



Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

***Estudo sobre instalação de um
turbocompressor em automóvel nacional***

Danillo Gabriel Nakano

Professor Orientador Marcos Pimenta

Professor Co-orientador Euryale Zerbini

Dezembro 2004

New 279

2/12/04



Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

PME 2599 – Projeto Integrado II

***Estudo sobre instalação de um
turbocompressor em automóvel nacional***

**Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica
do Estado de São Paulo para obtenção de título de
graduado em Engenharia Mecânica**

Danillo Gabriel Nakano

Professor Orientador Marcos Pimenta

Professor Co-orientador Euryale Zerbini

Dezembro 2004

Índice

Introdução ao tema escolhido	4
Escopo e preliminares sobre o estudo	6
Estudo dos subsistemas individualmente	
Sistema de exaustão de gases – escapamento	9
Sistema de admissão de ar	11
Coletor de escape	13
Acessórios	
Intercooler	14
Válvula de alívio	14
Válvula de prioridade	15
Dosador de combustível	16
Linha de combustível	17
Conjunto de embreagem e platô	18
Medidores – relógios	
Conta-giros	20
Manômetro de pressão no coletor	21
Medidor de mistura – Hallmeter	21
Sonda Lambda	24
Termômetro de água	25
Manômetro e pressão de combustível	25
Manômetro e pressão de óleo	26
Termômetro de óleo	26
Bomba Elétrica de Combustível	27
Bico Injetor de Combustível	29
Turbocompressor	30
Funcionamento de um motor turboalimentado	38
Custo para instalação de um turbocompressor	42
Adimensional custo/potência	44
Casos de motores com turbocompressor instalado	45
Bibliografia	62

Introdução ao tema escolhido

A indústria automobilística nacional vem enfrentando problemas no presente momento. Com uma grande pressão dos consumidores por veículos a preços de venda mais baixo, uma grande corrida tecnológica por inovações, uma grande disputa de mercado interno, alta carga tributária, o alto preço dos combustíveis, junto ao baixo poder aquisitivo brasileiro vem gerando um movimento por veículos com motorização limitada.

Motorizações de baixa cilindrada se tornaram uma solução para baixar o preço ao consumidor de veículos, diminuir o consumo de combustível e com uma alíquota diferenciada pelo governo brasileiro ocorreu uma explosão de consumo dos veículos conhecidos como populares, ou seja, com motorização até 1,0L.



Fig.01-GM Corsa 1,0L com turbocompressor

Para uma parte do público que visualiza o produto automóvel não apenas como um meio de transporte, mas também como um produto que possa gerar satisfação através de critérios como design, busca por inovações tecnológicas e desempenho dinâmico, a explosão dos veículos populares gerou uma lacuna

de veículos com tais características, conhecido como automóveis esportivos.

Até cerca de 1998, com o dólar pareado com o real, as importações de automóveis eram realidade para o mercado brasileiro. Mas com o grande aumento do dólar frente ao real, o custo para aquisição destes veículos aumentou muito, fazendo com que a grande parte do público não tivesse acesso a estes veículos.

Para tentar satisfazer o público que desejava veículos com capacidade de aceleração, frenagem, aderência, ou seja, desempenho dinâmico diferenciado, diversas soluções foram adotadas:

- a adaptação de componentes similares, mas com melhor desempenho em veículos básicos, tomando por exemplo a utilização do conjunto de freio dos porsche em fuscas;
- a utilização de conjuntos roda/pneu maiores e mais esportivos, como a substituição de rodas aro 14pol. Por conjuntos de 17pol. em diversos veículos;
- e o tema deste projeto que é a melhora da capacidade de produzir torque e potência nos motores destes veículos, para melhorar as capacidades de aceleração e velocidade máxima do veículo.

Pensando apenas em motores de automóveis nacionais, é interessante notar que a potência máxima varia entre 65cv a 130cv em sua grande maioria. Para os modelos mais comuns, estes valores possibilitam valores de aceleração, que usualmente é medido como o tempo de aceleração entre 0 a 100km/h, de 10s a 14s. Para uma pessoa que deseja uma maior prazer ao dirigir estes valores são demasiadamente fracos.

No intuito de conseguir mais prazer ao dirigir, um veículo deve levar menos de 9s para acelerar de 0 a 100km/h. Como meta deste trabalho, estabeleceremos um tempo na casa dos 7s ou 8s para aceleração de 0 a 100km/h destes veículos e pensaremos em uma velocidade final acima dos 210km/h. É importante ressaltar que o fator velocidade máxima não é o escopo deste trabalho e sim a aceleração longitudinal do veículo.

Para o aumento na capacidade de aceleração diversos métodos podem ser utilizados, mas o mais consistente é um aumento na potência/torque a ser extraída do motor do automóvel, junto a leves alterações na suspensão e conjunto roda/pneus do veículo. Outro método seria o alívio de peso do veículo, mas isto iria influenciar na estrutura do veículo e seu conforto, e como o veículo será para uso diário, esta medida não será utilizada.

Como os aumentos de potência e torque necessários são da ordem de 60% a 80% segundo estimativas preliminares, o método escolhido para gerar estes ganhos é a utilização de uma sobrealimentação por meio de turbocompressor. É importante ressaltar que com exceção do automóvel VW Gol 1,0 16v turbo, do VW Golf GTI 1,8 20v turbo e do Fiat Marea 2,0 20v turbo, todos os demais automóveis nacionais são naturalmente aspirados, possibilitando a adoção desta solução em vasta gama dos veículos nacionais.

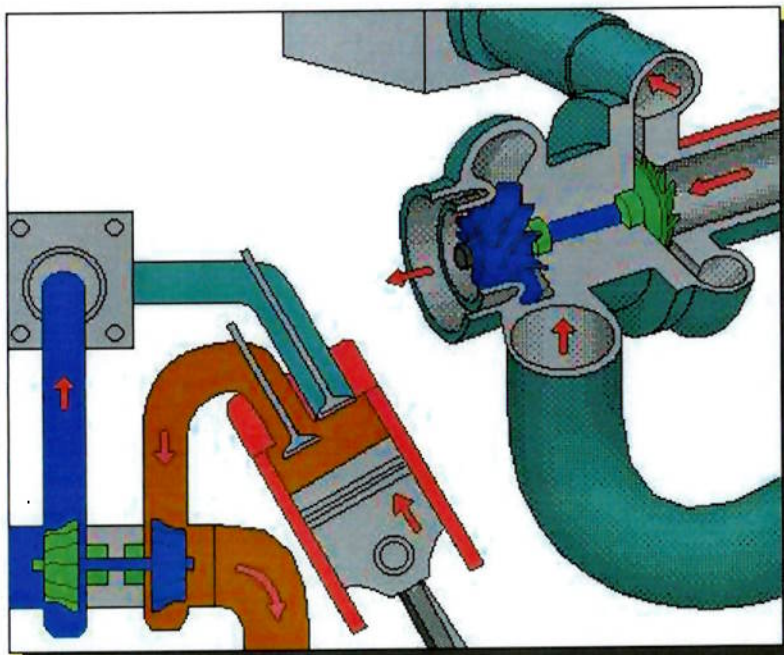


Fig.02-Ilustração sobre operação de turboalimentador

Assim com o intuito de proporcionar maior prazer ao dirigir, definiu-se que o tema do projeto integrado será o estudo da instalação de um turbo compressor em veículo nacional.

Escopo e preliminares sobre o estudo

Conforme dito anteriormente no tópico "introdução ao tema escolhido" o estudo aqui efetuado não tem por objetivo atender aos que desejam o automóvel como meio de transporte. O alvo deste estudo são os que desejam um desempenho diferenciado a um custo baixo.

Como forma de alcançar os ganhos de torque e potências necessários a obter um veículo de uso diário que seja capaz de obter um tempo de 7s a 8s na medição de 0-100km/h, estimaram-se ganhos entre 60% a 80%. Assim a instalação de um turbocompressor em um motor naturalmente aspirado foi a maneira escolhida, devido ao baixo custo envolvido, a baixa necessidade de adaptações e alterações perto das outras alternativas, e a falta de estudos sobre esta tecnologia aqui na escola e no Brasil.

Assim no estudo será analisado o que é alterado quando se instala um turbocompressor em um motor naturalmente aspirado, levando em conta a tecnologia existente em motores nacionais como os GM Família I, os VW Família AP, fabricados ao redor de 1998 a 2001. Estes motores são dotados de sistemas de injeção multibicos e ignição



fig.03 – Turbocompressor da Garrett

eletrônicos, porém sem acelerador eletrônico ou sistemas bicomustível. Esta escolha foi devido a facilidade de se encontrar estes motores no mercado atual,

devido estes sistemas de injeção serem atuais, porém já suficientemente conhecidos para conseguirmos dados sobre estes.

O método de instalação do turbocompressor será a utilização de álcool como combustível para aproveitar a taxa de compressão do motor a gasolina, e a curva de ponto de ignição que será adequada para um motor turbinado com álcool como combustível. Também será efetuada a troca dos bicos de injeção de combustível por bicos com uma vazão adequada ao álcool, como forma de alimentar o motor durante a fase aspirada (pressão no coletor de admissão menor que atmosférica). Quando o motor começar a pressurizar (pressão positiva no coletor de admissão) um dosador de combustível irá fechar o retorno da linha de combustível aumentando a pressão na linha, conseqüentemente injetando mais combustível por tempo de injeção, compensando a maior necessidade de combustível do motor. Parâmetros de regulação do motor permanecerão originais, sem qualquer alteração na programação da ECU. A pressão de trabalho do compressor do turbocompressor será ao redor de 0,6 a 0,8bar, sendo admitido até 1,0bar, já que com estes valores se alcança os ganhos de torque e potência desejados.

No estudo procurarei mostrar as diferenças entre um motor originalmente aspirado, um originalmente turbo e um naturalmente aspirado, mas com o turbocompressor adaptado o que chamamos de motor turbinado.

As modificações serão classificadas em desnecessárias, recomendadas e necessárias. Assim, para um bom resultado deve-se efetuar todas as alterações recomendadas e as necessárias. Se consegue efetuar a adaptação do turbocompressor sem as modificações classificadas como recomendadas, porém problemas de durabilidade e falhas precoces podem ocorrer. Devido à importância das modificações classificadas como necessárias, não se deve efetuar a instalação do turbocompressor sem efetuar as modificações consideradas necessárias, pois os resultados podem ser desde mal funcionamento até a quebra de componentes internos do motor como pistão, anéis, bronzinas e cabeçote, sem contar o item usualmente mais frágil de um motor turbinado que é a junta de cabeçote.

