referente a emissão de poluente (HURTADO,2013)

1.5 Reprogramação eletrônica da ECU “ REMAP “

A sigla ECU vem do inglês e pode ser entendida como (Electronic Control Unit). Traduzindo para o português é conhecido como Controle de unidade eletrônica e a reprogramação eletrônica do carro, ou também conhecida como "instalação do chip de potência", dentre outras variantes, é uma das formas mais populares para aumentar a potência do motor. Afinal, ela pode ser feita sem alterações mecânicas e tem um custo relativamente baixo se comparado com outras formas de incremento de potência disponíveis no mercado.

Antes de mais nada, é preciso dizer que essa alteração provoca a perda da garantia do veículo. Atualmente, principalmente nos modelos mais recentes, as concessionárias conseguem facilmente detectar qualquer mudança na programação. “Mesmo que elas sejam posteriormente revertidas, retornando aos parâmetros originais, o histórico de mudanças fica registrado” (Henrique Pereira Otto da SAE BRASIL)

A realização do remap é feita por meio do módulo eletrônico do motor que está instalado o software que controla as calibrações de todas as funções, como injeção do combustível e avanço da ignição - de acordo com condições como a rotação do motor, carga do acelerador, temperatura ambiente, umidade do ar e até altitude.

Exemplificando, de forma resumida: a partir dessa programação, o carro sabe que estando a uma certa quantidade “x” rpm e com carga do pedal “y”, ele deve ter o avanço de ignição “a” e injeção de combustível “b”, condicionado ainda a condições de faixas de temperatura, umidade, altitude. Então, mudanças na rotação (x) ou carga do pedal (y) alteram o ponto de ignição (a) e o volume de combustível injetado, assim como as variações climáticas. (Henrique Pereira Otto da SAE BRASIL)

Na década de 90 foram feitos os procedimentos para menção ao "chip", quando ainda existia um chip que era substituído ou retirado para ser feito uma reprogramação. Atualmente, é através da porta OBD (on-board diagnostic) que é feito o acesso ao módulo de controle eletrônico e, assim, conseguir as alterações dos parâmetros originais de fábrica sendo esses basicamente da injeção de combustível, avanço da ignição e, quando existe, a pressão da turbina.

O ganho de potência só é visto de forma mais significativa em carros turbinados. Visto que nos motores aspirados, é possível obter um ganho de 5%, e por isso, é um recurso mais popular em motores com turbo, em que o ganho pode chegar a ser 6 vezes maior do

que em carros com motores aspirados, pois é possível trabalhar também com a pressão da turbina. (Henrique Pereira Otto da SAE BRASIL)

A alteração da programação tem outras desvantagens além da perda de garantia do veículo segurada pelos fabricantes uma outra é o aumento do consumo de combustível e das emissões de poluentes. Visto que o ganho da potência tem uma proporção relativa com o aumento desses dois quesitos.

Vale ressaltar que mudar a programação original não é algo simples e deve ser realizado por profissionais e caso a pessoa que está mexendo não for realmente preparada para isso, ela pode até mesmo travar o software.

Além disso vale ressaltar que quando um veículo tem sua potência alterada diversos outros componentes devem ser analisados para saber se também necessitam de modificações como os freios, pneus, peças do motor entre outros componentes que podem sofrer com alterações mal planejadas.

1.6 Motor aspirado

O desempenho de um motor de combustão interna está associado entre a relação da quantidade de ar que é admitido e mantido nos cilindros, pois quanto maior for a quantidade de ar admitido dentro dos cilindros maior também é a quantidade de combustível a ser adicionado e que será posteriormente oxidado. (BRUNETTI, 2012)

