

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEMEC

VINÍCIUS PRUDENTE FERRAZ

PROJETO DE PREPARAÇÃO DE UM MOTOR ICE DE UM GOL G4
PARA COMPETIÇÕES DE ARRANCADA.

Uberlândia
2022

VINÍCIUS PRUDENTE FERRAZ

PROJETO DE PREPARAÇÃO DE UM MOTOR ICE DE UM
GOL G4 PARA COMPETIÇÕES DE ARRANCADA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Máquinas Térmicas

Orientador: Prof^ª. Dra. Ana Marta de Souza

Uberlândia
2022

VINÍCIUS PRUDENTE FERRAZ

PROJETO DE PREPARAÇÃO DE UM MOTOR ICE DE UM
GOL G4 PARA COMPETIÇÕES DE ARRANCADA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Máquinas Térmicas

Uberlândia, 23/06/22

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Ana Marta de Souza - (UFU)

Prof. Dr. Francisco José de Souza - (UFU)

Prof. Dr. João Rodrigo Andrade - (UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que tornaram possível minha formação por estarem sempre presentes e me incentivarem nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período do meu curso.

E por fim, agradeço às pessoas em quem convivi a longo desses anos de curso, que de certa forma me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

Esse trabalho tem como principal objetivo mostrar como é feita a preparação, principalmente em relação ao motor, de carros de arrancada, mostrando mais especificamente o projeto de um Volkswagen Gol G4 2011. Esse carro passou por uma modificação completa para competir na categoria Dianteira Turbo A (DT-A), a qual competem carros com aproximadamente 1000 Cavalos (cv) e com reduções de peso significativas. As provas de arrancada têm crescido bastante nos últimos anos, com destaque para as categorias que utilizam principalmente o motor AP, conhecido pelo seu grande potencial e pelo baixo custo de seus componentes. Nesse trabalho são apresentadas as inúmeras modificações que geralmente são feitas nos motores para alcançar tais níveis de potências, além de modificações estruturais e de itens de segurança feitas no carro.

Palavras-chave: motor ICE; provas de arrancada; turbocompressor; potência.

ABSTRACT

The main objective of this work is to show how the preparation is, mainly in relation to the engine, of drag cars, showing more specifically the project of a Volkswagen Gol G4 2011. That car went through a complete modification to compete in the Front Wheel Turbo A category (DT-A), where cars with approximately 1000 horsepower and significant weight reductions compete. Drag racing has grown a lot in recent years, with emphasis on the categories that mainly use the AP engine, known for its great potential and the low cost of its components. In this work are showed the many modifications that are usually made in engines to reach such levels of power, in addition to structural changes and safety items made in the car.

Keywords: ICE engine; drag race; turbocharger; power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de uma máquina de serrar pedras no Império Romano (Fonte: Wikimedia, Serraria Romana, 2009)	19
Figura 2 – Motor Lenoir (Fonte: Science Photo Library	20
Figura 3 – Motor do Koenigsegg Gemera de 2.0 litros que rende 600cv (Fonte: Koenigsegg, 2020)	21
Figura 4 – Ciclos de operação de um motor ciclo Otto (Fonte: Multipetro, 2018) .	21
Figura 5 – Diagrama Pressão-Volume de um motor Ciclo Otto (Fonte: Heywood, 1988)	23
Figura 6 – Curva de Torque e Potência do motor EA111 1.6 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores da frota nacional Volkswagen. 26	26
Figura 7 – Compressor Tipo Parafuso (Fonte: Bertha Group, 2019)	28
Figura 8 – Compressor de Lóbulos (Fonte: WP Supplier	29
Figura 9 – Compressor Centrífugo (Fonte: Mechanical Booster)	30
Figura 10 – Vista de corte de um turbocompressor (Fonte: Autos Cultura Mix, 2012)	30
Figura 11 – Mapa de eficiência turbina Garrett GTX3076R (Fonte: Garret, 2019 . .	31
Figura 12 – Sistema de alimentação de combustível (Fonte: CarUp, 2017)	33
Figura 13 – Sistema de admissão e de escape (Fonte: CarUp, 2017)	35
Figura 14 – Componentes do cabeçote e bloco do motor desmontados (Fonte: Vladru, 2018	36
Figura 15 – Bloco Motor AP 2.0 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores da frota nacional Volkswagen.	37
Figura 16 – Jogo de pistões forjados AFP (Fonte: AFP Racing)	38
Figura 17 – Bielas forjadas Saenz 300M 144mm	39
Figura 18 – Cabeçote Golf GLX 2.0 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores Volkswagen)	39
Figura 19 – Injeção Programável FT550 (Fonte: Fueltech)	40
Figura 20 – Pressão no cilindro em função do ângulo do virabrequim e do tempo de ignição (Fonte: Heywood, 1988)	40
Figura 21 – Estequiometria da mistura em função do sinal de tensão recebido pela sonda lâmbda (Fonte: MTE Thomson)	41
Figura 22 – Comparação entre as propriedades da gasolina e do metanol (Fonte: Heywood, 1988)	42
Figura 23 – Coletor de Admissão Dual Plenum	42
Figura 24 – Icecooler 1000 CV FTX (Fonte: FTX)	43
Figura 25 – Precision 6875 Gen2 (Fonte: Precision Turbo)	44
Figura 26 – Suspensão Coilover (fabricação própria)	45
Figura 27 – Paraquedas Simpson 10 pés	45

Figura 28 – Gaiola de proteção	46
Figura 29 – Interior do carro	46
Figura 30 – Conjunto roda e pneu dianteiro	47
Figura 31 – Conjunto roda e pneu traseiro	47
Figura 32 – Gol G4 DT-A em evento	49
Figura 33 – Cofre do motor	49
Figura 34 – Curva de Torque e Potência Projeto Gol DT-A	50
Figura 35 – Campeão Mineiro 2019 - Etapa Arena Race Uberlândia	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ICE - Ignição por Centelha

AP - Alta Performance

DTA - Dianteira Turbo A

CV - Cavalos

PMS - Ponto Morto Superior

PMI - Ponto Morto Inferior

RPM - Rotações Por Minuto

PME - Pressão Média Efetiva

ECU - Eletronic Control Unit (Unidade de Controle Eletrônico)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	História do motor ciclo Otto	14
2.2	Ciclo Básico de Funcionamento	16
2.2.1	Admissão	17
2.2.2	Compressão	17
2.2.3	Combustão	17
2.2.4	Exaustão	17
2.2.5	Diagrama Pressão - Volume	17
2.3	Características gerais de Motores	18
2.3.1	Cilindrada	18
2.3.2	Razão de Compressão	19
2.3.3	Potência	19
2.3.4	Torque	20
2.3.5	Curva de torque e potência	20
2.3.6	Pressão Média Efetiva	21
2.3.7	Eficiência Volumétrica	21
2.3.8	Eficiência Mecânica	22
2.3.9	Eficiência Térmica	22
2.4	Sobrealimentação de motores de ciclo otto	22
2.4.1	Compressores mecânicos	23
2.4.1.1	Compressores Tipo Parafuso	23
2.4.1.2	Compressores de Lóbulos	24
2.4.1.3	Compressores Centrífugos	24
2.4.2	Turbocompressor	25
2.5	Preparação de motores de ciclo otto	27
2.5.1	Alimentação de Combustível	27
2.5.2	Admissão de Ar	29
2.5.3	Sistema de escape	29
2.5.4	Bloco do motor e Cabeçote	31
3	DESENVOLVIMENTO	32
3.0.1	Bloco do motor e seus componentes	32
3.0.2	Cabeçote	34

3.0.3	Alimentação de Combustível	34
3.0.4	Admissão de Ar	37
3.0.5	Sobrealimentação	38
3.0.6	Sistema de Escapamento	39
3.0.7	Demais Sistemas	39
4	RESULTADOS	43
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Desde a criação do automóvel no final do século XIX, as corridas em circuito vêm conquistando cada vez mais seu espaço, e já possuem milhões de fãs ao redor do planeta. Já as provas de arrancada tiveram origem no final da década de 30, quando os motores tornaram-se consideravelmente melhores, atingindo velocidades acima de 100 MPH, e popularizaram-se mais ainda na década seguinte, juntamente com o fim da Segunda Guerra Mundial, visto que jovens soldados recém chegados dos campos de batalha, que tinham pouco dinheiro e muito conhecimento adquirido em engenharia, precisavam de carros baratos, mas também queriam que eles fossem rápidos por estarem habituados com fortes emoções.(HERNANDES, Dalmo. Drag racing: como surgiram as corridas de arrancada. Flatout, 2015. Disponível em: <https://flatout.com.br/drag-racing-como-surgiram-as-corridas-de-arrancada/>. Acesso em: 05 de jun. de 2022.)

Atualmente, as provas de arrancada são bem conhecidas no Brasil, e vários carros preparados em solo nacional já tiveram premiações a nível mundial, principalmente se tratando de motores AP, que durante 27 anos equiparam modelos da Volkswagen e da Ford no Brasil. Esse motor que teve sua origem em um projeto militar da Mercedes-Benz é o preferido dos preparadores, pois, além do baixo custo das peças devido à grande oferta no mercado, eles possuem grande potencial para preparação e ganho de potência.

Além disso, as provas de arrancada são muito importantes para o desenvolvimento e descoberta de novas tecnologias a cerca dos motores a combustão, pois, além de estimular os preparadores a estarem sempre um passo a frente do rival, as competições levam os motores ao limite. Para se ter ideia, a maioria dos carros vão para as competições com motores e peças reservas, visto que as quebras são muito comuns.

Tendo em vista o crescimento dos eventos de arrancada e como eles estão cada vez mais presentes na vida dos amantes da velocidade, este trabalho tem como objetivo principal mostrar o passo a passo da preparação de um Volkswagen Gol G4 2011 que foi preparado para ter aproximadamente 1000 Cv de potência, com foco no motor e suas modificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão bibliográfica de assuntos fundamentais para o entendimento do trabalho. Dentre esses assuntos, pode-se destacar a história do motor ciclo Otto, o seu ciclo básico de funcionamento, algumas de suas características importantes, a sobrealimentação e a preparação desses motores para o aumento de potência.

2.1 História do motor ciclo Otto

A princípio, vale dizer que as civilizações sempre buscaram desenvolver um mecanismo que fosse capaz de converter formas de energia em energia mecânica, primordialmente para realizar tarefas, antes feitas por animais ou pelos próprios seres humanos. No Império Romano por exemplo, temos evidências do uso do mecanismo Biela-Manivela para serrar pedras, a partir da energia cinética da queda d'água.