Estudo dos Subsistemas Individualmente

Sistema de exaustão de gases - Escapamento

O sistema de exaustão de gases, popular escapamento, é uma parte muito importante do powertrain, pois é o responsável por basicamente três funções:

- Retirar os gases residuais da exaustão, junto do calor, para longe do motor, de forma a manter o cofre do motor com uma temperatura adequada;
- Equalizar a perda de carga e o fluxo dos gases de forma a garantir um motor com funcionamento linear, suave e gerar os ganhos por bombeamento nas rotações corretas;
- Diminuir os ruídos provenientes da energia dos gases de exaustão, através da utilização de abafadores e silenciadores.

A tecnologia envolta para o projeto do sistema de exaustão de gases é bastante complexa, por tratar de um fluido compressível, a altas temperaturas, com as temperaturas variando bastante ao longo do tubo de escape e em um escoamento pulsátil e transiente.

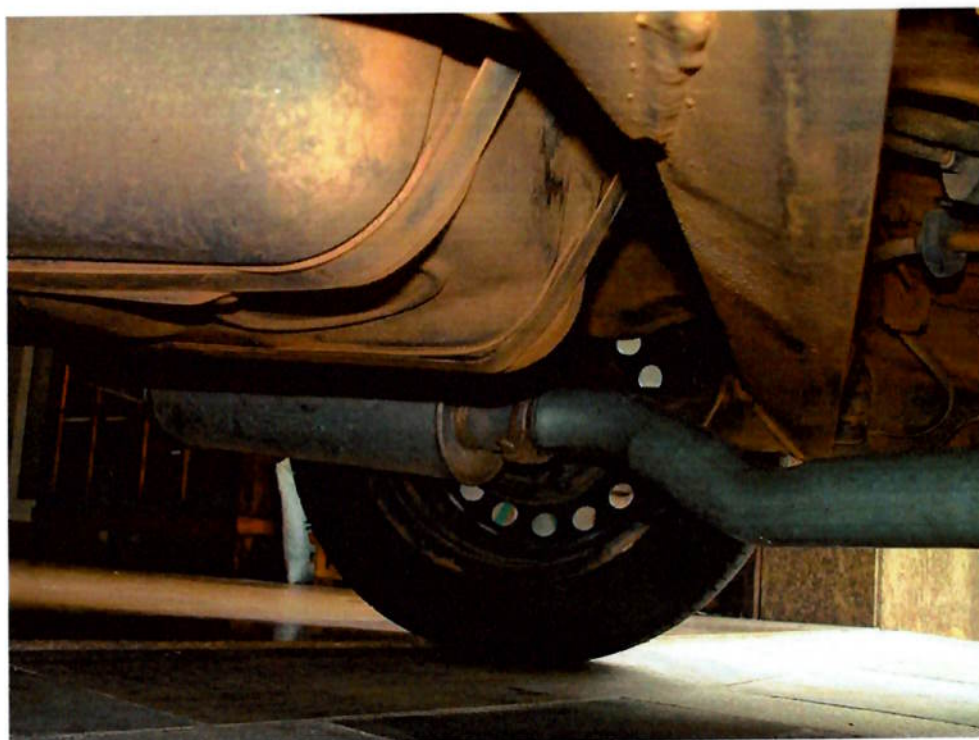


fig.04 - Escapamento 2 ½ pol de um gol com um abafador traseiro

Devido à dificuldade em se projetar o sistema de exaustão dos gases, vamos utilizar algumas regras que tem gerado bons resultados.

- Utilizar tubos de 1 7/8 pol. a 2 ½ pol. para a construção do escapamento. O valor de 2 pol. tem se mostrado bastante acertado, por gerar uma baixa perda de carga nos gases de exaustão e ao mesmo tempo não gerar uma velocidade muito baixa dos gases em baixas rotações, o que poderia causar condensação de gases dentro do tubo, e gerar oxidações precoces além de aumentar a perda de carga.
- Utilização de dois (ou pelo menos um) abafadores do tipo oco. A utilização de flange e escape original não é recomendada devido às restrições ao fluxo que esta configuração gera. A utilização de um sistema sem abafadores seria inviável para o dia-a-dia pelo volume que o ruído do motor geraria. Lembramos que a legislação brasileira exige o uso de pelo menos um abafador.
- Evitar curvas nos tubos de escapamento. Cada vez que os gases têm a direção de seu escoamento alterada, isto gera uma perda de carga. Para minimizarmos esta perda, devemos projetar o mínimo de curvas e as que forem necessárias, que sejam suaves.

Com a utilização destas três regras básicas, se consegue um bom projeto de escape. É interessante notar que existem oficinas onde o projeto do tubo de escapamento já é bem desenvolvido, então basta levar o veículo para estes locais e efetuar a adaptação de um sistema, conforme o número de abafadores desejado, e o diâmetro de tubo escolhido.

O escapamento é o responsável, junto da turbina em um motor turboalimentado pelo controle da *backpressure* que é a pressão no coletor de escape. Esta pressão é função de o quanto a turbina restringe o fluxo, somado ao sistema de escapamento. Assim para garantir pressões adequadas, deve-se ter uma baixa restrição. Logo esta modificação é considerada necessária. Para pressões no coletor de admissão menores que 0,4bar, pode-se utilizar uma flange e o sistema de escape original, pois assim a *backpressure* será baixa.

Sistema de admissão de ar

O sistema de admissão tem por função levar o ar até o motor, depois deste ter passado pelo compressor.

Após o ar ter sido admitido pelo compressor, este tem sua temperatura aumentada. Para estimativas deste aumento de temperatura, adotaremos que a compressão ocorre em processo adiabática reversível, que não há transferência de calor da turbina para o compressor e as fronteiras estão fechadas. Logo:



Fig.05 – Sistema de admissão de ar

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$$

com: $p_1 = 0,1\text{MPa}$

$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300\text{K}$

$k = 1,4$ (adotando ar como fluido), teremos:

Casos	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
$P_2 =$	$0,16\text{MPa} \Rightarrow 0,6\text{bar}$	$0,18\text{MPa} \Rightarrow 0,8\text{bar}$	$0,20\text{MPa} \Rightarrow 1,0\text{bar}$	$0,22\text{MPa} \Rightarrow 1,2\text{bar}$
$T_2 =$	70°C	82°C	93°C	103°C

Com isto percebemos que para pressões de até 0,6bar, utilizando o álcool como combustível, que é nosso escopo, podemos trabalhar sem a presença de um intercooler, já que as temperaturas na admissão não serão demasiadamente altas. Mas para pressões acima de 0,6bar teremos que utilizar o intercooler, pois as temperaturas serão muito altas e poderão gerar pré-ignição da mistura ao ser comprimida no motor. É importante ressaltar que a temperatura na qual o ar é admitido no motor será menor que esta encontrada no cálculo, devido ao álcool absorver energia ao ser vaporizado, baixando a temperatura da mistura e devido a

perdas de energia para as fronteiras, já que as dimensões da tubulação não são desprezíveis.

Devido à necessidade da turbina ficar alocada junto ao coletor de escape do motor, é necessário que o compressor fique ao lado da turbina. Com isto é necessário toda uma tubulação levando o ar comprimido pelo compressor até a borboleta e posteriormente o coletor de admissão do motor, conhecida popularmente como pressurização. Alguns kit's turbo já vem com a pressurização, mas a maioria requer que esta tubulação seja feita sob encomenda. Para isto basta procurar uma loja de escapamentos especiais, que estas fazem este trabalho.



Fig.06–Sistema de admissão do ar de um GM Corsa

É importante ressaltar que devido ao sistema de admissão trabalhar sob pressão positiva, e este sistema não ter sido projetado para isto, alguns cuidados são necessários. Na tubulação deve-se procurar usar o máximo de metal possível, como os tubos de ferro, de modo a utilizar os tubo de borracha o mínimo possível, pois estes tendem a rachar e rasgar, devido às solicitações impostas. Então se deve utilizar estes tubos de borracha apenas nas junções entre tubos de ferros, de forma a garantir a vedação do sistema. Existem modelos prontos desta tubulação em borracha para as adaptações em lojas especializadas em equipamentos de performance. A perda de pressão pelo sistema de admissão costuma ser uma falha muito comum em adaptações de sistemas de sobrealimentação.

Coletor de Escape

O coletor de escape tem por função direcionar os gases de exaustão da saída do cabeçote para a turbina do turbocompressor. Com um coletor de escape bem dimensionado, se consegue diminuir o tempo para que o turbocompressor comece a atuar, o *turbolag*, se consegue que a turbina do turbocompressor tenha um funcionamento mais suave e regular, devido à constância dos pulsos das ondas de choques vindo de cada cilindro (ver ref.2).

O Coletor de escape necessita ser trocado, pois é necessário se ligar o bocal da turbina no coletor de escape, e no coletor original isto não é possível.

Devido à falta de espaço em alguns veículos, se utiliza o coletor deslocado, que tem tubos de tamanhos diferentes para cada cilindro, gerando diferenças entre os pulsos de cada cilindro. Não é o aconselhável, e deve ser evitado, mas é uma opção para a falta de espaço no cofre do motor.

O fator de maior importância para um coletor é a maneira como os seus dutos foram projetados. Como não se consegue avaliar este parâmetro simplesmente olhando o coletor, deve-se procurar por um coletor com um bom acabamento, baixa rugosidade e bom aspecto visual de modo a encontrar um coletor onde se cuidou de todos os detalhes que pode-se verificar e supor que os detalhes que não são possíveis de se verificar tenham sido cuidados.

Acessórios

Ao instalar um kit turbo em um motor naturalmente aspirado, são necessários alguns acessórios ao motor, (ref.4 e ref.7) de forma a auxiliar na regulagem e garantir que o sistema não saia das especificações, causando danos e mal-funcionamentos. Estes acessórios serão explicados individualmente abaixo:

- **Intercooler:** O intercooler é um trocador de calor ar-ar de fluxo cruzado que fica entre o compressor e o coletor de admissão. Um trocador ar-ar de fluxo cruzado tem por função resfriar o ar trocando calor com o ar ambiente, que encontra-se em movimento relativo ao veículo. Se recomenda utilizar o intercooler para pressões acima de 0,6bar devido ao aumento de temperatura do ar que sofre a compressão.



fig.07-Intercooler

Para a escolha de um intercooler, deve-se procurar produtos já utilizados como componentes originais em outros automóveis de porte similar, devido ao cuidado no projeto destes produtos. Sempre tenha em mente que com o intercooler haverá um aumento no turbo-lag devido ao maior volume de ar a ser pressurizado entre o compressor e as válvulas de admissão do motor.