O fluxo de ar que ocorre para o interior dos cilindros no tempo de admissão é por função da geração de uma diferença de pressão que ocorre entre o coletor de admissão e o cilindro. No caso em que esse diferença ocorre por conta do deslocamento que ocorre do pistão do PMS (Ponto morto Superior) para o PMI (Ponto Morto Inferior), com isso é gerada uma depressão no interior do cilindro, não havendo nenhum dispositivo que eleve a pressão no coletor de admissão acima da pressão atmosférica, tendo-se, desse modo, o motor denominado aspirado. (BRUNETTI, 2012)

Nesses motores a pressão atmosférica é a máxima e o gradiente de pressão no processo de admissão é limitado pela pressão de admissão. (BRUNETTI, 2012)

1.7 Motor turbinado

Com o intuito de aumentar o gradiente de pressão no processo de admissão e a concentração de massa de ar admitida conseguindo dessa maneira uma maior eficiência do motor, surgiram os motores chamados de sobrealimentados. (BRUNETTI, 2012)

Nesses motores são instalados dispositivos que elevam a pressão no coletor de admissão acima da pressão atmosférica. Um desses dispositivos é o chamado

turbocompressor, que tem como função utilizar os gases de escapamento para gerar trabalho dentro de uma turbina e transferi-lo para o compressor, que possui a função de aumentar a pressão no coletor de admissão. (BRUNETTI, 2012)

Vale ressaltar que em um projeto de um motor onde se deseja obter um aumento de até 20% da sua potência, normalmente, não há necessidade de projetá-lo completamente. Só Acima das 20% peças como mancais, pistões, lubrificação e arrefecimento deverão ser revistos para garantir a durabilidade pois estarão em um uso ao qual não foram projetados podendo haver um maior desgaste. (BRUNETTI, 2013)

1.7.1 Turbocompressor

Turbocompressores são sistemas compostos por uma turbina que trabalha em conjunto com o compressor, são montados no sistema de admissão e sendo usados para que consiga aumentar a pressão do ar admitido no motor, resultando em maior massa de ar e combustível que entram em cada um dos cilindros, durante cada ciclo. (PULKRABEK, 2003)

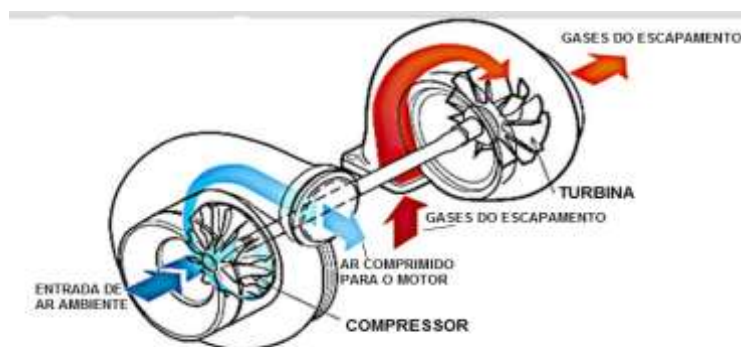
O compressor não tem ligações mecânicas com o motor, não consumindo potência de seu eixo. Pois este componente é movido pela turbina, que é acionada através dos gases de escape do motor. (BRUNETTI, 2013)

O processo de compressão do ar acarreta o aumento da temperatura. Essas diferenças de temperatura ocasiona a redução da massa específica do ar em comparação a uma condição de mais baixa temperatura. A fim de se conseguir minimizar o efeito da redução da massa específica (densidade) do ar gerado por causa do aumento de temperatura na compressão foram instalados intercoolers ou chamados de resfriadores que tem como objetivo reduzir a temperatura após a saída do compressor. (BRUNETTI, 2012)

O aumento da pressão proveniente do uso de turbocompressores varia entre 20 e 250 kPa, sendo que a maioria dos motores opera próximo a extremidade inferior desta escala. (PULKRABEK, 2003)

Os pontos negativos no uso de turbocompressores estão no fato de que tanto o compressor quanto a turbina geralmente possuem uma faixa de operação com altas eficiências ligeiramente mais restrita que a faixa de operação do motor ou seja, o turbocompressor opera de maneira mais efetiva em médias que o motor funciona em altas rotações, ocorrendo um uso maior do componente. (BRUNETTI, 2013)

Figura 3: Turbo compressor



Fonte- podcastf1brasil

Como pode ser analisado a figura acima representa como é o funcionamento de um turbo compressor em veículos automotores. Mostrando como ocorre a entrada e saída dos gases.

2. Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto de pesquisa teve como objetivo o estudo de caso referente a evolução dos motores por meio do uso de turbo compressores e os possíveis danos que esse mecanismo pode vir a causar no carro.

Será utilizado a pesquisa de documentos e o estudo de caso em um veículo Mercedes como métodos para o acolhimento de informações e dados para a comprovação dos exemplos que serão citados.

Após análise feita com auxílio da revisão da literatura, alguns tópicos foram selecionados para referenciar e sedimentar no estudo de caso, dentre eles, para este trabalho foram utilizados como alicerce da análise qualitativa e comparativa, sendo eles: a pressão de trabalho do motor com a utilização do turbo compressor, o torque a Potência e além do uso indevido do turbo nos motores e um mal remapeamento eletrônico mostrando os seus possíveis danos que venham a causar futuramente sem que os corretos cálculos sejam realizados.

O objeto de análise em questão deste artigo é um estudo de caso para um motor do veículo Mercedes modelo CLA 200 que chegou na empresa Centro Mecânica Excelence, que veio apresentar falha mecânica por conta do uso indevido de uma turbina e um remap mal calculado causando prejuízos ao veículo.

Vale ressaltar que de acordo com as condições impostas pelos fabricantes de veículos, no que se refere ao tempo de vida útil, é admissível a concordância que toda estrutura veicular, incluindo, neste caso o motor de combustão tem tempo de vida maior que 300 mil quilômetros para aqueles com uso convencional e com as manutenções realizadas conforme as orientações dos fabricantes.

Os métodos de exames utilizados foram os de aspecto visual. Propôs-se Avaliar todas as condições de dano no motor em função das prováveis causas. Assim todas as informações e dados foram coletados direto do motor, no processo de desmontagem.

2.1 Equações

A equação utilizada para esse artigo será a de Clapeyron onde diz que

$$PV = mRT \quad (1)$$

Sendo :

P= pressão [Pa = N/m²];

V= volume [m³];

M= massa [Kg];

R= constante [J/KgK];

T= temperatura [K];

Por tanto a partir dessa formula é possível analisar que essa equação demonstrada aponta para uma quantidade de energia que vem a ser gerada, no caso a multiplicação entre Pressão e volume, e que vem a ser equivalente a energia de uma quantidade de massa pelo produto de uma constante (R) e a temperatura do processo (T). Resultando assim no trabalho(W) gerado ou seja. Dessa forma quanto maior for o valor do produto de mRT maior será o valor de PV pois são valores diretamente proporcionais.

3. Resultados e discussão

Para início foi necessário a retirada do motor do veículo para que fosse analisada com devido cuidado as peças que foram danificadas.

Figura 4 - Motor do veículo a ser estudado



Fonte: Autores

O veículo inicialmente de fábrica se encontrava com 122.4 CV(cavalo vapor) e por conta das alterações do remap e turbina que ocorreram conseqüentemente houve modificações em sua cavalaria, mudando os parâmetros de segurança e seu CV foi elevado para 328 CV ou seja, através da utilização de um dinamômetro fornecido pela empresa ocorreu um ganho de 264% em relação ao valor antigo. O motor teve em seu bloco um furo lateral provocado pela soltura da biela do cilindro.

Vale ressaltar que o desempenho de um motor de combustão vem a ser uma função direta do conteúdo mássico de entrada de energia, sendo assim, a proporção de ar mais combustível que será admitido pelo motor de combustão. De modo que, a formação desta mistura energética, de modo alterada, pode potencializar conseqüentemente a performance do motor ao ponto de não suportar as cargas gerada no processo de combustão, tendo como consequência a sua danificação.