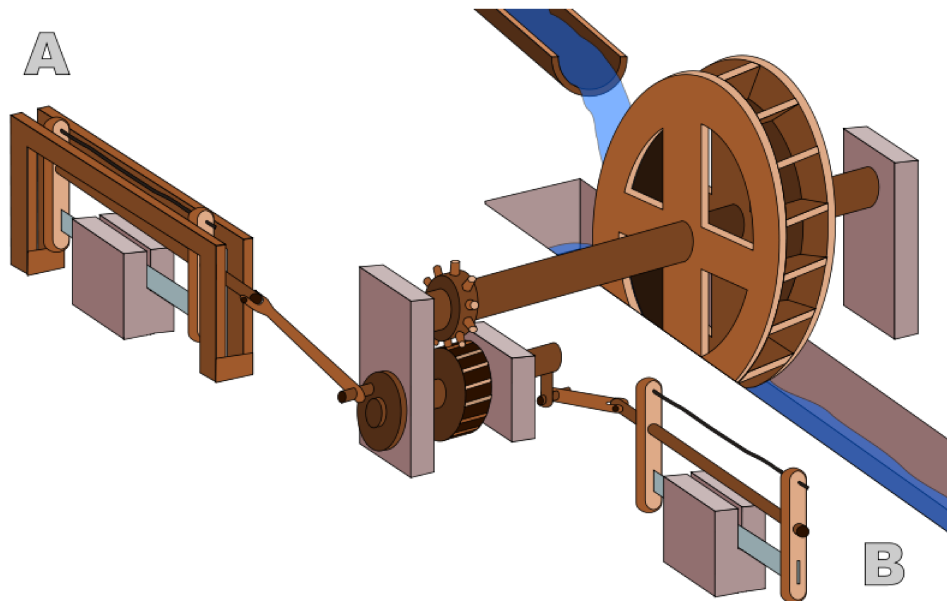


Figura 1 – Representação de uma máquina de serrar pedras no Império Romano (Fonte: Wikimedia, Serraria Romana, 2009)

Ao longo dos anos, dezenas de cientistas e engenheiros contribuíram para o avanço e desenvolvimento do motor ICE, porém alguns nomes ficaram marcados e valem ser lembrados. Em 1794, Robert Street patenteou o primeiro motor de combustão interna a usar combustível líquido, e nas décadas seguintes, várias outras patentes foram feitas, com motores cada vez mais sofisticados. Mas foi só em 1860 que o belga Étienne Lenoir produziu um motor de combustão interna a gás, com cilindros, pistões, bielas e volante,

com a aparência semelhante a um motor a vapor de ação dupla horizontal, sendo o primeiro motor de combustão interna produzido em série.

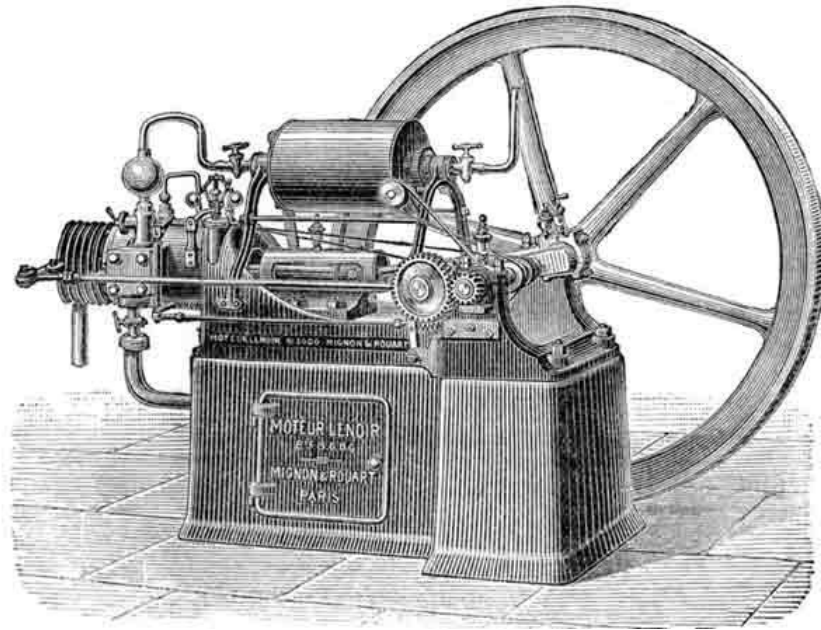


Figura 2 – Motor Lenoir (Fonte: Science Photo Library)

Logo em seguida, em 1862, Alphonse Beau de Rochas confirma a primeira patente para um motor de 4 ciclos, mas foi apenas na teoria, pois na prática não existia nenhum motor construído para provar o conceito, e é aí então que entra Nikolaus Otto, o inventor do motor de ciclo Otto.

No mesmo ano, Nikolaus começava a fabricar o motor Lenoir sem gás de compressão e com pistão livre, e 2 anos depois patenteia em alguns países seu primeiro motor a gás atmosférico, sendo o primeiro a fabricar e vender esse tipo de motor, que inclusive ganhou o apoio da maior parte do mercado devido à sua grande eficiência. Nessa época, o engenheiro alemão Carl Eugen Langen colaborou com o projeto de Otto. Mas foi em 1876, que Nikolaus usou de alguns dos conceitos de Beau de Rochas para construir e patentear o motor mundialmente conhecido na atualidade, o motor de ciclo Otto.

O motor de quatro tempos era bastante confiável e eficiente para a época, e por isso foi um sucesso desde sua criação. Entretanto, vale dizer que uma década após a invenção, sua patente foi revogada e substituída pela patente do próprio Beau de Rochas que em 1862 trouxe o conceito desse motor de quatro fases. De qualquer forma, nas décadas seguintes foram feitos grandes avanços, como por exemplo a patente e produção dos primeiros turbocompressores em 1905, o uso da injeção direta de combustível em 1925, e muitos outros. Desde então, melhorias têm sido implementadas nos motores de combustão interna que estão cada vez mais eficientes e confiáveis.

Com a globalização, o avanço da tecnologia e a crescente disputa entre montadoras

para o desenvolvimento de motores cada vez melhores, a modernização destes tem sido de forma exponencial, e promete muitas surpresas para o futuro.



Figura 3 – Motor do Koenigsegg Gemera de 2.0 litros que rende 600cv (Fonte: Koenigsegg, 2020)

2.2 Ciclo Básico de Funcionamento

Os motores do ciclo Otto, que são de Ignição por centelha (ICE), transformam a energia química dos combustíveis em energia mecânica, a partir da força gerada pela combustão da mistura ar-combustível, que nesse caso é provocada pela centelha disparada na vela. O funcionamento desses motores se dá a partir de 4 tempos, sendo eles: tempo de admissão, tempo de compressão, tempo de combustão e tempo de descarga.

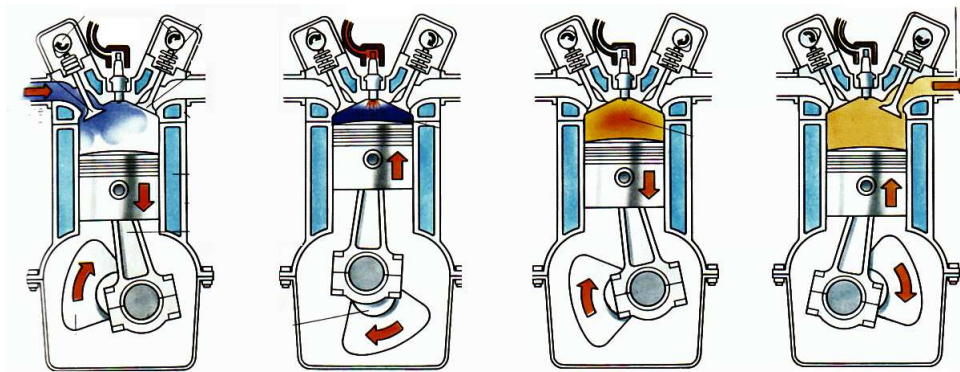


Figura 4 – Ciclos de operação de um motor ciclo Otto (Fonte: Multipetro, 2018)

2.2.1 Admissão

Nessa primeira etapa, o ar, ou a mistura ar-combustível (para a maioria dos motores, que são de injeção indireta), entra no cilindro a partir da abertura das válvulas de admissão e da pressão negativa causada pelo movimento de descida do pistão, que sai do ponto morto superior (PMS) e vai até o ponto morto inferior (PMI). Vale lembrar que as válvulas de escape ficam fechadas o tempo todo, e no caso de motores sobrealimentados, o compressor pressuriza o ar antes de sua entrada no cilindro.

2.2.2 Compressão

No segundo tempo, as válvulas de admissão e de escape estão fechadas, e o movimento de subida do pistão do PMI para o PMS comprime a mistura ar-combustível, gerando uma maior integração entre as partículas de ar e combustível, e aumentando a pressão e temperatura dentro do cilindro, até que o sistema de ignição dispare uma centelha entre os eletrodos de uma vela. Além disso, é importante lembrar que é de suma importância que parâmetros como octanagem do combustível, tempo de ignição e relação ar/combustível estejam de acordo para o motor, para evitar a detonação, popularmente conhecida como batida de pino.

2.2.3 Combustão

A combustão é o terceiro tempo do ciclo e o mais importante, visto que é o único que gera trabalho. Essa etapa é iniciada a partir da descarga elétrica produzida pela vela de ignição, dando origem a uma chama turbulenta que propaga-se através da mistura de ar-combustível e gás queimado, até atingir as paredes da câmara e então se extinguir. Esse desenvolvimento da chama e sua propagação variam ciclo a ciclo, pois o crescimento de chama depende da composição da mistura e escoamento da mesma localmente. Enfim, essa combustão empurra a cabeça do pistão para baixo, indo do PMS para o PMI, produzindo um torque de eixo, e conseqüentemente, um trabalho. Vale lembrar que durante toda essa etapa, as válvula de admissão e escape permanecem fechadas.

2.2.4 Exaustão

Por fim, no último ciclo do motor, apenas as válvulas de escape se abrem, e o movimento do êmbolo do PMI para o PMS empurra os gases gerados no processo de combustão para fora do cilindro, dando um fim aos 4 ciclos que se repetirão.