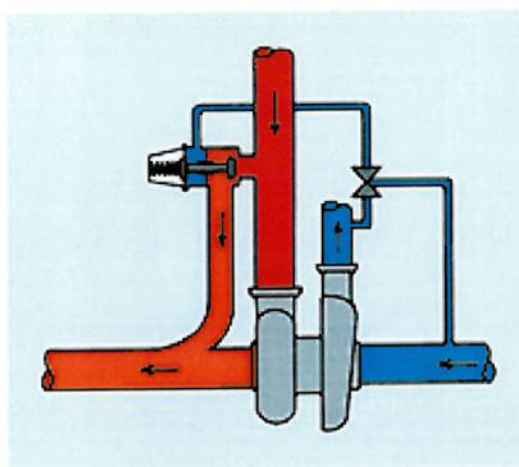


Fig.08– Esquema válvula de alívio

- **Válvula de Alívio:** A válvula de alívio tem a função de regular a pressão máxima que o compressor (rotor frio) irá pressurizar o coletor. Seu funcionamento é através do desvio para a atmosfera ou escapamento dos gases de escape antes destes passarem pela turbina (rotor quente) de modo a limitar a pressão gerada no coletor pelo compressor.

O uso da válvula de alívio é necessário para impedir o aumento incontrolado da pressão no coletor de admissão do motor. Existem motores de competição que foram dimensionados para rodarem sem válvula de alívio devido a ganhos na aceleração do turbocompressor, mas as solicitações sobre estes motores é muito alta, e em motores de rua a probabilidade de quebra é altíssima.



fig.09–Válvula de alívio

- **Válvula de Prioridade:** Quando a borboleta do acelerador se fecha e o sistema de admissão está pressurizado, a pressão entre o compressor e a borboleta pode subir muito e danificar o sistema devido à inércia do compressor. Para isto se utiliza a válvula de prioridade, que é alojada antes da borboleta de admissão. Ela é a responsável pelo conhecido assobio quando se alivia o pé do acelerador, conhecido popularmente por espirro. Esta pode ser por membrana ou pistão.

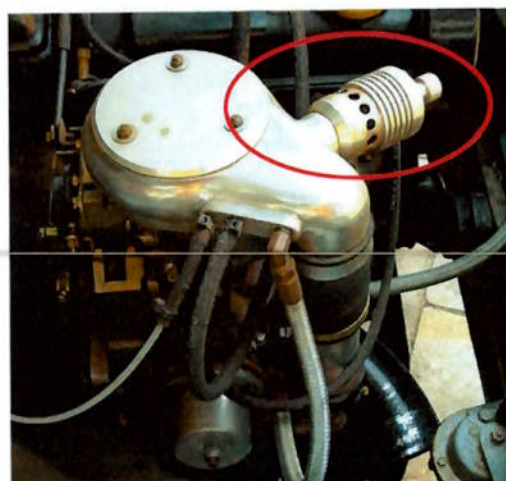


fig.10–Válvula de prioridade

Seu uso é necessário, pois o aumento na pressão pode danificar desde a tubulação ou a borboleta, até as pás do compressor.

- **Dosador de Combustível:** O dosador de combustível é o grande responsável pelo bom funcionamento do sistema de alimentação de combustível adotado neste projeto. De forma a gerar um bom entendimento deste equipamento, ele será explicado detalhadamente. O dosador de combustível tem por função manter a pressão na linha de



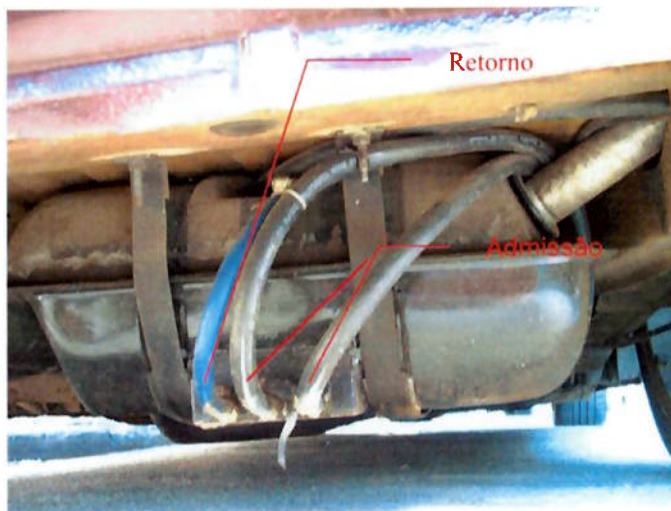
fig.11–Dosador de combustível

positiva no coletor, ou seja, ele é um regulador de pressão na linha de combustível quando o motor está em regime aspirado, mantendo a pressão na linha constante. Isto é necessário pois a quantidade de combustível injetada no motor é função do tempo de injeção e da pressão da linha de combustível. Quando temos pressão positiva no coletor, o dosador tem uma entrada de pressão oriunda do coletor de admissão que estrangula o retorno da linha de combustível, aumentando a pressão na linha de combustível. Mantendo a pressão na linha estável, o motor será alimentado enquanto no regime aspirado, ou seja, enquanto o turbocompressor não conseguir pressurizar o coletor de admissão, assim como o modelo original. Quando a pressão no coletor aumenta, devido ao compressor estar enviando ar comprimido para o motor, será necessária uma maior quantidade de combustível de modo a alimentar o motor que está aspirando mais oxigênio. Uma tomada de pressão no coletor indicará quando o motor necessita de maior quantidade de combustível. Esta tomada de pressão no coletor estará ligada como entrada no dosador de combustível de forma a aumentar a pressão na linha e alimentar o motor adequadamente. Como a necessidade de combustível é proporcional à pressão positiva no coletor e a disponibilidade de combustível é proporcional à pressão na linha de combustível temos um sistema extremamente simples, porém eficaz. Este sistema funciona para pequenas pressões no coletor, algo como até 1,0bar. Depois desta pressão o sistema não funciona adequadamente, pois saímos da faixa linear de funcionamento da bomba

elétrica de combustível, assim como os bicos injetores e do próprio fluxo no cabeçote. Logo para grandes ganhos de potência (acima de 100% da original) não se recomenda este sistema, e sim algum outro sistema com bicos auxiliares que passem a pulsar a partir de certa pressão, como os sistemas auxiliares de injeção de combustível, tais como haltech, digipulse, HIS e afins.

Seu uso é necessário, devido à necessidade de se regular um aumento na pressão na linha conforme existe uma maior necessidade de combustível com a pressão positiva no coletor de admissão.

- **Linha de combustível:** A linha de combustível tem por função levar o combustível do tanque para o motor, e efetuar a volta deste para o tanque (linha de retorno). A utilização da linha de combustível original é possível, mas evita-se devido ao aumento de pressão de trabalho na linha e o maior volume de combustível necessário por se trabalhar com álcool. Lembrem que quando existe pressão positiva no coletor o



dosador estrangula o retorno. Fig.12 – Cash tank com linhas de combustível da linha, aumentando a pressão na linha e possibilitando a ocorrência de vazamentos. Para evitar este problema, trocasse a linha original por uma de maior diâmetro e resistente a pressões de até 7,0bar, que possibilita maior vazão, e conseqüentemente menores perdas de carga, exigindo menos esforço da bomba de combustível.

Recomenda-se para instalações simples uma linha de combustível com 9,0mm de diâmetro. Para projetos onde se deseja uma alta confiabilidade o ideal seria a troca da linha por uma linha com malha metálica (aeroquip), que é muito mais resistente a pressões e a danos de externos como pedras, que podem cortar a linha e gerar vazamentos.

Conjunto de embreagem e platô

O conjunto de embreagem e platô tem por função efetuar o acoplamento do volante do motor ao câmbio. O fator mais crítico para o dimensionamento de uma embreagem é o torque a ser transmitido. Em um motor turbinado o meio de aumentar a potência é o aumento do torque. Assim, a embreagem passa a ter sua durabilidade muito comprometida, e em casos comuns, a embreagem chega a desacoplar com o novo torque gerado. (ref.4, 5 e 6)

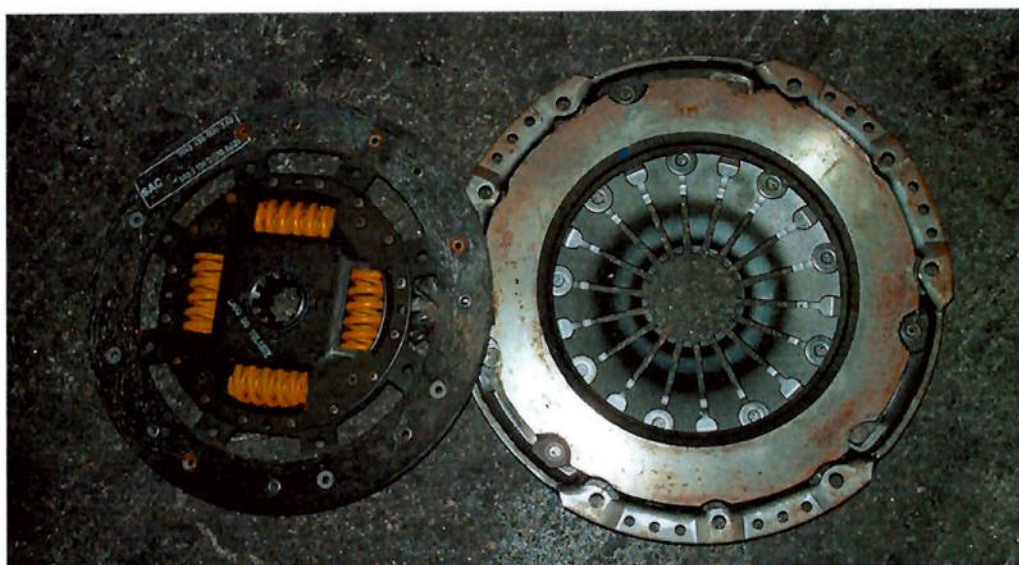
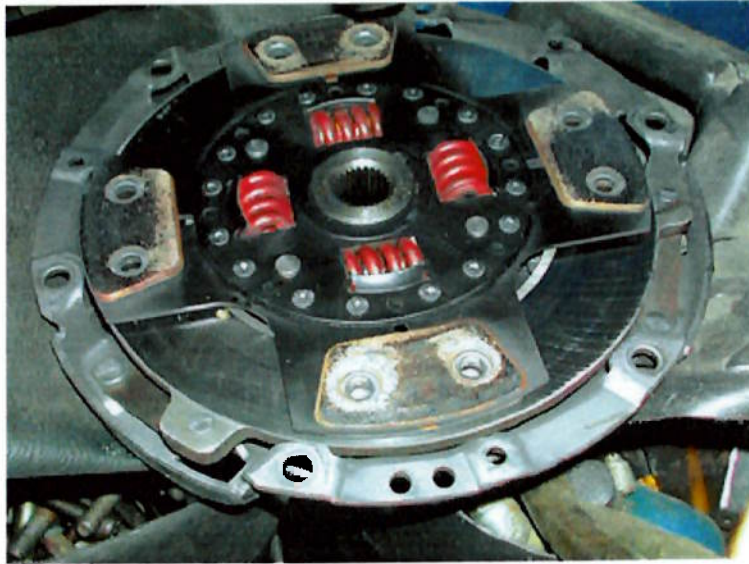