Figura5: bloco do motor apresentando um furo lateral provocado pela soltura da biela do cilindro



Fonte: Autores

Como demonstrado anteriormente o bloco do motor veio a sofrer um grave dano. Tendo diversas peças danificadas como por exemplo o pistão do primeiro cilindro e seus anéis de segmento.

Figura 6: Pistão e anéis danificados



Fonte: Autores

Que por conta do alto ganho de trabalho de modo não esperado e nem calculado essas peças sofreram rompimentos que não podem ser mais reparados. Apenas com a troca por novas peças.

Figura 7: Biela fraturada, e a quebra do bloco do motor por esse motivo.



Fonte: Autores

E com isso a biela veio a ser fraturada e como consequência ocorreu a quebra do bloco do motor impossibilitando o uso dele. O material não estava projetado para suportar

tal trabalho. O aço do bloco e da biela teria que ser forjado para suportarem e não sofrerem consequências.

Com este conhecimento do estudo de caso, foi utilizada a equação clássica de Clapeyron, que define a geração de energia e calor de forma aceitável, considerando o comportamento que ocorre por conta da entrada de fluxo da mistura (ar + combustível) no motor de combustão interna.

Contextualizando e colocando a equação antes citada de foi possível obter algumas hipóteses (H) do caso analisado, tem-se:

H1: Se a pressão de trabalho de uma turbina sofrer aumento irá ocorrer como consequência o aumento da energia de combustão do motor.

H2: Se a massa, que é representada pelo fluxo da mistura ar + combustível, aumentar ocorre também um aumento de energia de combustão do motor.

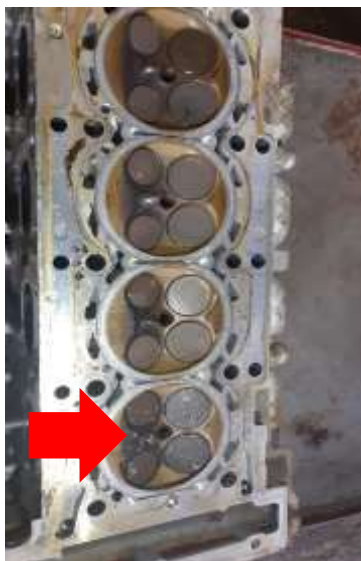
H3: Dado uma pressão de trabalho, indicada pelo fabricante da turbina do motor em questão podendo considerar que através do aumento da rotação que ocorreu no motor os pistões comprimem e recebem a explosão em pontos variados, ocasionando uma variação de volume e dessa forma haverá uma alta dissipação de energia caso este volume de compressão do interior do cilindro for menor durante o processo de realização da combustão.

Assim, com essas três proposições citadas há evidência de que houve um ganho energético, porém, dependendo da intensidade deste ganho, poderá ocorrer extrapolação dos limites da resistência das peças que compõem o motor de combustão, fazendo com que o limite de escoamento fosse ultrapassado e podendo até mesmo provocar rupturas.

Como veio a acontecer com o pistão do primeiro cilindro e seus anéis de segmento. Ambos danificado pela pane gerada no motor.

E como ocorreu também com cabeçote do motor e podendo se destacar a integridade da câmara de combustão do primeiro cilindro.

Figura 8: Cabeçote danificado



Fonte: Autores

Esta imagem do cabeçote vem a descartar qualquer possível evidência de que algum objeto entrou no motor para provocar o dano.

4. Conclusão

Segundo o fato em análise de o motor analisado apresentar a integridade em suas linhas de transmissão de força (pistão, biela e árvore de manivelas) dos cilindros 2, 3 e 4 é admissível o raciocínio de que os sistemas de lubrificação e arrefecimento do motor não apoiaram com a quebra deste.