2.2.5 Diagrama Pressão - Volume

No Diagrama P – V real representado abaixo, observa-se o comportamento da mistura dentro da câmara de combustão em cada uma das 4 fases. No eixo das abcissas (eixo

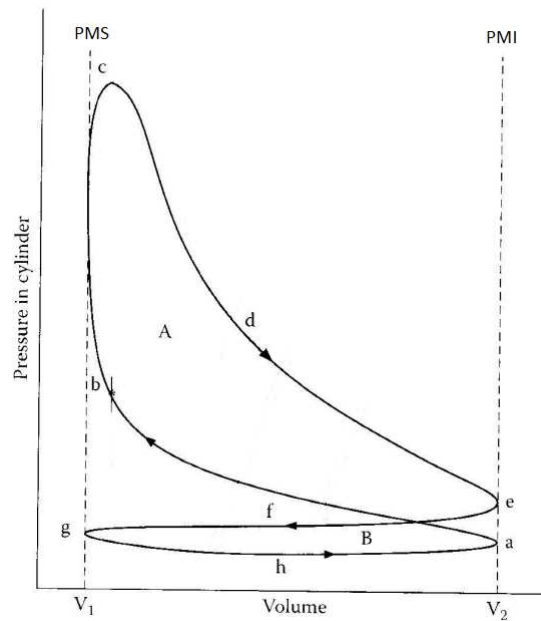


Figura 5 – Diagrama Pressão-Volume de um motor Ciclo Otto (Fonte: Heywood, 1988)

x), tem-se V_1 representando o PMS e V_2 representando o PMI. É visto então que do ponto “g” ao ponto “a” ocorre a fase de admissão, onde a contrapressão causada pelo movimento do pistão gera uma pressão ligeiramente menor que a pressão atmosférica no interior do cilindro, devido às perdas de carga no interior do sistema. Já a fase de compressão, é representada de “a” até “b”, onde o movimento de subida do pistão comprime a mistura, e conseqüentemente, diminui o volume e aumenta a pressão da mesma. A próxima fase (combustão), começa a partir do disparo da centelha pela ignição, representado por “b”, onde é visto um aumento de pressão abrupto, até um valor máximo “c”, seguido do movimento de descida do êmbolo até o PMI, representado pela letra “e” no diagrama. Por fim, do ponto “e” ao “g” tem-se a exatuação dos gases da câmara à pressão atmosférica.

2.3 Características gerais de Motores

2.3.1 Cilindrada

O termo cilindrada, refere-se ao volume deslocado pelo pistão do ponto morto superior (PMS) até o ponto morto inferior (PMI), multiplicado pelo número de cilindros do motor, e pode ser calculada pela equação (1) abaixo:

$$V = n.L.\frac{\pi.D^2}{4} \quad (2.1)$$

Onde:

V = cilindrada;

D = diâmetro do pistão;

L = curso do pistão do PMI ao PMS;

n = número de cilindros;

2.3.2 Razão de Compressão

A razão de compressão ou taxa de compressão é o parâmetro que relaciona a quantidade de volume de mistura ar-combustível da fase de admissão que será comprimido anteriormente à fase subsequente de combustão, ocorrendo aqui uma redução do volume e grande aumento da pressão interna. Em outras palavras, é a razão entre o volume total dentro do cilindro quando o êmbolo está no PMI pelo volume quando o êmbolo está no PMS (volume da câmara). A equação (2) que descreve a razão de compressão é dada abaixo:

$$Rc = \frac{V + v}{v} \quad (2.2)$$

Onde:

Rc = relação de compressão;

V = cilindrada individual (de um pistão);

v = volume da câmara de combustão;

É importante dizer que quanto maior a taxa de compressão, maior a velocidade de ocorrência da reação de combustão, e conseqüentemente, maior a eficiência da mesma. Além disso, as perdas relacionadas à energia térmica são minimizadas, devido a menores áreas de exposição pela alta pressurização e velocidade do processo. Entretanto, as características do combustível usado são fatores limitante para o aumento dessa razão de compressão. A octanagem por exemplo é um limitante, pois altas taxas de compressão podem elevar a temperatura da mistura até o ponto de autoignição desta, ocorrendo a detonação, que causa perda de eficiência e desgaste no motor. Encontrar então uma solução de engenharia com a melhor razão de compressão para um dado conjunto de motor e combustível é extremamente importante para se ter a maior eficiência e competitividade dos veículos.

2.3.3 Potência

A potência de um motor é definida como o trabalho realizado numa unidade de tempo (BRUNETTI, 2012), e pode ser calculada pela seguinte equação (3):

$$W = \frac{F \cdot d}{t} \quad (2.3)$$

Onde:

W = potência;

F = força atuante;

d = distância perpendicular entre o eixo e a direção a força;

t = tempo;

Podemos separar a potência em duas, indicada e efetiva. A potência indicada é a desenvolvida no interior do cilindro pelo ciclo termodinâmico ativo. Pode ser estimada por exemplo na cabeça do pistão, e indica toda a potência que o motor gerou. Já a potência efetiva, é a potência que de fato temos na ponta do eixo virabrequim, é a potência indicada subtraída pelo atrito dos componentes que o próprio motor precisa para seu funcionamento, como por exemplo para acionar a boma de óleo para lubrificação.

2.3.4 Torque

Torque é uma grandeza vetorial definida através da componente perpendicular ao eixo de rotação da força aplicada sobre um objeto, que é efetivamente utilizada para fazê-lo girar. Nos motores o torque é normalmente medido através de um dinamômetro conectado ao seu volante, e seu valor é dado pela equação (4):

$$T = F \cdot d \quad (2.4)$$

Onde:

T = torque;

F = força atuante;

d = distância perpendicular entre o eixo e a direção a força;

2.3.5 Curva de torque e potência

A curva de torque e potência nos mostra de fato qual é a entrega do motor ao longo de toda a sua faixa de rotação, sendo essencial para coleta de dados e como efeito de comparação para qualquer projeto. Como foi visto anteriormente, a potência é o resultado da força do motor (torque) por rotações por minuto, logo, a curva de potência é criada a partir dos valores da curva de torque por rotações por minuto (RPM).

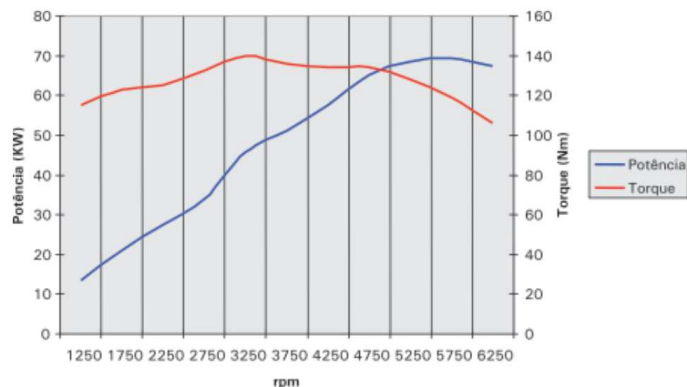


Figura 6 – Curva de Torque e Potência do motor EA111 1.6 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores da frota nacional Volkswagen).

2.3.6 Pressão Média Efetiva

A pressão média efetiva (PME) é a relação entre o trabalho gerado por um ciclo pelo volume deslocado, e por representar o trabalho por unidade de cilindrada, é muito importante para saber a eficácia do motor. Ela é uma pressão "fictícia", que para um motor com certa característica, está ligada diretamente ao torque desenvolvido pelo motor sobre o virabrequim.

As mesmas relações utilizadas para a potência também podem ser usadas para descrever a pressão média efetiva, podendo comparar o desempenho de motores de tamanhos e potências diferentes. A Pressão Média Efetiva pode ser calculada a partir da equação (5):

$$PME = \frac{1200 \cdot W}{V \cdot n} \quad (2.5)$$

Onde:

PME = Pressão Média Efetiva;

W = Potência;

V = Cilindrada;

n = Rotação;

2.3.7 Eficiência Volumétrica

A eficiência volumétrica é calculada a partir da relação entre o volume real de ar admitido no motor e o volume deslocado do próprio motor, ou seja, quanto mais eficiente, melhor vai ser a capacidade desse motor de converter esse volume deslocado em potência ou torque. A eficiência volumétrica está diretamente ligada à capacidade de um motor

desenvolver potência e obter desempenho, pois quanto mais ar o motor conseguir ingerir por ciclo, mais combustível pode ser queimado e mais energia pode ser convertida em trabalho e potência, visto que injetar combustível líquido em um pequeno volume dentro do cilindro é muito mais fácil do que injetar a quantidade de ar necessária para reagir com esse combustível.

2.3.8 Eficiência Mecânica

É a medida de quão eficiente é o motor em relação à transmissão de potência entre os seus órgãos móveis, ou seja, é a relação entre a potência efetiva e a potência indicada. De acordo com a literatura, aproximadamente 35% da energia é perdida em forma de calor pelos gases de escape, outros 30% na forma de calor por dissipação pelo sistema de arrefecimento, e outros 10% é perdido por atrito. Logo, conclui-se que aproximadamente, apenas 25% da energia é efetivamente fornecida pelo volante do motor

2.3.9 Eficiência Térmica

É a relação entre o calor que se transforma em trabalho útil e todo o calor que o combustível poderia gerar para transformar em trabalho útil, ou seja, é uma medida de quão eficiente é o processo de conversão de energia térmica em trabalho.

2.4 Sobrealimentação de motores de ciclo otto

A potência gerada pelo motores a combustão está diretamente ligada à quantidade de mistura queimada, ou seja, quanto maior a massa de ar e combustível, maior será o trabalho realizado dentro da câmara, e conseqüentemente, maior a potência e torque gerados. Nos motores atuais de ciclo otto, a quantidade de ar e combustível a ser admitida para dentro do cilindro é controlada a partir da central eletrônica do carro, entretanto, visando o aumento de potência, a vazão de ar admitido é um fator limitante nos motores naturalmente aspirados, visto que a aspiração do ar para o cilindro é comandada pelo pistão que gera uma pressão negativa a partir do movimento de descida. Ou seja, em um certo patamar de potência requerido em um projeto de um motor, onde não haverá o aumento, ou no número de cilindros ou no volume desses, é necessário um componente que pressurize o ar de entrada para uma maior admissão no motor, e é aí que entra os compressores mecânicos ou os turbocompressores. A sobrealimentação consiste em aumentar a densidade do ar através do aumento da pressão antes da entrada no cilindro, e

isso faz com que num mesmo volume, a massa de ar seja maior, aumentando o rendimento volumétrico do motor.