fig.13-Conjunto de embreagem original

Para aumentar a capacidade de transmissão de torque da embreagem pode-se tentar algumas técnicas. Aumentar a área de contato da onde será transmitido torque. Esta técnica é muito difícil de se aplicar, pois a área já foi otimizada pelo fabricante da embreagem, o aumento da área teria de ser interno, pois externamente este seria limitado pela carcaça do câmbio. O aumento da carga das molas seria um método muito interessante, porém este método aumenta muito o desgaste do material de contato da embreagem, por aquecê-la demasiadamente diminuindo muito a vida da embreagem. Para pequenos acréscimos de potência este método seria muito interessante, mas para nosso ganho é possível, mas não é o recomendado. Para nosso caso o método recomendado seria a troca da embreagem e platô por um sistema com material de contato em pastilhas de cerâmica sinterizada com molas para

diminuir a vibração durante o acoplamento junto da utilização de uma carga mais alta nas molas do platô. Este método tem uma boa vida útil, um custo pouco acima do original mas tem três grandes desvantagens: com o aumento na carga do platô (em média 900lb) o pedal fica pesado para o acionamento; as pastilhas não permitem a utilização de uma mola entre o disco de embreagem e o material de contato, como as embreagens de lona tradicionais, o que torna



o acoplamento da embreagem muito brusco e gera trepidações, causando desconforto aos ocupantes o veículo; o acoplamento brusco da embreagem pode causar danos em coxins do motor e câmbio além de possibilitar problemas no câmbio por microfissuras nas engrenagens gerados pelo tranco do motor. É importante frisar que a embreagem deve ter sua carga dimensionada de forma a transmitir todo o torque necessário, mesmo quando a temperatura de funcionamento aumenta com o uso constante, porém não deve gerar acoplamentos muito bruscos, pois estes danificam o câmbio.

fig.14-Embreagem com pastilhas de cerâmica sinterizada

Medidores - Relógios

Serão apresentados os principais medidores (popularmente chamados de relógios) utilizados em motores com sistema de turbocompressor, de forma a facilitar o acerto do motor sob as novas condições de uso e garantir o funcionamento do motor dentro das especificações (ref.4). A ordem apresentada é a de importância, segundo critérios do autor.

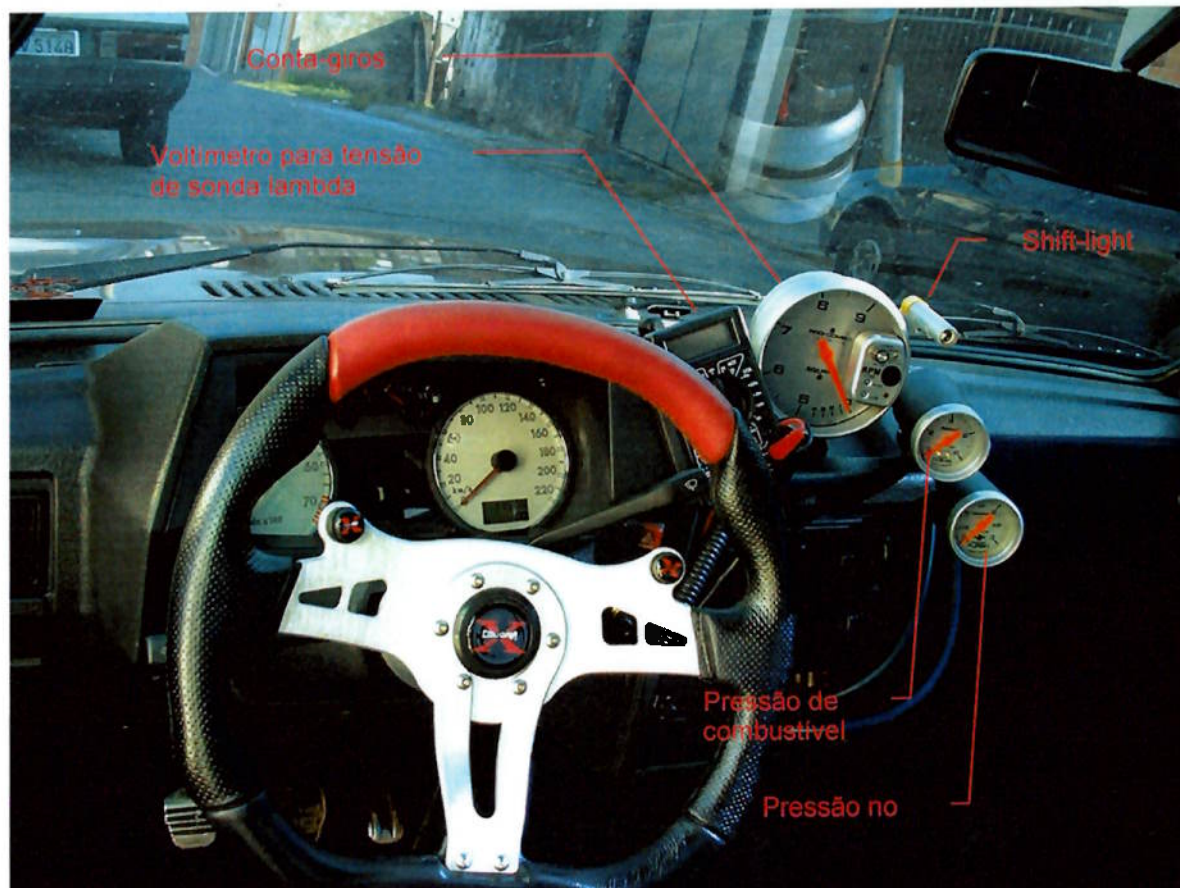


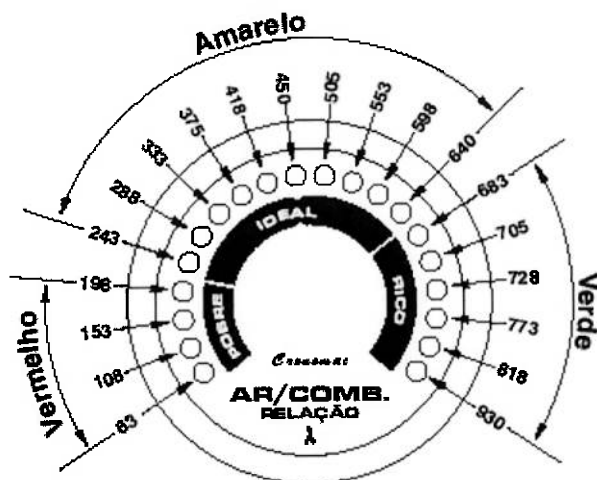
fig.15-Painel e um veículo com relógios diversos

- **Conta-giros:** O conta-giros é o equipamento mais importante para o funcionamento do motor de um veículo, devendo ser obrigatório em todos os veículos. Serve para medir a rotação em que o motor se encontra. O usuário deve manter o motor abaixo da faixa de rotações máxima, de forma a não solicitar exageradamente o motor. Como em motores turbo buscamos um aumento do torque do motor, e não da rotação, como forma de aumento de potência, deve-se evitar exceder o giro máximo especificado pelo fabricante, de modo a garantir uma vida longa ao motor. O excesso de giro é a forma

mais corriqueira de mau uso de um motor sobrealimentado que gera a quebra. Sua escala usual vai de 0 a 7000rpm, sendo encontrado até 10000rpm, mas esta faixa de giro é muito incomum em motores de rua.

O uso de um conta-giros é considerado extremamente necessário, para garantir a vida do motor.

- **Manômetro de pressão no coletor:** É o medidor mais importante após o conta-giros, sendo seu uso considerado necessário tanto para o acerto do carro, quanto para a verificação da saúde do sistema através da verificação de leituras incomuns. Mede a pressão que está no coletor. Usualmente aponta qual a pressão no motor acima da atmosférica (pressão positiva). É o principal parâmetro em um motor sobrealimentado, após o conta-giros. Para nosso escopo a pressão máxima será entre 0,6bar e 0,8bar, para que alcancemos cerca de 80% de aumento de potência. Valores até 1,0bar são aceitáveis, mas a durabilidade do motor tende a cair muito, e o uso prolongado do motor sob estas condições, como em carga plena em uma rodovia, pode causar a quebra prematura do motor.
- **Medidor de mistura – Hallmeter:** O hallmeter tem por função verificar se o motor encontra-se com a mistura ar-combustível correta. Para tanto é um medidor necessário para o acerto do motor assim como para a verificação se este se encontra dentro das condições especificadas, ou seja, com mistura rica em acelerações e estequiométrica em regimes constantes. Ele faz a leitura da sonda lambda e diz se a mistura está rica, estequiométrica ou pobre através de uma leitura em milivolts. A sonda lambda detecta o teor de oxigênio nos gases de escape e assim consegue estabelecer uma correlação entre o teor de oxigênio e a qualidade da mistura após a queima: quanto mais oxigênio mais pobre a mistura. Devido ao catalizador de um carro com injeção eletrônica necessitar trabalhar sob condições de mistura muito acertadas ($0,97 < \lambda < 1,03$) a injeção eletrônica utiliza a sonda lambda para efetuar estes ajustes continuamente e garantir uma relação ar/comb. muito próxima de 1,00. Ao efetuar o acerto da mistura ar/comb. em um motor com turbocompressor o hallmeter auxilia para mostrar se a mistura encontra-se pobre ou rica.



Obs: Os valores médios indicados estão em milivolts (mV).