Pode-se induzir que intervenções e manutenções realizadas no veículo foram de cunho corretivo, como a substituição de óleo, filtros, remoção e instalação de peças e acessórios do motor, não beneficia em condições para que a dinâmica do motor se desintegre em apenas um ponto isolado, ou seja, como ocorreu com a quebra da biela/pistão do primeiro cilindro.

Portanto, entende-se que o motor trabalhou com o seu sistema de alimentação e ignição de forma desconfigurada e dessa maneira provavelmente veio a ocorrer a alteração dos parâmetros originais e sem um aviso prévio para a concessionária ou para um engenheiro responsável para que se fosse analisada as novas condições de trabalho impostas.

Isto auxiliou em um incremento significativo de fluxo mássico (ar + combustível) que veio a ocasionar uma extrapolação da energia de dissipação, de tal maneira que o limite

das resistência da biela/pistão não suportassem e viesse a ocorrer o rompimento do mesmo devido a extrema carga gerada no processo de combustão naquele cilindro.

Vale ressaltar que essas peças são fabricadas utilizando o alumínio e cada empresa utiliza uma quantidade específica para fabricação das peças o que torna algo difícil de saber a real composição que é utilizada.

Assim para essa nova potência adquirida era necessário peças que fossem capazes de suportar como bielas e cabeçote forjados que auxiliariam no suporte da nova energia que foi gerada no pistão. Além de um remap bem feito e supervisionado auxiliando por um profissional ajudando a manter desse modo a vida útil do veículo e evitando principalmente acidentes envolvendo vidas.

5. Referências

- [1] ABIANEH, O.S., MIRSALIN, M., OMMI, F. Combustion Development of a Bi-Fuel Engine. International Journal of Automotive Technology, vol. 10, nº1 (2008).
- [2] ALMEIDA, M., YAZBEK, P. Os carros com menor consumo de combustível de 2015. Disponível < <https://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/os-carros-com-menor-consumo-de-combustivel-de-2015/>>.
- [3] BARATA, J. FlatOut Torque e potência. Disponível em < <https://www.flatout.com.br/qual-diferenca-entre-torque-e-potencia/> >
- [4] BRUNETTI, F. Motores de combustão interna: volume 1. São Paulo: Blucher, 2012.
- [5] BRUNETTI, F. Motores de combustão interna: volume 2. São Paulo: Blucher, 2012.
- [6] BUSATTE, Sabrina Yole Bicalho. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA MOTOR PARA UM VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO DE CONFIGURAÇÃO EM PARALELO PARA USO EM CICLO DE CONDUÇÃO URBANA. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto Ouro Preto - Mg, 2018.
- [7] CENGEL, Yunus. **Transferência de calor e massa**. 7. ed. [S. l.]: AMGH, 2013. 435 p. v. 7.
- [8] FRIEDFELDT, R. ZENNER, T.ERNST, R. FRASER, A. Three-cylinder gasoline engine with direct injection. ATZ autotechnology. Volume 12, 2012.
- [9] LANNES NETO, Francisco Soares de. AVALIAÇÃO NUMÉRICA DO DESEMPENHO DE UM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA OPERANDO COM COMBUSTÍVEL DE ALTA OCTANAGEM. Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

[10] LIMA, Renato Gavassa. Evolução dos motores a combustão interna ciclo Otto no Brasil. Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia Fatec Santo André, Santo André – São Paulo, 2017.

[11] PEREIRA, Leonardo Pedreira. Aplicação do ciclo Otto e do ciclo Atkinson em um motor de combustão interna rotativo com taxa de compressão variável. Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Puc-rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017.

[12] PASSARINI, Luis Carlos; PINOTTI JUNIOR, Mario. Projeto e **análise de válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível: uma nova proposta**. 1993. Universidade de São Paulo, Sao Carlos, 1993.

[13] RODRIGUES, Thiago de Matos. "DOWNSIZING" EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: UMA ABORDAGEM DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

[14] VARELLA, Carlos Alberto Alves. ESTIMATIVA DA POTÊNCIA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA. 2015. 35 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.