2.4.1 Compressores mecânicos

O conceito do “supercharger” (compressor mecânico) foi patenteado em 1885, por Gottlieb Daimler, e esse componente vem sendo usado por esse tempo todo pela indústria automobilística. O compressor mecânico possui um princípio de funcionamento bem simples. A polia do virabrequim é ligada à polia do compressor mecânico por meio de uma correia, que é responsável por transmitir esse movimento do virabrequim para o supercharger. A polia é responsável por girar as pás (dependendo do compressor) que vão pressurizar o ar que será admitido pelo motor, e dessa forma temos a sobrealimentação do motor.

Porém, apesar de proporcionar um aumento de potência para o motor, o supercharger é considerado um parasita, pois “rouba” potência do eixo virabrequim para funcionar, o que impacta na eficiência desse componente. Esse consumo pode chegar a 15% da potência efetiva em motores automotivos, mas esses valores podem mudar de acordo com o tipo de compressor usado em virtude da sua eficiência (BRUNETTI, 2012).

Existem vários tipos de compressores mecânicos, todos com o mesmo princípio de funcionamento, e entre eles os mais comuns são os compressores do tipo parafuso, os de lóbulos e os centrífugos.

2.4.1.1 Compressores Tipo Parafuso

Apesar desses compressores serem considerados grandes, pesados e mais caros, eles geram altas pressões, vazões relativamente boas e excelente rendimento de até 90%, pressurizando o ar a partir de dois rotores que giram em sentidos opostos, sendo um deles com vales e o outro com lóbulos, o que faz com que o ar seja comprimido entre os seus fusos. Por suas características, é amplamente aplicado em motores de alto desempenho.

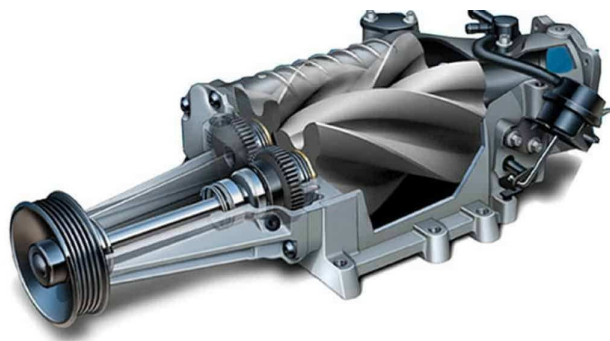


Figura 7 – Compressor Tipo Parafuso (Fonte: Bertha Group, 2019)

2.4.1.2 Compressores de Lóbulos

Também conhecidos como compressores tipo roots, esses compressores possuem dois rotores (projetos de dois, três ou quatro lóbulos) que giram em sentido contrário para “bombear” ar no motor. Devido a essa natureza de compressão externa, eles produzem mais calor na carga de ar de entrada do que qualquer um dos outros tipos de supercharger e, portanto, são considerados os menos eficientes dos três tipos principais disponíveis, tendo eficiências em torno de 50%. Entretanto, são os mais utilizados atualmente, muito por causa das grandes vazões, e por isso são indicados para motores de grande cilindrada, que necessitem de baixa pressão de sobrealimentação e grande volume de ar, tendo também uma baixa necessidade de manutenção.



Figura 8 – Compressor de Lóbulos (Fonte: WP Supplier)

2.4.1.3 Compressores Centrífugos

Um compressor centrífugo é muito semelhante a um turbocompressor, mas em vez de ter seu acionamento pelos gases de exaustão, ele é acionado a partir da polia ligada à correia do virabrequim. Devido à semelhança, eles possuem um comportamento bem parecido, e assim como o turbo, o compressor centrífugo chega a rotações na ordem de 100.000 RPM, que só é possível a partir de um conjunto de engrenagens localizado no sistema, visto que o virabrequim possui uma rotação bem menor.

Além disso, esse tipo de supercharger possui uma grande diferença em relação aos demais já mostrados, que é de serem compressores dinâmicos em vez de bombas de deslocamento positivo. Ou seja, isso significa que a quantidade de força que um compressor centrífugo produz aumenta com a velocidade do motor, fornecendo bons desempenhos em altas rotações, porém, ao contrário dos compressores de deslocamento positivo, não oferece o mesmo nível de desempenho em baixas rotações. No geral, esse tipo de supercharger possui uma boa eficiência térmica e volumétrica, baixo torque necessário para acionamento e espaço compacto.

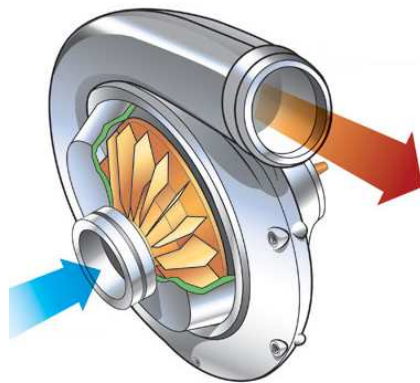


Figura 9 – Compressor Centrífugo (Fonte: Mechanical Booster)

2.4.2 Turbocompressor

O turbo como conhecemos hoje em dia foi desenvolvido em 1905 na Suíça por Dr. Alfred J Buchi, porém ele foi utilizado primeiramente em máquinas a diesel e aviões, antes que fosse usado nos veículos, e só em 1962 foi fabricado o primeiro carro de passeio com motor turbo, o Chevrolet Corvair Monza, entretanto, não havia muitos estudos a cerca do tema, e os motores turbos eram pouco eficientes, caindo no gosto do consumidor apenas na década de 70, quando se deu início à produção em maior escala.

Assim como os compressores mecânicos, o turbocompressor pressuriza o ar de admissão do motor, porém com um princípio de funcionamento bem diferente. Ao invés de aproveitar do movimento do virabrequim para acionar seu compressor, ele utiliza da velocidade, pressão e calor dos gases de escape para girar o rotor da turbina, que é ligado através de um eixo às pás do compressor, que serão responsáveis por pressurizar esse ar de admissão, e ao contrário do supercharger, não utiliza da potência do motor para realizar tal ação, sendo um dos motivos pelo qual atualmente os turbocompressores são bem mais utilizados que os compressores mecânicos.

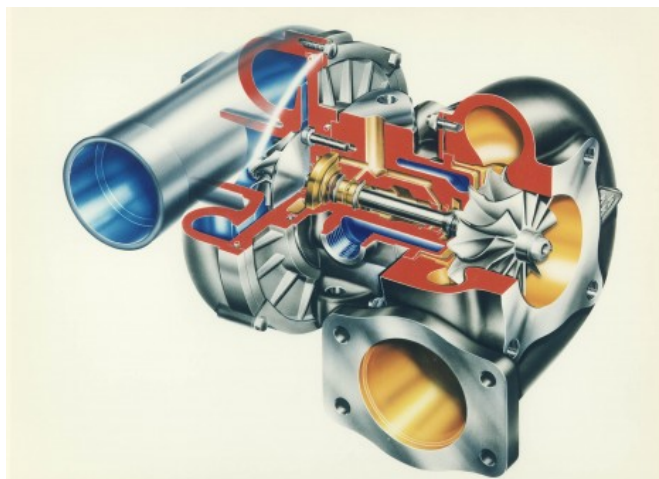


Figura 10 – Vista de corte de um turbocompressor (Fonte: Autos Cultura Mix, 2012)

A turbina tem a função de fornecer ao eixo do compressor a potência necessária para que ele possa realizar o trabalho de compressão na zona de melhor rendimento atendendo as características de consumo de ar de um dado motor, e ainda assim, impondo a menor restrição possível à exaustão dos gases de escape (BRUNETTI, 2012). Vale dizer também, que o rotor do compressor trabalha a elevadas velocidades e temperatura, podendo chegar a 200 mil RPM e até 1000 °C, acelerando o ar através de suas pás curvas, e posteriormente promovendo o aumento da pressão desse ar através de um difusor. Além disso, o turbocompressor conta com um sistema de lubrificação eficiente para não comprometer o sistema, onde o óleo passa através de orifícios nos casquilhos, os quais apoiam o eixo na carcaça, sendo formado um filme de óleo entre o eixo e os casquilhos.

Por fim, falando um pouco sobre a parte de dimensionamento, o turbocompressor deve atender a combinação entre vazão de ar e pressão de alimentação requeridas para o projeto, com o intuito de alcançar os níveis desejados de potência, torque, emissão de poluentes e consumo de combustível. Para isso, deve-se analisar os mapas dos compressores, a fim de encontrar o de maior eficiência para tal aplicação.

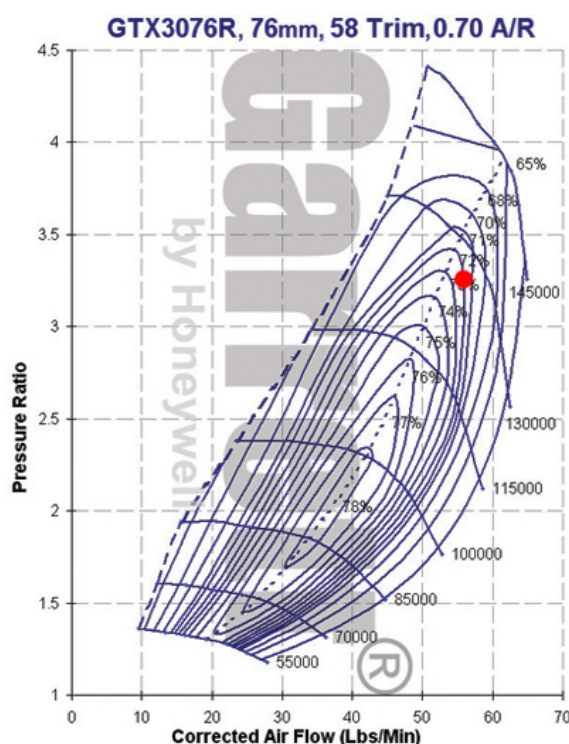


Figura 11 – Mapa de eficiência turbina Garrett GTX3076R (Fonte: Garret, 2019)

Podemos ver que o mapa possui o fluxo de ar em libras por minuto no eixo das abcissas (eixo X), e a razão de pressão (pressão de saída absoluta / pressão de entrada absoluta) no eixo das coordenadas (eixo Y). A partir disso, tem-se o gráfico desenhado com os parâmetros da turbina, dando origem às ilhas de eficiência, que mostram a eficiência do turbo em todas as áreas do mapa, e quanto menor a ilha, maior a eficiência. Além disso, as

linhas que delimitam as ilhas indicam um limite de funcionamento para o compressor. Por exemplo, a "Surge Line", localizada a esquerda das ilhas, quando ultrapassada, representa uma zona de instabilidade no funcionamento do sistema, devido ao baixo fluxo de ar e a alta turbulência, que podem resultar na inutilização do mesmo. Por outro lado, a "Choke Line", localizada a direita, representa um limite onde a eficiência do compressor cai abaixo de 65%, devido à alta demanda de ar do motor, o que pode resultar no trabalho em elevadas rotações e temperaturas, podendo quebrar o equipamento no médio prazo.