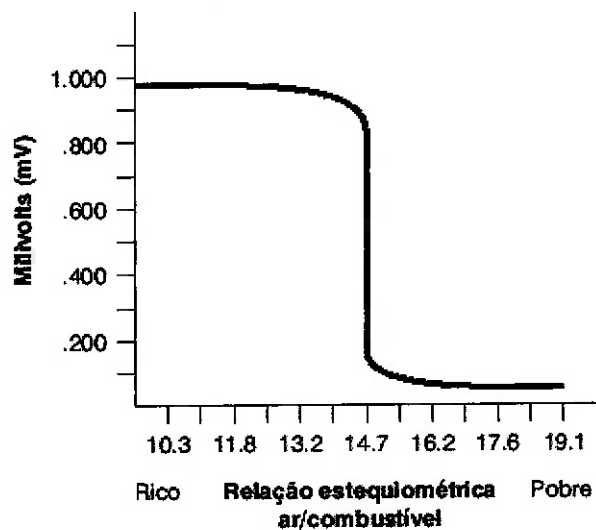


fig.16-Hallmeter típico (cronomac) e gráfico relação estequiométrica x voltagem

Como pode-se ver pelo gráfico entre a relação estequiométrica (quantidade de ar dividido pela quantidade de combustível) x voltagem. A voltagem é acima de 0,900V quando a mistura está rica e abaixo de 0,150V quando a mistura está pobre. A faixa estequiométrica ideal é muito curta, logo é difícil se acertar um motor para trabalhar com as variações de temperatura, altitude e pressão podendo fazer com que a mistura saia da faixa ideal. Ao trabalhar com a mistura pobre a temperatura dentro da câmara de combustão sobe muito, pois o combustível ajuda a resfriar a câmara e manter o fluxo dos fluidos dentro das especificações. Logo se deve acertar um carro turbo para trabalhar com a mistura entre o ideal e o rico, nunca pobre. Misturas ricas não são aconselhadas pois geram perda de potência, consumo excessivo e poluição excessiva. Como o hallmeter tem uma faixa de medição curta, este serve para dizer se a mistura está rica ou pobre e efetuar um acerto com uma qualidade mediana. A quantidade na qual a mistura está rica ou o quanto está pobre o hallmeter não consegue quantificar fora de uma faixa pequena, logo não se consegue acertar com precisão uma mistura rica com o hallmeter. A faixa ideal de trabalho da mistura em um motor não é a com $\lambda = 1,00$ e sim com $\lambda \sim 0,86$ ou ao redor deste valor para obtermos potência máxima (variando um pouco

de motor a motor). Mas se a mistura estiver muito rica há risco da diluição do filme de óleo entre a parede do cilindro e os anéis/pistão e desgaste prematuro. Também pode ocorrer a contaminação do óleo por combustível,

Valores de referência para a Sonda Lambda					
Volts (V)	Lambda (AC/AC _{ideal})	AC Gasolina	AC Álcool	Mistura	Regime de trabalho
0,477	1,41	20,67	12,61	Pobre	Não trabalhar
0,492	1,29	18,83	11,49	Pobre	Econômico
0,506	1,19	17,49	10,67	Pobre	Econômico
0,521	1,13	16,54	10,09	Pobre	Econômico
0,535	1,08	15,87	9,68	Pobre	Econômico
0,550	1,03	15,14	9,24	Estequiométrico	Econômico
0,566	1,00	14,70	8,97	Estequiométrico	Regime Constante
0,579	0,98	14,31	8,73	Estequiométrico	Regime Constante
0,594	0,96	14,03	8,56	Estequiométrico	Regime Constante
0,608	0,94	13,75	8,39	Rico	Regime Constante
0,623	0,92	13,47	8,22	Rico	Regime Constante
0,637	0,90	13,19	8,05	Rico	Aceleração
0,652	0,88	12,91	7,88	Rico	Aceleração
0,666	0,87	12,69	7,74	Rico	Aceleração
0,681	0,85	12,46	7,60	Rico	Aceleração
0,695	0,84	12,24	7,47	Rico	Aceleração
0,710	0,82	12,02	7,33	Rico	Aceleração
0,724	0,81	11,80	7,20	Rico	Aceleração
0,739	0,79	11,57	7,06	Rico	Aceleração
0,753	0,77	11,35	6,93	Rico	Aceleração
0,768	0,76	11,13	6,79	Rico	Aceleração
0,783	0,74	10,90	6,65	Rico	Aceleração
0,797	0,73	10,68	6,52	Rico	Aceleração
0,812	0,71	10,46	6,38	Muito Rico	Aceleração
0,826	0,70	10,23	6,24	Muito Rico	Aceleração
0,841	0,68	10,01	6,11	Muito Rico	Não trabalhar
0,855	0,67	9,79	5,97	Muito Rico	Não trabalhar
0,870	0,66	9,60	5,86	Muito Rico	Não trabalhar
0,884	0,64	9,39	5,73	Muito Rico	Não trabalhar
0,899	0,62	9,15	5,58	Muito Rico	Não trabalhar
0,913	0,61	8,94	5,46	Muito Rico	Não trabalhar
0,928	0,59	8,71	5,31	Muito Rico	Não trabalhar
0,943	0,58	8,50	5,19	Muito Rico	Não trabalhar

Tab.01. Valores de referência para sonda lambda

causando perda da viscosidade do óleo e perda do filme de óleo em regiões específicas, causando contato metal-metal podendo gerar desgaste prematuro do motor e posterior engripamento. Em misturas excessivamente ricas, como

ocorre em pistas de corrida, ou quando um bico injetor trava aberto, pode ocorrer o calço hidráulico do motor, que pode até quebrar o bloco, sem contar perda de bronzinas, bielas, pistão, anéis e virabrequim.

De modo a facilitar o entendimento, será dada uma breve explicação sobre a sonda lambda.

- **Sonda lambda:** A sonda lambda detecta o teor de oxigênio nos gases de escape, e informa à unidade de comando quanto a sua presença em relação ao ar de amostragem dentro do sensor para cálculo estequiométrico. A sonda lambda gera milivolts conforme o teor de oxigênio nos gases de escape. Como é necessário a presença da sonda para utilizar o hallmeter, esta torna-se um equipamento necessário para o motor turbinado.

Sensor Lambda (λ)

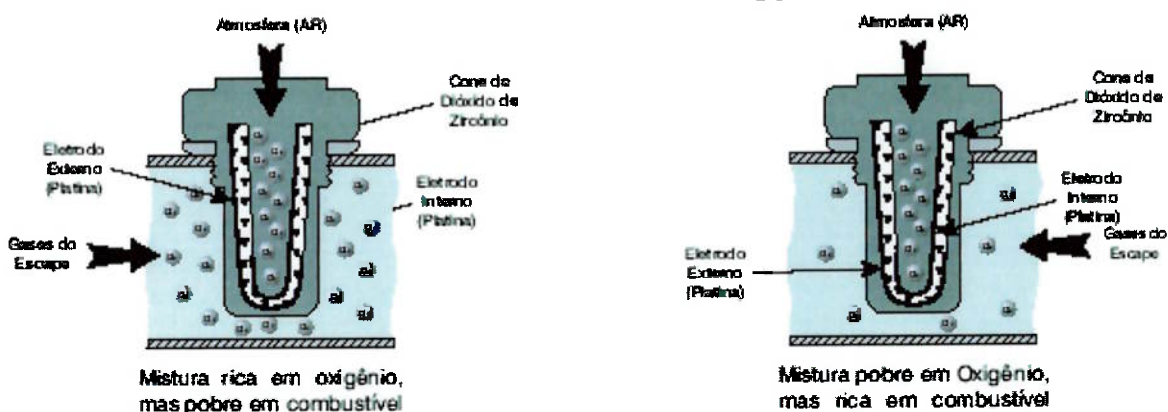


Fig.17-Esquema de funcionamento da sonda lambda

A sonda lambda é um elemento em forma de dedal, fabricado de dióxido de Zircônio (um material cerâmico), coberto interna e externamente por uma fina camada de platina microporosa. Esse elemento é, na verdade uma célula galvânica (pilha). Quando o dióxido de Zircônio é aquecido acima de aproximadamente 300°C, ele se torna um condutor elétrico conduzindo íons de oxigênio da camada interna de platina (em contato com a atmosfera), para a externa (em contato com os gases de escape). Valores altos de milivoltagem significam que praticamente todo o oxigênio injetado na câmara de combustão foi consumido, restando quase nada nos gases de escape. Valores baixos de milivoltagem significam que o oxigênio está sendo injetado além do necessário

para a queima do combustível. Portanto, ainda haverá oxigênio nos gases de escape. Lendo estas milivoltagens, o módulo de injeção (centralina) pode ajustar a mistura ar/combustível, deixando-a o mais próximo possível do ideal (a fonte desta explanação é MTE-Thomson, fabricante de sonda lambda).

Portanto é sempre importante utilizar uma sonda lambda e um hallmeter como forma de monitorar a mistura em um motor. É importante lembrar que se o motor estiver com problemas de ignição, o sensor irá acusar mistura rica, pois haverá oxigênio não queimado nos gases de escape. Então uma visão geral do motor é sempre necessária antes de efetuar alterações nas regulagens.

A sonda lambda deve ser instalada vinte centímetros após a turbina.

- **Termômetro de água:** Item de série na maioria dos carros. Para os veículos onde este termômetro é item de série, um segundo marcador não é recomendado, pois os ganhos seriam apenas na forma de maior precisão na coleta de dados. Nos carro onde este termômetro não é item de série, ele é necessário para evitar problemas como empenamento do cabeçote por alta temperatura, já que quando o motor trabalhar por longos períodos sob plena carga, a capacidade do sistema de refrigeração pode não ser suficiente para as novas especificações de trabalho do motor, requerendo alterações. A faixa usual é de 70°C a 120°C, sendo que os motores devem trabalhar entre 90°C e 95°C.
- **Manômetro de pressão de combustível:** O manômetro de pressão de combustível é um equipamento importante no acerto do motor com sobrealimentação por turbocompressor. Um dos métodos mais simples para se acertar a quantidade de combustível a ser injetada no motor quando a pressão no coletor começa a subir é o aumento da pressão na linha de combustível. Como qualquer queda ou variação na pressão da linha de combustível poderá causar erros na dosagem de combustível, este manômetro é bastante útil tanto no acerto do motor quanto na verificação de falhas, sendo assim recomendado. Como um preparador experiente pode acertar o veículo sem este manômetro, utilizando um manômetro próprio, e depois o retirando, este equipamento não é considerado obrigatório, mas recomendado. Sua faixa de

trabalho é de 0bar a 7bar. Costuma-se estabilizar a pressão da linha de combustível em valores próximos ao original, e trabalha-se com aumentos na linha que podem chegar a até 5bar. É importante ter em mente que baixas pressões de combustível geram misturas mal pulverizadas, ou seja, alto consumo, enquanto altas pressões danificam a bomba de combustível, a linha e os bicos injetores.

- **Manômetro de pressão de óleo:** O óleo do motor tem duas funções principais: manter um filme entre as partes móveis do motor minimizando o atrito e desgaste, característica chamada de lubrificação; retirar calor das partes móveis do motor, servindo como fluido refrigerante. Portanto manter uma pressão de óleo adequada é fundamental para a saúde do motor. Quedas de pressão de óleo podem significar que existem problemas no sistema, como baixa viscosidade do óleo ou problemas na bomba de óleo. Seu uso é desnecessário, mas não perde-se em utiliza-lo.
- **Termômetro de óleo:** Como a temperatura da água é padrão na maior parte dos carros, será interessante ter um termômetro de óleo para saber se o motor está muito quente, pois este é reflete muito mais rapidamente as alterações de temperatura do que o termômetro de água. A faixa usual da temperatura do óleo é de 85°C a 120°C. Em motores refrigerados a ar, o motor pode atingir temperaturas mais altas. Seu uso é desnecessário, mas assim como o manômetro de óleo não há restrições a seu uso.

Bomba Elétrica de Combustível

Devido à necessidade de trabalhar com álcool, que naturalmente já exige maior vazão e devido à maior pressão a qual a bomba é submetida quando existe pressão positiva no coletor, há a necessidade de se trocar a bomba original do veículo por uma de maior porte, caracterizando uma alteração necessária (ref.1 e 4).

Para veículos nacionais, recomenda-se a utilização da bomba elétrica original do gol GTI. Esta bomba é interessante devido a sua capacidade de suportar a oxidação gerada pela utilização de álcool e devido a seu dimensionamento suportar os novos regimes de trabalho do motor. A bomba de combustível da GM Blazer 6cilindros é uma alternativa viável com menor custo. Bombas de combustível de carros originalmente a álcool seriam hipóteses a se testar, principalmente com o advento dos motores bi-combustíveis, mas como não foi encontrado nenhum caso com esta opção, deixamos em aberto.

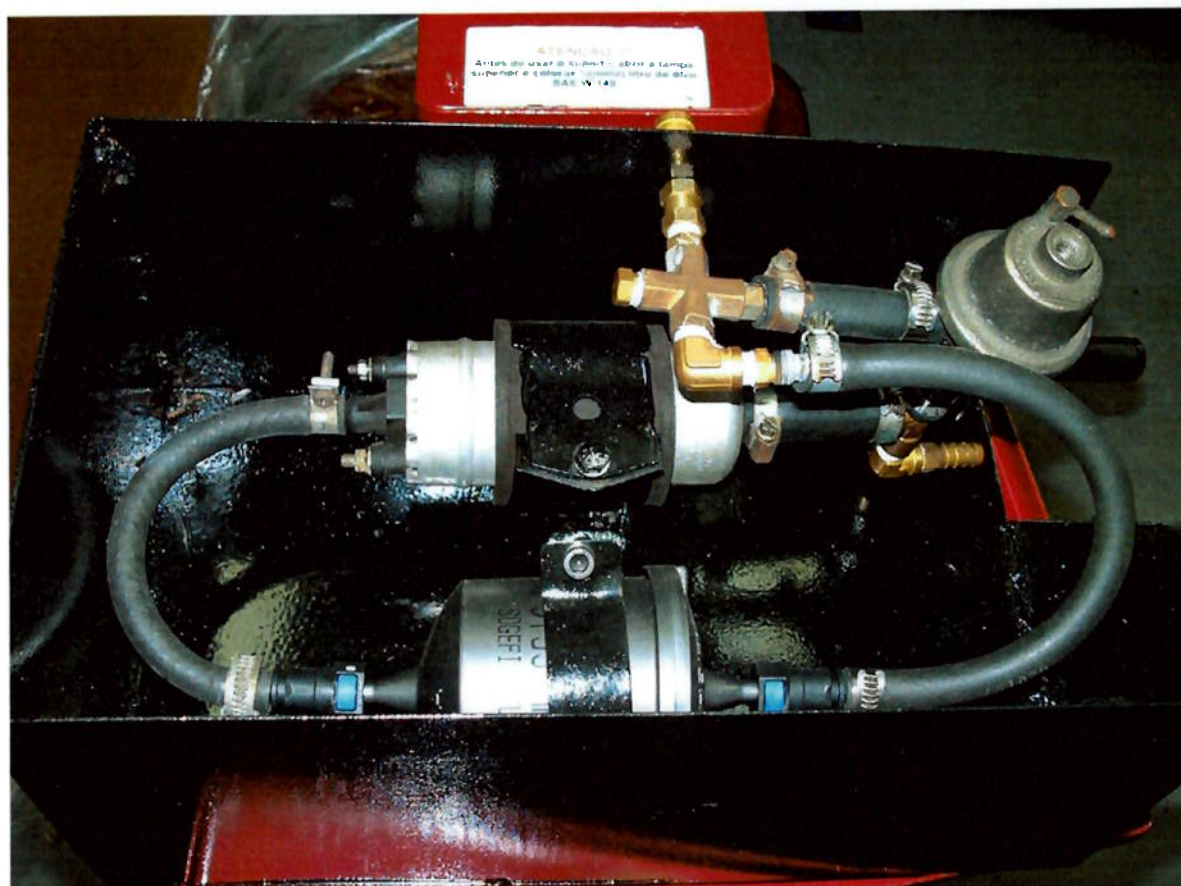


fig.18-Bomba elétrica do gol GTI em adaptação para uso em dinamômetro

Devem-se evitar pressões muito altas como acima de 5bar quando com pressão positiva no coletor devido à diminuição vertiginosa da vida útil da bomba elétrica de combustível com pressões elevadas. A utilização de alta pressão na linha é o motivo mais comum na qual a bomba apresenta defeito, sendo seguida pelo superaquecimento da bomba por aspiração de ar, ou pela pouca quantidade de combustível, sendo que a mistura em quantidades altas de água também uma falha comum à bomba de combustível. Porém pressões abaixo de 1,5bar, mesmo em regimes parciais, não são recomendadas devido ao perigo do bico injetor não pulverizar o combustível e gerar o "gotejamento", que é a má pulverização do combustível, gerando gotas de tamanho grande, que ocasionam uma combustão incompleta dentro da câmara já que as moléculas de combustível não conseguem se misturarem adequadamente com as de oxigênio para gerar uma combustão completa.

Bicos Injetores de Combustível

Os bicos injetores de combustível são orifícios fechados por uma agulha, onde a dosagem da quantidade de combustível se dá pela regulação do tempo de abertura da agulha do bico injetor e pela pressão da linha de combustível por ciclo do motor (ref.1 e 3).



fig.19-Cojunto de bicos injetores



fig.20-Cabeça do bico injetor

Na técnica recomendada por este projeto troca-se o bico original do veículo a gasolina por um bico com maior vazão. Sua substituição por um modelo de maior vazão é necessária para o correto funcionamento do motor trabalhando com álcool. A vazão do novo bico injetor deve ser cerca de 45% superior à do bico original o que significa um diâmetro interno do orifício cerca de 20% maior que a original para manter a mesma pressão de linha de combustível em regime aspirado. Deve-se procurar bicos originais de motores a álcool com a mesma impedância e a vazão próxima à desejada, e o acerto fino da mistura se dará pela regulação da pressão da linha de combustível, que deve ser próxima ou ligeiramente inferior à da condição original do motor, de modo a permitir o aumento da pressão na linha quando houver pressão positiva no coletor porém sem grandes aumentos de pressão, de modo a garantir uma boa vida útil à bomba elétrica. A pressão da linha não deve ser muito baixa, com bicos de muita vazão sob pena de não haver uma pulverização adequada do combustível e gerar uma queima incompleta na câmara. Com isto se garante um fornecimento adequado de combustível de uma forma confiável e muito simples.

Turbocompressor

O turbocompressor é um sistema basicamente formado por uma turbina e um compressor acoplados por um eixo. O intuito do turbocompressor é utilizar a energia dos gases de escape através da turbina para comprimir o ar aspirado, da atmosfera através do compressor (ref.1, 2,4 e 7).

Existem outros métodos de comprimir o ar que será admitido no motor, mas estes métodos utilizam algum tipo de energia que seria utilizada pelo motor, como os compressores mecânicos (superchargers) que retiram energia do eixo virabrequim. Assim a maior vantagem do turbo é utilizar uma energia que antes seria desperdiçada.

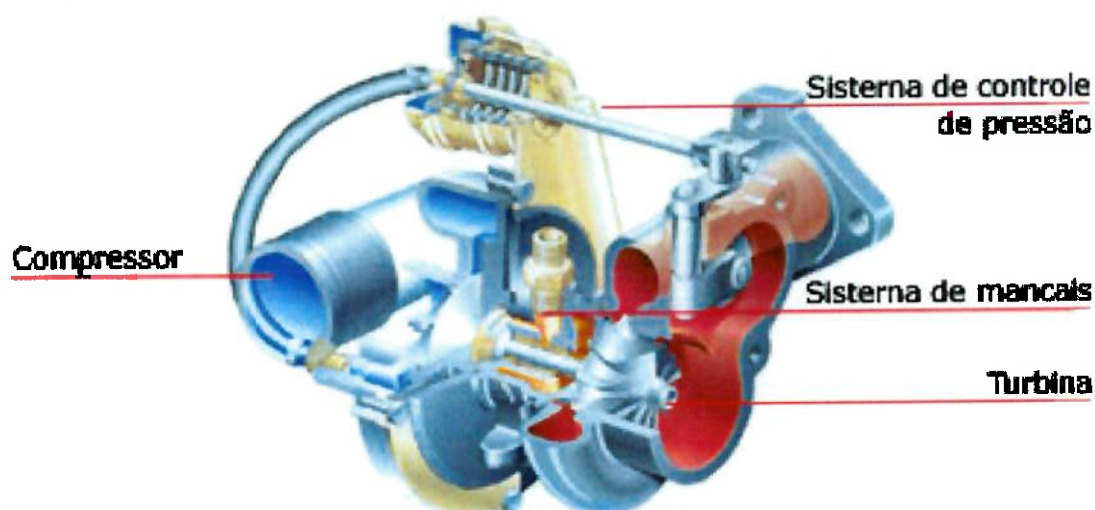


fig.21-Turbocompressor em corte

De modo a explicar o funcionamento do turbocompressor, será feita uma explicação detalhada de cada parte, sendo o turbocompressor dividido em: turbina, eixo e compressor.

Os compressores de turbocompressores são centrífugos em aplicações automotivas, com três componentes essenciais: rotor, difusor e carcaça. Com a velocidade de rotação do rotor, o ar entra axialmente, é acelerado até atingir alta velocidade e depois expelido em direção radial.

O difusor reduz a alta velocidade do ar, praticamente sem perdas, para que tanto a pressão quanto a temperatura aumentem. O difusor é formado pelo prato

do compressor e uma parte da carcaça espiral, que por sua vez coleta o ar e reduz ainda mais sua velocidade antes que ele chegue à saída do compressor.