Logo, a escolha adequada da turbina, é feita através de um processo iterativo até chegar a um conjunto de compressor e turbina que satisfaça as exigências do motor (BRUNETTI, 2012).

2.5 Preparação de motores de ciclo otto

A princípio, quando se fala em preparação de motores, existem vários pontos que são fundamentais para que se tenha sucesso, ou seja, para que esse motor tenha bastante potência, com a maior durabilidade possível dentro da sua aplicação. Além disso, vale dizer que existem diversos tipos de preparação de motores, que vai desde aquele projeto em que o objetivo é apenas um ganho extra de potência para maior conforto e segurança no dia a dia, até aquele projeto para carros de arrancada, em que muitas das vezes a potência pode chegar ou passar os 1000 CV, multiplicando várias vezes a cavalaria original do motor. Será abordado aqui sobre as principais modificações necessárias em uma preparação e em que cada uma implica.

2.5.1 Alimentação de Combustível

Começando pela unidade de controle eletrônico, ou do inglês "Electronic Control Unit"(ECU), ela é considerada o cérebro do motor, e é responsável por controlar sua alimentação. Surgiu no ano de 1957 nos Estados Unidos, e desde então, em conjunto com a injeção eletrônica, foi ocupando o lugar dos carburadores, que foram responsáveis pela alimentação de motores de ciclo Otto por décadas desde os primórdios do automóvel até o fim do século passado (nos carros).

A ECU conta com uma série de sensores e atuadores, e tem funções de controle de pressão dos gases, temperatura e até controle da proporção dos componentes químicos. Ela está presente em praticamente todos os carros atuais, e em qualquer aumento de potência considerável feito no motor, é indispensável o remapeamento dessa central eletrônica, de forma que sejam alterados os parâmetros e condições de funcionamento. Quando é feito o aumento da pressão de trabalho de um turbocompressor por exemplo, são parâmetros da central eletrônica que são alterados, pois é ela quem controla a abertura e fechamento da válvula "Waste gate", responsável por controlar a pressão de turbo. Além disso, quando se trata de preparações mais agressivas, a ECU original do veículo deve ser substituída

por outra injeção programável que é mais configurável ou que possui mais parâmetros de modificação.

Falando agora das bombas de combustível, nos carros com injeção eletrônica, elas são responsáveis por bombear combustível do tanque até os bicos injetores, podendo ser de alta ou de baixa pressão. As bombas de baixa pressão, na sua grande maioria são acionadas eletricamente, e estão presentes em praticamente todos os carros com motor ciclo otto, e trabalham com uma pressão em torno de 4 bar. Já as bombas de alta pressão, são encontradas normalmente em motores com injeção direta de combustível, visto que, pelo fato do combustível ser injetado dentro da câmara, ele precisa estar a pressões maiores, podendo chegar a mais de 200 bar dependendo da aplicação. De acordo com a preparação realizada no motor, essas bombas precisam ser substituídas por outras com maior vazão, para poder alimentar a maior demanda de combustível que o motor terá, ou no caso das bombas de alta, substituídas por bombas com maior pressão, visto que o motor preparado terá uma maior pressão dentro do cilindro.

Por fim, no sistema de alimentação de combustível, ainda temos outro componente que normalmente é substituído em motores preparados, que são os bicos injetores. Os bicos possuem uma capacidade máxima de alimentação, e dependendo do aumento de potência esperado em um projeto, os bicos originais não conseguem suportar a demanda de combustível, sendo necessária a substituição por bicos injetores de maior capacidade. Vale lembrar que eles devem ser sempre bem dimensionados para o projeto, visto que, a faixa ideal de funcionamento é de 75% a 85% da sua capacidade de alimentação.

Os demais componentes da parte de alimentação de combustível do motor como linha, filtro, flauta e regulador de pressão por exemplo, normalmente não são substituídos.

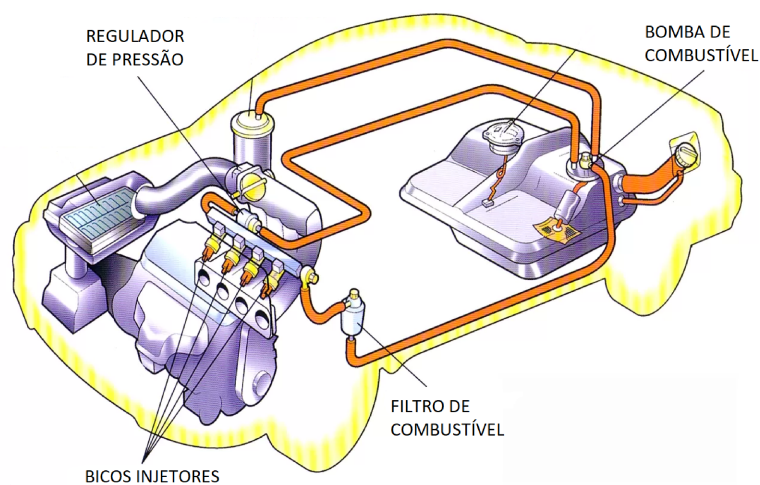


Figura 12 – Sistema de alimentação de combustível (Fonte: CarUp, 2017)

2.5.2 Admissão de Ar

Entrando agora na parte de admissão de ar, será falado primeiramente sobre o filtro de ar. Como o nome já diz, esse elemento tem a função de filtrar o ar admitido, impedindo que impurezas externas entrem em contato com o motor. Entretanto, ele acaba restringindo a passagem do ar, causando uma perda de carga, o que influencia diretamente no comportamento do motor. Ou seja, quanto menor a restrição causada pelo filtro, melhor, desde que ele cumpra com a sua função de filtrar as impurezas, e é por isso que na maioria das vezes, o filtro original do motor, que costuma ser de papel, é substituído por outros de melhor desempenho. Em alguns casos específicos, como carros preparados para arrancada, os motores não possuem filtro de ar, visto que funcionam por um curto período de tempo.

Falando agora do coletor de admissão, esse tem a tarefa de distribuir o ar ou a mistura ar-combustível (dependendo do tipo) para cada um dos cilindros, e seu correto dimensionamento é de extrema importância, pois fatores como o diâmetro, comprimento, formato e acabamento interno influenciam no escoamento. Por exemplo, quanto maior o diâmetro do duto, menor será a velocidade de entrada do ar, porém maior será o volume máximo de admissão, o que favorece o regime de trabalho em altas rotações. Já o comprimento, influencia no comportamento das ondas de pressão causadas pelo fechamento das válvulas, o que por exemplo, impacta diretamente na eficiência volumétrica do motor. Enfim, são vários os impactos do coletor no fluxo de entrada de ar para o motor, sendo necessário seu correto dimensionamento.

Além desses itens, temos também o Intercooler, que tem a função de resfriar o ar proveniente do compressor da turbina, aumentando sua densidade e permitindo que uma maior massa de ar entre no cilindro para a combustão. Ou seja, com maior massa de ar, mais combustível é injetado, e mais potência é gerada. O intercooler é aplicado apenas em motores turbo, pois a turbina além de aumentar a pressão do ar, aumenta consideravelmente sua temperatura. O Intercooler é basicamente um trocador de calor, que fica localizado na frente do motor, e utiliza do fluxo de ar do ambiente para resfriar o ar de admissão. Ademais, existem o watercooler e o icecooler, que possuem exatamente a mesma função, porém no caso do watercooler, é a água que faz o resfriamento do ar, e no icecooler é a água com gelo.

2.5.3 Sistema de escape

Começando pelo coletor de escape, ele pode ser considerado um dos componentes mais complexos para se dimensionar em um projeto devido aos inúmeros parâmetros possíveis de se alterar e como isso impacta no rendimento do motor. De forma geral, para que se tenha um bom desempenho, deve haver um casamento entre o diâmetro, o comprimento, o material e a junção dessa tubulação. O desenvolvimento desse coletor está diretamente ligado ao cabeçote, ao número de válvulas, ao formato da câmara de

combustão e ao cruzamento de válvulas, que é o momento de fechamento das válvula de escape, juntamente com a abertura das válvulas de admissão. Esses parâmetros citados, influenciam diretamente nas características do escoamento dos gases, e é a partir desse escoamento que o coletor deve ser dimensionado para ter a menor pressão possível, que originará em uma maior velocidade de saída dos gases. Logo, essa maior velocidade de saída permitirá que, não só seja esvaziada a maior quantidade possível de mistura queimada do cilindro, como essa depressão criada dentro do cilindro com uma perfeita saída dos gases de escape, seja responsável por admitir mais ar que vem das válvulas de admissão. Juntamente com o coletor de escape, o sistema de escapamento também influenciará no fluxo dos gases, e ambos devem ser dimensionados em conjunto para funcionarem em sintonia, o que é essencial para o sucesso da preparação.

Falando agora de um dos componentes mais importantes de uma preparação, o turbocompressor é indispensável em uma preparação com grande aumento de potência, visto que, como já dito anteriormente, ele permite um grande aumento no fluxo de ar para dentro do cilindro, o que implica no aumento de eficiência volumétrica, térmica e no aumento de potência. O turbocompressor foi considerado como parte do sistema de escape pois, apesar do compressor de ar estar localizado logo após o filtro de ar, a turbina responsável por girar o eixo em comum fica localizada logo após o coletor de escape. Vale ressaltar que na maioria dos projetos e preparações de motores, a escolha do turbocompressor ao invés do supercharger, é principalmente pelo fato dele ser mais eficiente, visto que a potência gasta por ele é ínfima se comparada com a gasta pelo supercharger, que é acionado a partir de uma correia ligada ao virabrequim do motor. Além do turbo, temos também como parte do sistema a válvula "Waste gate", que pode ou não ser incorporada com a turbina, e a válvula "Blow off". A "Waste gate" é uma válvula de descarga, que tem a função de controlar a pressão no turbo, e abre um "by-pass" quando o valor pré-estabelecido é ultrapassado. Já a "Blow off", é uma válvula de prioridade, e é responsável por aliviar a pressão do sistema de admissão, visto que, ao cortar a aceleração, a pressão de ar aumenta pois a turbina ainda está girando nesta situação. Assim como no coletor de escape, o dimensionamento do turbo é de extrema importância.

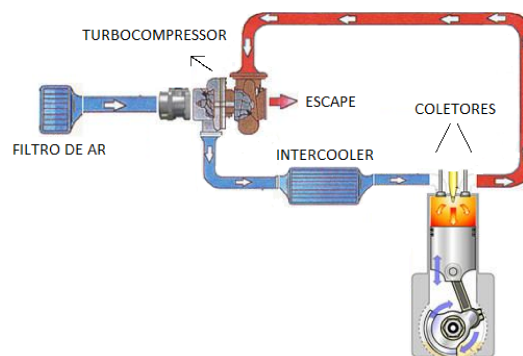


Figura 13 – Sistema de admissão e de escape (Fonte: CarUp, 2017)

2.5.4 Bloco do motor e Cabeçote

Entrando agora no coração do motor, além de alojar os cilindros, onde se movimentam os pistões, o bloco é responsável por suportar o cabeçote e o cárter, e é fabricado na maioria das vezes de ferro fundido ou alumínio, este último mais leve e com melhores propriedades dissipadoras, porém mais caro. Em grandes preparações, normalmente é feita a retífica no bloco, mais especificamente no cilindro para aumento de diâmetro, o que resulta no aumento do volume interno, e conseqüentemente, aumento da cilindrada desse motor. Além disso, o resto dos componentes como biela, pistão, pino, mancal, prisioneiro, virabrequim, entre outros, também costumam ser substituídos por exemplares mais resistentes, normalmente forjados. Todas essas modificações são necessárias para suportar o aumento de torque no motor, que está diretamente ligado ao aumento da força gerada pelo processo de combustão, visto que as peças originais não foram fabricadas para isso.

Na mesma linha, o cabeçote e seus componentes também são modificados de acordo com o projeto. A começar pelo próprio cabeçote, este pode passar pelo processo de retífica para aumento e equalização dos dutos de admissão e escapamento, visando o maior fluxo de mistura e gases. Em relação aos componentes, pode-se alterar as válvulas de admissão e escape, molas, pratos, tucho e comando de válvulas, afim de um melhor desempenho. Ademais, as velas e bobinas, principalmente as velas, partes do sistema de ignição que também estão localizadas no cabeçote, podem ser substituídas por outras mais frias, pois é mais adequada aos regimes de alta sollicitação do motor.

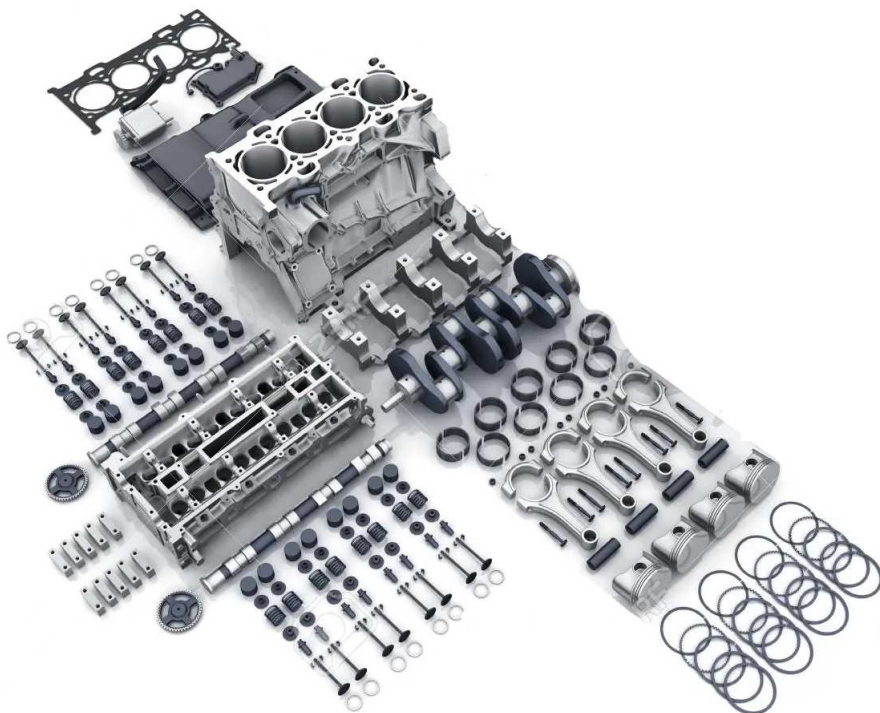


Figura 14 – Componentes do cabeçote e bloco do motor desmontados (Fonte: Vladru, 2018)

3 DESENVOLVIMENTO

Aqui serão abordadas todas as etapas da preparação do motor do projeto Gol de arrancada DTA com motor AP 2.0 de 8 válvulas, mostrando desde as modificações feitas nos componentes originais, até a substituição e instalação de novas peças.

3.0.1 Bloco do motor e seus componentes

Primeiramente, o motor original do Volkswagen Gol G4 ano 2011 era um 1.0 de 8 válvulas com uma potência máxima de 68 CV. Entretanto, por possuir baixa cilindrada, ele não é ideal para uma preparação desse porte. Logo, o motor utilizado no projeto é um 2.0 AP de 8 válvulas do Golf GTI MK3 de 116 Cv, que possui maior potencial para ganho de potência, visto que, em relação ao motor original, tem o dobro do volume nos cilindros, o que permite também admitir o dobro de ar. Pelo fato de o projeto ser para um motor com rendimento de aproximadamente 1000 CV, o bloco é o único item que se aproveita do motor 2.0 AP, pois os demais componentes como por exemplo pistão, biela e virabrequim, são substituídos por outros dimensionados para maiores potências.

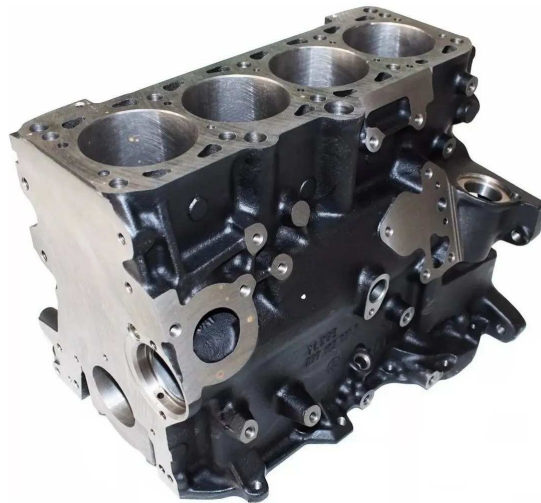


Figura 15 – Bloco Motor AP 2.0 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores da frota nacional Volkswagen).

A princípio, vale dizer que o bloco foi cimentado para suportar as altas pressões de trabalho dentro do cilindro devido à nova potência. O cimento utilizado no processo é próprio para aplicar em motores, e esse é inserido dentro das galerias de água do bloco, que previamente eram utilizadas para resfriar o motor. Dessa forma, esse procedimento é comum apenas em carros de arrancada, visto que, esses ficam ligados por pequenos períodos, pois do contrário, o motor superaqueceria.

Em seguida, foi realizado o serviço de retifica no bloco, mais especificamente o alargamento do cilindro por desbaste interno, com o objetivo de retirar riscos, ovalização e outras deformações, melhorando o acabamento superficial e otimizando o fluxo de ar admitido. Os cilindros sofreram uma usinagem de 0,50 mm, passando a ter uma litragem de aproximadamente 2032 cm³, o que antes era de 1984 cm³, e que proporcionalmente, o que foi retirado das paredes de cada cilindro é compensado em acréscimo ao tamanho do pistão e anéis. Vale lembrar que a quantidade de ar admitido em um motor é uma das principais variáveis para gerar potência, visto que, quanto mais ar disponível, mais combustível pode ser injetado para a câmara, resultando em maiores explosões.

Os pistões originais foram substituídos por outros forjados para até 1500 CV da marca AFP, com 83,50 mm de diâmetro (considerando a folga) e com pinos de 22 milímetros, também forjados. Além dos novos pistões terem uma resistência maior, os pinos para travamento da biela também são bem mais robustos, o que é essencial visto que é comum esses pinos falharem, principalmente em carros turbo devido ao torque. Os anéis dos pistões também foram substituídos por novos de cromo molibidênio da marca Total Seal, produzidos nos Estados Unidos, que possuem resistência à altas temperaturas.



Figura 16 – Jogo de pistões forjados AFP (Fonte: AFP Racing)

As bielas foram substituídas por novas forjadas da marca Saenz, com fabricação argentina, compostas de aço 300M de 144 mm com alta resistência e boa tenacidade para aguentar os grandes esforços que o conjunto será submetido. Os parafusos da biela também são forjados, de 7/16” para 1400 cv.

Por fim, na parte do virabrequim e seus componentes, também houve a substituição das peças originais. Em relação ao próprio virabrequim, esse foi substituído por um de aço forjado feito sob encomenda na Argentina, juntamente com a polia, e os prisioneiros, todos de aço forjado. Já as bronzinas e os mancais são da marca americana ACL Racing.



Figura 17 – Bielas forjadas Saenz 300M 144mm

3.0.2 Cabeçote

O cabeçote utilizado no projeto foi o do próprio Golf GTI MK3 de fluxo cruzado, o qual passou pelo aumento e equalização dos dutos de admissão e escapamento para uma maior vazão de ar. É de extrema importância um correto dimensionamento dos dutos do cabeçote, visto que eles precisam estar em "sintonia" com as medidas dos coletores de admissão e escape.



Figura 18 – Cabeçote Golf GLX 2.0 (Fonte: Manual de treinamento e assistência técnica de motores Volkswagen)

Os demais componentes do cabeçote foram todos selecionados para o projeto visando o maior aproveitamento possível para o fluxo de ar. A começar pelas válvulas, as de admissão são de aço inox, enquanto as de escape são de inonel, material com boa maleabilidade, maior dureza e baixo coeficiente de atrito. As sedes de válvula são de berílio e as molas são mais longas com mais carga. Os pratos, as travas e os tuchos são forjados para maior resistência. Por fim, o comando de válvulas, assim como o virabrequim, foi feito sob medida na Argentina.

3.0.3 Alimentação de Combustível

Na parte de alimentação, o projeto conta com uma injeção programável FuelTech FT 550 que permite o ajuste de dezenas de parâmetros que injeções mais comuns não

permitem, como controle de borboleta eletrônica, controle de marcha lenta por ponto de ignição e atuadores, sensor de aceleração e giroscópio integrado, entre outros. Toda a parte de acerto do carro demanda bastante tempo e conhecimento por parte dos preparadores, e tudo deve ser feito da forma correta para que o projeto tenha o maior desempenho possível com a maior durabilidade.