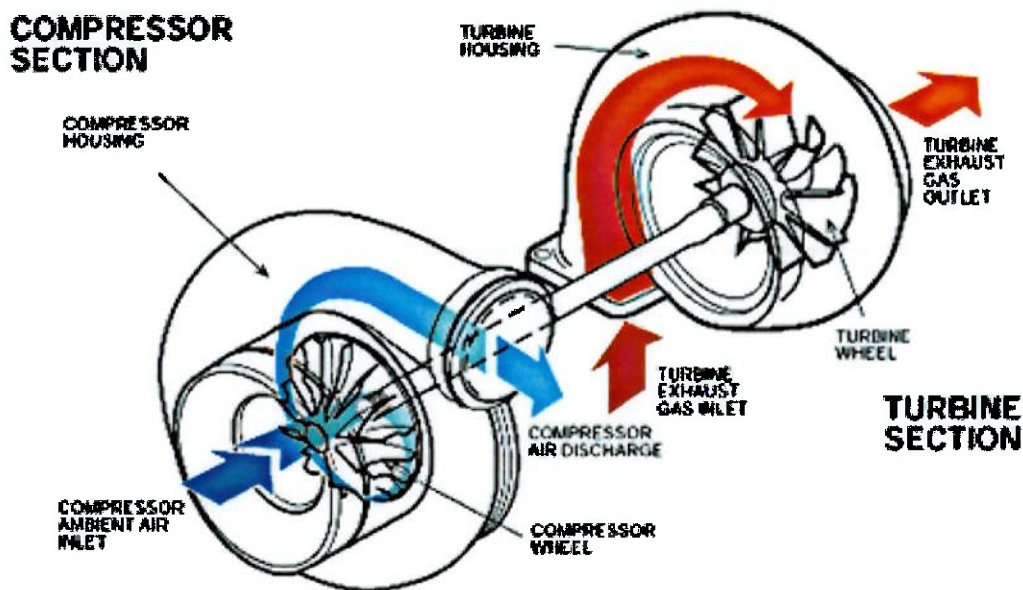


fig.22-Esquema de admissão e escape de ar em um turbocompressor

O comportamento operacional do compressor é geralmente definido por gráficos mostrando a relação entre a razão de pressão e taxa de escoamento de massa ou volume. A área útil do gráfico relacionado aos compressores centrífugos é limitada por curvas de sobrecarga, de estrangulamento e velocidade máxima permissível do compressor.

Linha de surto (ou de sobrecarga)

O gráfico é limitado à esquerda pela linha de sobrecarga, que é basicamente a “interrupção” do fluxo de ar na entrada do compressor. Com vazão volumétrica muito pequena e razão de pressão muito elevada, a vazão não consegue mais aderir ao lado de sucção das palhetas resultando na interrupção do processo de descarga. O fluxo de ar pelo compressor é revertido até que uma razão de pressão estável com vazão volumétrica positiva seja alcançada, a pressão aumenta novamente e o ciclo se repete. Esta instabilidade na vazão continua com frequência fixa e o ruído resultante é conhecido como ressonância.

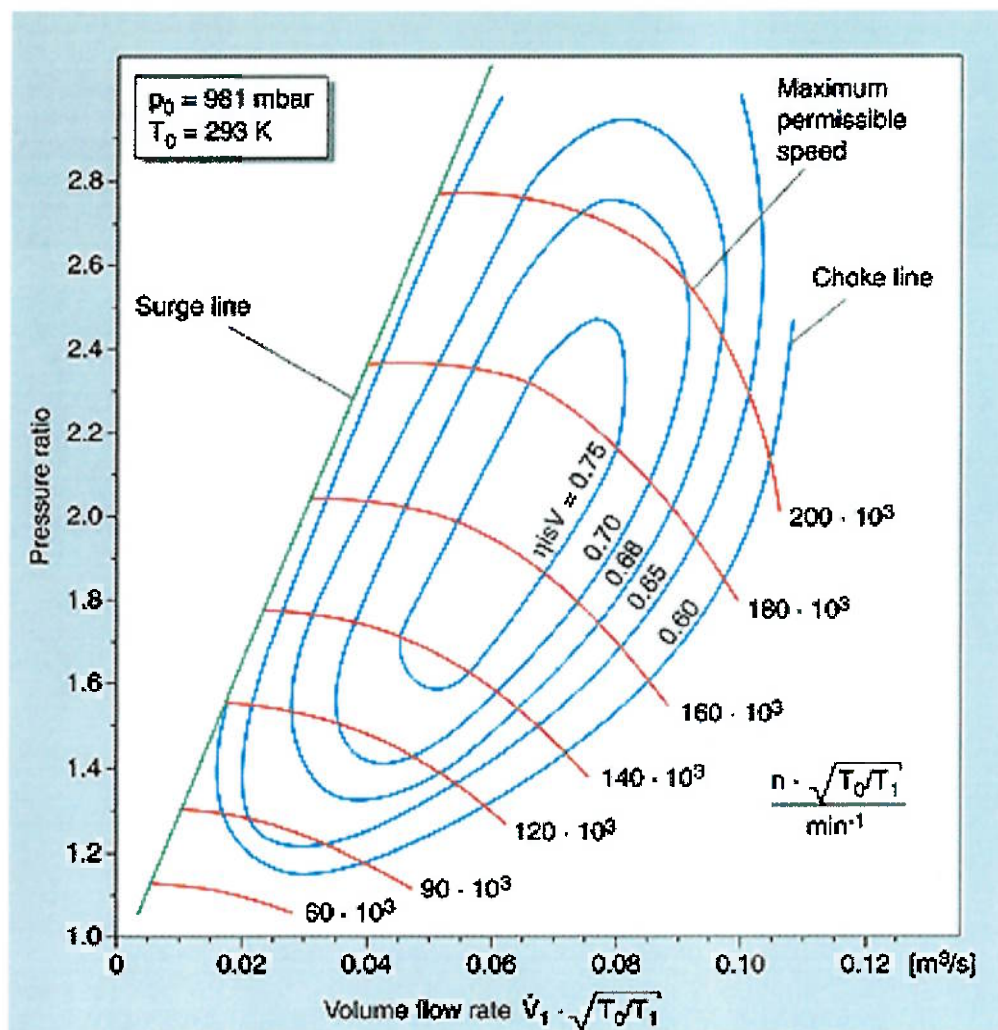


Fig.23—Mapa de um compressor

Linha de estrangulamento

A vazão volumétrica máxima de um compressor centrífugo é normalmente limitada pela área da admissão do compressor. Quando a vazão na admissão do rotor atinge velocidade sônica, não é mais possível nenhum aumento na vazão volumétrica. A linha de estrangulamento pode ser reconhecida pelas curvas de velocidade acentuadamente descendentes à direita no mapa do compressor.

Dimensionamento de um compressor

Para se efetuar o dimensionamento de um compressor o ideal é a procura por pessoal especializado, pois as variáveis são muitas e nem sempre temos dados confiáveis sobre vazão do motor, ar, mapas precisos de eficiência do compressor e outras variáveis. Portanto recomendo a busca de auxílio

especializado como os fabricantes de turbocompressores, ou empresas especializadas.

Porém para auxílio aos que tiverem interesse, deve-se dimensionar o compressor para trabalhar com a pressão desejada dentro da ilha de eficiência máxima (que em nosso caso é de 75%). Com o mapa que temos acima teríamos como trabalhar entre 0,6bar a 1,5bar ficando dentro da ilha de eficiência máxima, o que pode ser visto olhando o eixo vertical que indica a *pressure ratio* que é a pressão total utilizada (pressão ambiente mais positiva no coletor) dividida pela ambiente. Podemos simplificar e pensar no eixo vertical como a pressão total no coletor de admissão.

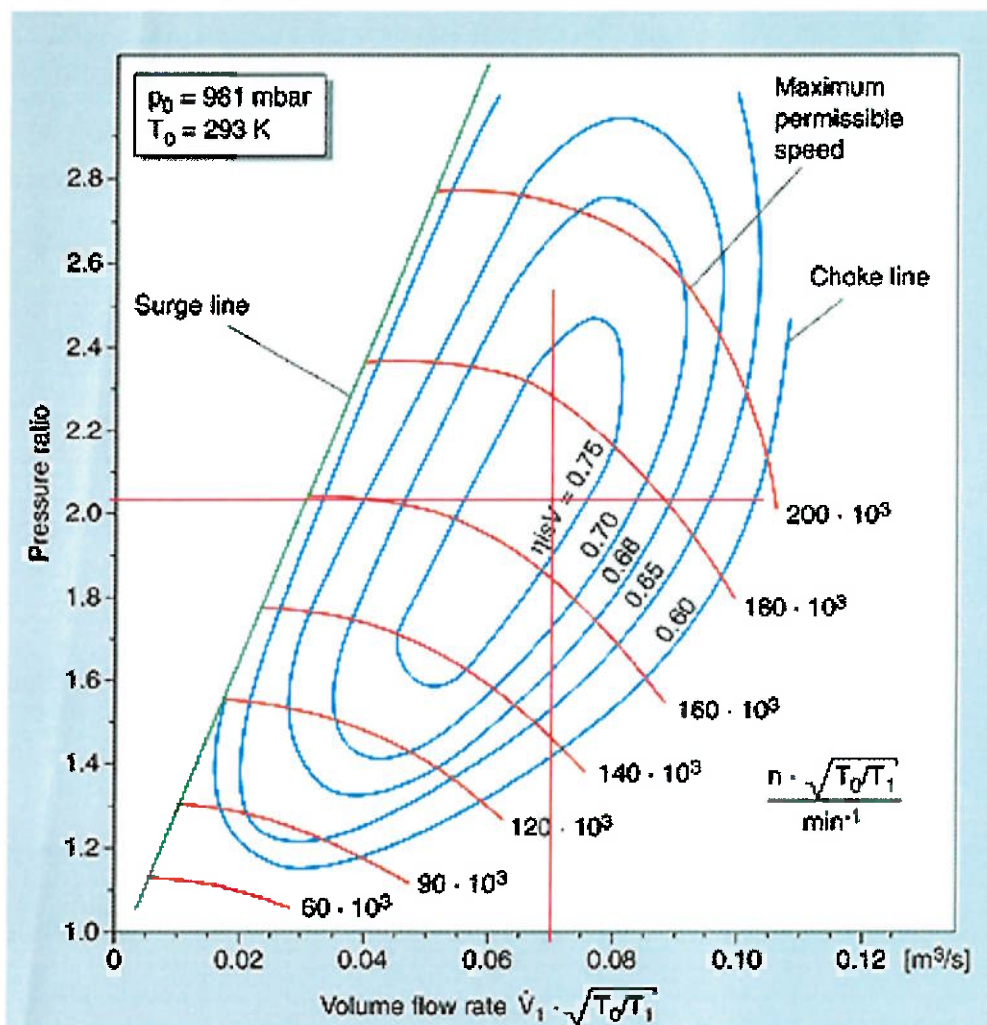


Fig.24—Mapa de um compressor sendo dimensionado

O eixo horizontal é o do volume de ar enviado pelo compressor. Existe uma regra geral que diz que cada $0,01\text{m}^3/\text{s}$ de ar equivalem a 15cv de potência no motor. Assim com 0,8bar no compressor da tabela acima podemos obter $0,07\text{m}^3/\text{s}$ o que nos dá $0,07/0,01 \cdot 15\text{cv} = 95\text{cv}$. Ou seja, para 1,0bar neste compressor teríamos 95cv, o que seria adequado para um motor pequeno como os 1,0L.

Turbina

A turbina do turbocompressor, que consiste em um rotor e carcaça, converte o gás de escape do motor em energia mecânica para acionar o compressor.