Figura 19 – Injeção Programável FT550 (Fonte: Fueltech)

No acerto da injeção por exemplo, uma das etapas mais importantes é controlar o avanço de ignição. Sabe-se que após a descarga da centelha há um período o qual a energia liberada pela propagação da chama é muito pequena para que haja um aumento de pressão considerável. Logo, há um intervalo entre a centelha e o valor máximo de pressão, e é esse intervalo que deve ser levado em conta no avanço de ignição, onde a propagação de chama é normalmente entre 30 e 90°. O avanço ideal garante o máximo torque de eixo.

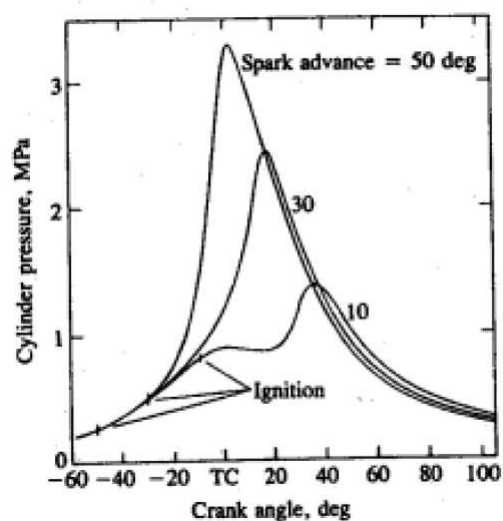


Figura 20 – Pressão no cilindro em função do ângulo do virabrequim e do tempo de ignição (Fonte: Heywood, 1988)

O percentual de mistura Ar/Combustível também é de extrema importância, variando de acordo com a rotação e a carga do motor, sendo que, apesar desses parâmetros variarem muito de um motor para o outro, motores preparados normalmente são regulados para rodarem com uma mistura mais rica, principalmente em carga máxima, pois esse combustível em excesso é responsável por ajudar no resfriamento do motor e seus componentes, evitando uma quebra precoce. Em regimes de carga baixa, independente da rotação do motor, normalmente a mistura pode ser estequiométrica, pois nesses casos não há tanta necessidade do combustível em excesso para resfriamento.

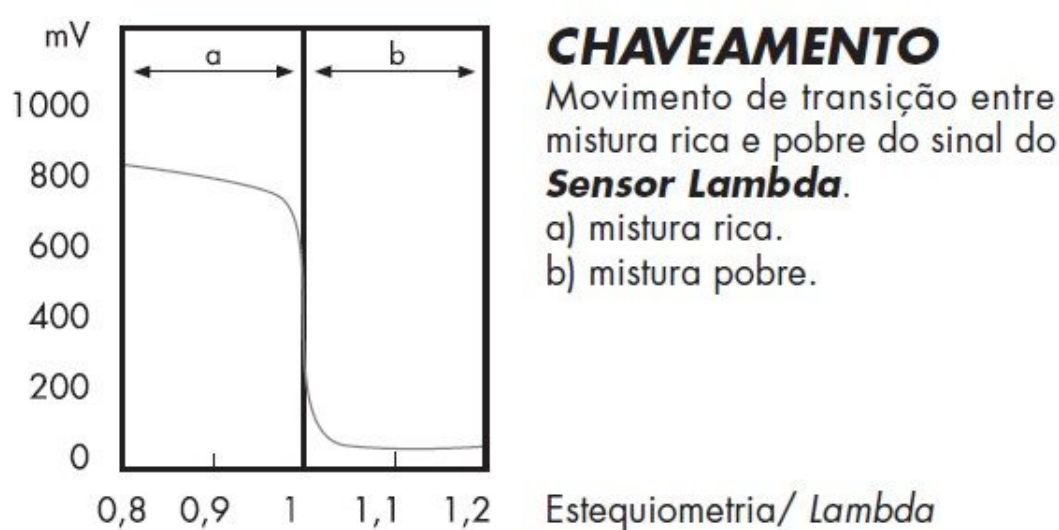


Figura 21 – Estequiometria da mistura em função do sinal de tensão recebido pela sonda lâmbda (Fonte: MTE Thomson)

Além da injeção programável, na parte de alimentação foi utilizado 8 bicos injetores de 225 libras da marca americana Deka, e ao invés de uma bomba de combustível elétrica, usou-se uma bomba mecânica, que possui a mesma pressão de trabalho da elétrica, porém entrega uma maior vazão. Foi utilizado também um dosador de combustível de alto volume, afim de manter a pressão de combustível constante.

Por fim, o combustível utilizado pelo motor passou a ser o metanol, muito utilizado em carros de alto desempenho, visto que ele oferece um aumento da eficiência térmica e aumento da produção de energia, se comparado à gasolina, devido ao seu alto índice de octano (114) e ao alto calor de evaporação, que é cerca de 2,5 vezes maior que o da gasolina. Na tabela abaixo, observa-se também que o poder calorífico inferior (PCI) da gasolina é praticamente o dobro do metanol, que significa basicamente a quantidade de energia contida no combustível. Por esse motivo, o consumo de metanol é maior que o de gasolina, pois a combustão ocorre com menos partes de ar para a mesma quantidade de combustível. Com a utilização do metanol, a mistura estequiométrica passa a ser em média de 6,5 partes de combustível para 1 de ar.

PROPRIEDADES DE COMBUSTÍVEIS

Substância	Densidade Kg/l	Composição % peso	Temp. Ebulição °C	Calor de evapor. kJ/kg	PCI MJ/kg	Temperatura Ignição °C	Ar/comb. Kg/kg	Limite Ignição Inf-Sup % vv vap./ar
G. Normal	0,720-0,775	86C, 14H	25...210	380...500	42,7	300	14,8	0,6.....8
G. Premium	0,729-0,775	86C, 14H	25...210	-----	43,5	400	14,7	-----
Com.Avião	0,720	85C, 14H	40...180	-----	43,5	500	-----	0,7.....8
Querosene	0,77...0,83	87C, 13H	170...270	-----	43	250	14,5	0,6.....7,5
Diesel	0,820..0,845	86C, 13H	180...360	250	42,5	250	14,5	0,6.....7,5
Etanol	0,79	52C, 13H, 35O	78	904	26,8	420	9	3,5.....15
Metanol	0,79	38C, 12H, 50O	65	1.110	19,7	450	6,4	5,5.....26

Figura 22 – Comparação entre as propriedades da gasolina e do metanol (Fonte: Heywood, 1988)

3.0.4 Admissão de Ar

Entrando na parte de admissão de ar, o coletor foi feito sob encomenda por uma oficina especializada. Para o projeto, foi escolhido um coletor Plenum duplo, onde o plenum tem a função de evitar que a contrapressão vinda dos cilindros atrapalhe o fluxo de ar, permitindo que o motor admita ar sem comprometer o seu funcionamento ideal. Além disso, vale dizer que um coletor projetado busca minimizar ao máximo as perdas de rendimento, de forma que os parâmetros como diâmetro, comprimento, formato e acabamento interno do coletor são dimensionados para o regime de fluxo de ar do motor. Por exemplo, o diâmetro do novo coletor é maior que o do original, pois mesmo que comprometa a velocidade de entrada do ar, o volume acaba sendo bem maior, ideal para motores com grande turbocompressores e que giram a altas rotações.



Figura 23 – Coletor de Admissão Dual Plenum

O carro não utiliza filtro de ar, pois como explicado anteriormente, por melhor que o filtro seja, sempre existem perdas de cargas consideráveis, que impactam diretamente no

fluxo de ar que entra no motor, logo, por tratar-se de um carro que fica ligado durante curtos períodos, os preparadores optam por não utilizar nenhum filtro, visando o maior fluxo de ar possível. Além disso, o corpo de borboleta (TBI) original foi substituído por um de 75 milímetros de diâmetro, que possui aproximadamente o dobro da área do corpo original, de 56 milímetros de diâmetro. Por fim, o carro também está utilizando um icecooler para até 1000 Cv da marca FTX, com fabricação nacional. A especificação para até 1000 Cv do icecooler refere-se à máxima vazão de ar a qual ele consegue manter o resfriamento de forma eficiente.



Figura 24 – Icecooler 1000 CV FTX (Fonte: FTX)

3.0.5 Sobrealimentação

A princípio, será falado de um dos componentes mais importantes do motor, o turbocompressor. O modelo escolhido para o projeto foi uma turbina 6875 para 1150 CV da marca Precision, com produção nos Estados Unidos. A nomenclatura do turbo vem das medidas do indutor do compressor e do exdutor da turbina, que são de 68 mm e 75 mm, respectivamente. Além disso, a relação A/R da turbina é de 0,96, que representa a área transversal de admissão da turbina sobre o raio do rotor. Essa relação indica uma busca por elevados picos de potência, sacrificando os resultados em baixas velocidades de rotação, aplicação para carros de maior desempenho. Como essa turbina não é fabricada com a válvula de alívio, foi implementada a Wastegate da Macktech.

A sobrealimentação nos motores gera ganhos de torque e potência bem elevados, visto que aumenta o fluxo de ar no motor, e conseqüentemente, com mais ar, mais combustível é injetado, o que gera um maior rendimento do conjunto. Nesse projeto por exemplo, o turbocompressor trabalha em pressões manométricas aproximadas de 3 Bar, ou seja, uma pressão 4 vezes maior do que a atmosférica, o que teoricamente implica também em uma potência cerca de 4 vezes maior do que um mesmo motor naturalmente aspirado.



Figura 25 – Precision 6875 Gen2 (Fonte: Precision Turbo)

É claro que, para pressões de trabalho tão elevadas como essa, os demais componentes do motor devem ser dimensionados para aguentar tamanho rendimento.

3.0.6 Sistema de Escapamento

Assim como dito no capítulo anterior, o correto dimensionamento do sistema de escapamento é de extrema importância para o projeto. A partir disso, o coletor de escape T4 produzido em aço inox foi feito sob encomenda por uma preparadora especializada, levando em conta o dimensionamento do turbocompressor que havia sido escolhido para o projeto. Ademais, após o coletor e a turbina, não há nenhum abafador, e o escapamento é de 4 polegadas, saindo direto pelo próprio capô do carro, e foi fabricado pela própria oficina preparadora.

3.0.7 Demais Sistemas

Além da preparação feita no motor, o carro passou por diversas modificações nos demais sistemas, como sistema de freio, suspensão, câmbio, rodas, lataria, sistema elétrico e etc.

Primeiramente, entrando na parte de transmissão, o carro utiliza um câmbio forjado de 4 marchas, da marca Sapinho Câmbios Especiais, juntamente com uma embreagem multidisco centrífuga para 1000 cavalos da marca ERT. O câmbio e a embreagem originais foram substituídos principalmente pelo fato de não suportarem o novo torque do motor, e além disso, o novo conjunto é cerca de 15 kg mais leve.

Na parte de suspensão, o sistema original do carro conta com suspensão dianteira independente tipo McPherson com barra estabilizadora, e na parte traseira, suspensão independente (eixo-semi-rígido) com corpo auto estabilizante de perfil “V”. Porém, todos os componentes originais foram substituídos por um kit de Coilover de fabricação própria

da oficina preparadora do carro. O novo mecanismo de suspensão, além de ser bem mais rígido, é regulado para a frente do carro ficar bem mais baixa que a traseira, o que proporciona uma melhor arrancada de carros com tração dianteira.



Figura 26 – Suspensão Coilover (fabricação própria)

O sistema de freio do carro é todo original, visto que, além do paraquedas obrigatório na categoria DTA, as pistas têm grandes distâncias para frenagem e não há motivo para a instalação de freios maiores e mais pesados. O paraquedas é de 10 pés da marca Simpson.



Figura 27 – Paraquedas Simpson 10 pés

Na parte estrutural do carro, as portas e o capô foram substituídos por novos de fibra de vidro para alívio de peso. Foi instalada também uma gaiola de proteção de fabricação própria da oficina, que é um item de segurança indispensável na categoria DTA.



Figura 28 – Gaiola de proteção

No interior do veículo, todos os itens originais foram retirados, como bancos, acabamentos, volante e manopla de câmbio. Foi instalado apenas o banco do piloto, um modelo concha da marca kirkey, com cinto de segurança da marca Sparco de 5 pontos, o volante e manopla de câmbio de engate rápido, ambos da marca fueltech.



Figura 29 – Interior do carro

Por fim, o conjunto de rodas e pneus foi substituído também. Atualmente, o carro usa rodas aro 15 da marca Weld, bem mais leves que as originais, com medidas de 8,5 polegadas na dianteira, e pneus slick que são indispensáveis nessa categoria, de medida 24.5x8 da marca Mickey-Thompson, para conseguir a maior tração possível.

Na traseira, as rodas são de 3,5 polegadas, a fim de ter o menor arrasto possível, e



Figura 30 – Conjunto roda e pneu dianteiro

são usados pneus Hoosier de medida 24.0x8, sem necessidade de serem slick, visto que o carro não tem tração no eixo traseiro.



Figura 31 – Conjunto roda e pneu traseiro

4 RESULTADOS

Todo o projeto, desde a compra de peças, montagem do carro, instalações e ajustes de motor, demorou aproximadamente 6 meses. Como resultado final, tem-se abaixo a foto do exterior do carro e do cofre do motor.



Figura 32 – Gol G4 DT-A em evento



Figura 33 – Cofre do motor

Entrando na parte de performance, na melhor passagem no dinamômetro com 2,5 Bar de pressão no turbocompressor, a potência máxima do carro foi aferida em 864,25 CV, com um torque de 77,99 Kgfm . Ao se comparar com a potência desse mesmo motor original de 116 Cv e o torque de 17,3 Kgfm, tem-se um aumento de 645% e 350%, respectivamente. Vale lembrar que normalmente o carro corre com 3,0 Bar de pressão, atingindo uma potência maior, em torno de 1000 Cv.

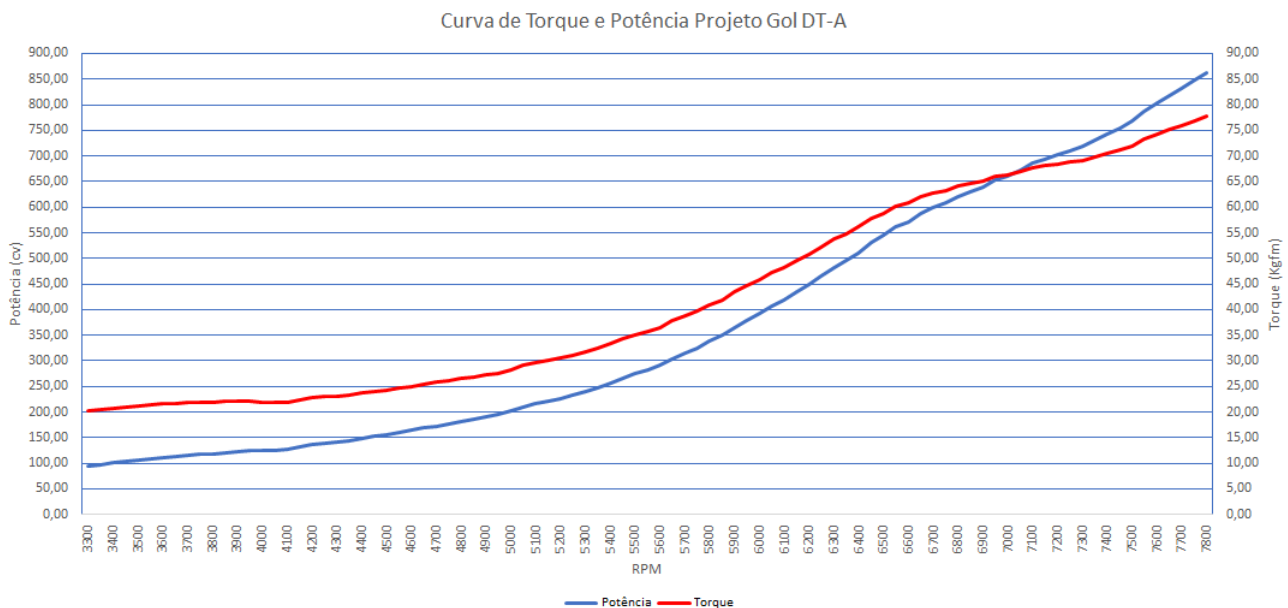


Figura 34 – Curva de Torque e Potência Projeto Gol DT-A

A princípio, percebe-se que a curva de torque e potência tem uma característica bem peculiar, visto que só atinge valores de torque e potência consideráveis para o motor a partir de aproximadamente 6500 RPM. Esse comportamento é devido ao tamanho do turbocompressor, que sacrifica desempenho em baixas e médias rotações, para entregar valores ainda maiores em altas rotações. Por exemplo, em baixas rotações a vazão de ar no sistema de escape do carro não é suficiente para suprir a demanda da turbina, que por ser grande, precisa de uma vazão bem elevada para "encher", para só assim girar o compressor e entregar mais pressão de ar para o motor. Dessa forma, em baixas rotações, tem-se o comportamento de um motor aspirado, para que só em altas rotações venha a pressão de projeto e o motor ganhe força.

Além disso, observa-se que o torque tende a subir em altas rotações, o que não é muito comum, visto que normalmente atinge-se o pico de torque em médias rotações, tendendo a cair a medida que o motor aumenta o giro. Esse comportamento atípico pode ser explicado pelo aumento de massa nos componentes do motor, como pistões, bielas, virabrequim e volante do motor, que por serem mais pesados, mantém a inércia do giro do motor, resultando em um torque alto em altas rotações.

É importante deixar claro também, que apesar do motor gerar uma potência

muito elevada, inclusive maior que a maioria das categorias do automobilismo mundial, a durabilidade do conjunto é muito baixa, visto que esse trabalha no seu limite, e a quebra de componentes é bem comum.

Em relação ao peso bruto, ou seja, com todos os fluidos, originalmente o carro tinha 1012 kg. No fim do projeto, após todas as reduções de peso e troca do motor e seus componentes, o carro foi pesado com 850 Kg, uma redução total de 16 %.

Além disso, o mais importante em qualquer carro de arrancada é o seu tempo de pista. Pra efeito de comparação, o tempo em que o Gol G4 original 1.0 leva para percorrer os 201 metros é estimado em 14 segundos. Já com o projeto do carro finalizado, o melhor tempo até hoje foi de 5,732 segundos. O carro é pilotado por Pedro Henrique Prudente, e já subiu ao podium em várias etapas em todo o Brasil, sendo os títulos mais expressivos em 2019, quando foi campeão mineiro e vice-campeão brasileiro pela categoria DT-A.



Figura 35 – Campeão Mineiro 2019 - Etapa Arena Race Uberlândia

Conclui-se, portanto, que a preparação de um carro para competições de arrancada vai desde as modificações no motor, até alterações na estrutura do veículo. Em relação ao novo conjunto de peças do motor, todos os componentes devem estar dimensionados corretamente, além do fato de que para que tudo funcione em sintonia, os ajustes de injeção eletrônica devem estar muito bem calibrados, pois todo o funcionamento do motor gira em torno de uma combustão bem feita, com destaque para os parâmetros de avanço de ignição e de mistura ar/combustível. O turbocompressor é outro componente que merece uma atenção especial no projeto, pois boa parte do ganho de potência vem dele, responsável pela sobrealimentação. Ademais, sabe-se que a quebra do conjunto é bem

comum no esporte, visto que os motores são impostos à altas pressões de trabalho.

Logo,

quanto mais bem acertado os parâmetros do motor estiverem, menor serão as falhas no sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTINELLI JÚNIOR, L. C. Motores de Combustão Interna – Conceitos Básicos. 2001.

PULKRABEK, W. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, 2^a Ed., 2002

HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill International Editions, 1988.

PASSOS, R. Turbocompressores: Entendendo o Básico Sobre seu Funcionamento. Disponível em: <https://www.flatout.com.br/>. Acesso em: 03 de Março de 2022.

BRUNETTI, Franco et al. Motores de Combustão Interna: volume 1. São Paulo: Blucler, 2012.

BRUNETTI, Franco et al. Motores de Combustão Interna: volume 2. São Paulo: Blucler, 2012.

R. STONE; J.K. BALL. Automotive Engineering Fundamentals. SAE International. Warrendale: PA, 2004.

DRAG RACING. <https://www.pbs.org/opb/historydetectives/feature/drag-racing/>. Acesso em: 22 de maio de 2022.

SEIFFERT, U.W.; BRAESS, H.H. Handbook of Automotive Engineering. SAE International. Warrendale: PA, 2005

SANTOS, F. et al. Evolução dos motores na indústria automotiva. 2014. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Anhanguera de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2014.

CARVALHO, M. A. S. (2011). Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis. Dissertação de mestrado. Salvador, BA.

PIGGIN, J. B. The 4-Cycle Engine. Disponível em: <http://www.piggin.org/engine/13Engine.htm>. Acesso em 07 de março de 2022.

VARELLA, C. A. Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna. UFRRJ, RJ, 2009.