O gás, que é restringido pela área da seção transversal de vazão da turbina, resulta em queda de pressão e temperatura entre a admissão e saída. Esta queda de pressão é convertida pela turbina em energia cinética para mover o rotor da turbina.

Como a turbina radial é a mais aceita em aplicações automotivas, nos limitaremos a analisar apenas esta configuração. Na voluta de turbinas radiais ou centrípetas, a pressão dos gases de escape é convertida em energia cinética e este na circunferência do rotor é direcionado, a velocidade constante, para o rotor da turbina. A transferência de energia cinética para o eixo ocorre no rotor da turbina, que é projetado para que quase toda energia cinética seja convertida quando o gás chegar à saída do rotor.

A performance da turbina melhora quando a queda de pressão entre a admissão e a saída aumenta, ou seja, quando mais gases de escape são acumulados antes da turbina em consequência de uma maior velocidade do motor ou no caso de uma elevação na temperatura dos gases de escape causado pela maior energia destes.

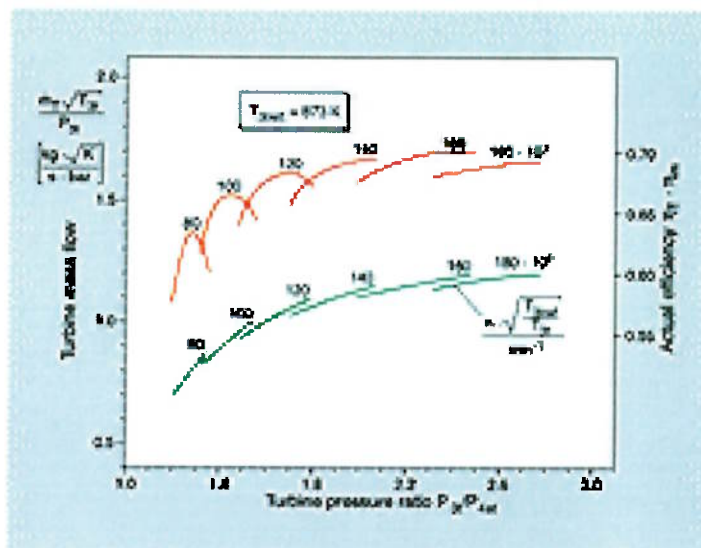


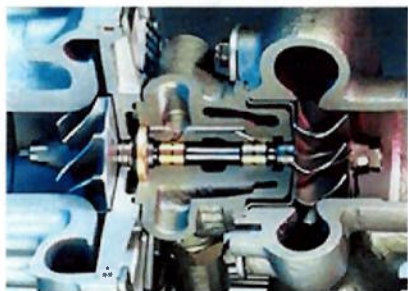
fig.25—Mapa de uma turbina

O comportamento característico da turbina é determinado pela área específica de vazão, a seção transversal da garganta, na área de transição do canal de admissão até a voluta. Ao reduzir a seção transversal da garganta, mais gases de escape são retidos antes da turbina e sua performance aumenta em consequência da elevação na razão de pressão. Uma seção transversal de vazão menor, portanto, resulta em pressões de alimentação mais elevadas. A área da seção transversal da vazão da turbina pode ser facilmente variada mudando-se a carcaça da turbina.

Além da área da seção transversal de vazão da carcaça da turbina, a área de descarga na admissão do rotor também influencia a capacidade de escoamento de massa da turbina. A usinagem do perfil fundido do rotor de uma turbina permite que a área da seção transversal e, portanto, a pressão de alimentação sejam ajustados. A ampliação do perfil resulta em maior área da seção transversal de vazão da turbina.

Na prática, as características operacionais de turbinas com turbocompressores por gás de escape são descritas por mapas mostrando os parâmetros de vazão em relação à razão de pressão da turbina. O mapa da turbina mostra as curvas de fluxo de massa e a eficiência da turbina para diversas velocidades. Para simplificar o mapa, as curvas de fluxo de massa, assim como a eficiência, pode ser representada por uma curva média.

Para uma alta eficiência geral do turbocompressor, a coordenação dos diâmetros do rotor da turbina e do compressor é de vital importância. A posição do ponto de operação no mapa do compressor determina a velocidade do turboalimentador. O diâmetro do rotor da turbina tem que ser tal que sua eficiência seja maximizada nesta faixa operacional.



O conjunto formado pelo eixo do turbocompressor e rotor da turbina gira até 300.000 rpm. Apenas mancais deslizantes especialmente projetados para turbocompressores podem atender essas altas exigências com custo razoável.

Fig.26–Sistema de mancais

Com um mancal deslizante, o eixo gira sem atrito sobre uma película de óleo na bucha. Para o turbocompressor, o fornecimento de óleo vem do circuito de lubrificação do motor. O sistema de mancais é projetado de tal forma que as buchas de bronze flutuantes, girando a cerca de metade da rotação do eixo, situam-se entre a carcaça central fixa e o eixo de rotação, permitindo que esses mancais de alta velocidade sejam adaptados para que não haja contato de metal entre o eixo e os mancais em nenhum ponto de operação. Além da função lubrificante, a película de óleo na folga dos mancais também tem função amortecedora, que contribui para a estabilidade do eixo e rotor da turbina. A capacidade de sustentação de carga hidrodinâmica e as características amortecedoras dos mancais são otimizadas pelas folgas. A espessura do óleo lubrificante para as folgas internas é portanto, selecionada segundo a força do mancal, enquanto as folgas externas são projetadas em relação ao seu amortecimento. As folgas dos mancais são apenas alguns centésimos de milímetro.

O óleo lubrificante flui para o turbocompressor a uma pressão de aproximadamente 4 bar. Como o óleo retorna a baixa pressão, o diâmetro do tubo de drenagem precisa ser maior do que o do tubo de admissão do óleo. Sempre que possível, a vazão de óleo pelo mancal deve ser vertical, de cima para baixo. O

tubo de drenagem do óleo deve retornar ao cárter acima do nível de óleo do motor. Qualquer obstrução no tubo de drenagem do óleo resultará em contrapressão no sistema de mancais. O óleo então passa pelos anéis de vedação para o compressor e turbina.

A carcaça central precisa ser vedada contra os gases de escape quentes da turbina e perda de óleo. Instala-se um anel de segmento em um sulco no eixo do rotor tanto no lado do compressor quanto da turbina. Esses anéis não giram, mas são firmemente presas à carcaça central. Este tipo de vedação sem contato, forma uma de vedação tipo labirinto que dificulta o vazamento de óleo em consequência de múltiplas reversões de fluxo, garantindo que apenas pequenas quantidades de gases de escape cheguem ao cárter.

Assim para se efetuar o ajuste (matching) do turbocompressor a um motor é necessário saber diversas condições de fronteira, como a superfície de fluxo do motor, em função da carga e rotação. Como estes parâmetros não são fáceis de se avaliar às vezes é melhor procurar por empresas especializadas para a escolha do turbocompressor adequado ao motor escolhido.

Funcionamento do motor turboalimentado

Para auxiliar no entendimento sobre o funcionamento de um motor turboalimentado por um turbocompressor instalado em um motor originalmente aspirado e as diferenças entre um motor originalmente aspirado e um originalmente turbo será feito algumas considerações sobre o tema.

Logo na admissão do ar atmosférico já existem diferenças entre os motores. Em um motor originalmente aspirado, que passaremos a chamar somente de aspirado, o ar é admitido no motor pela depressão gerada pelo movimento descendente do pistão (em ciclo de admissão). O mesmo acontece com os motores turbo (originalmente turboalimentados) e turbinados (motores naturalmente aspirados onde foi instalado um turbocompressor) quando o

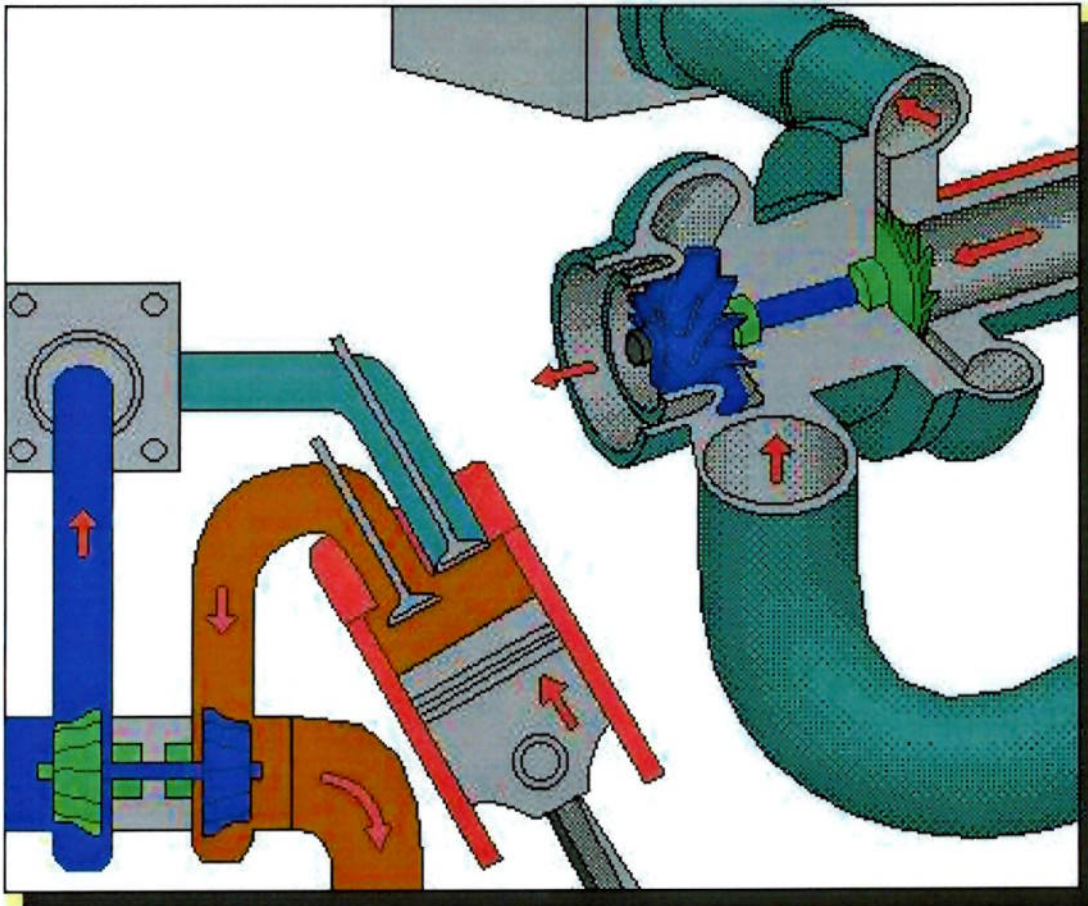


fig.27-Desenho esquemático de um motor turboalimentado

compressor do turbocompressor não tem rotação suficiente para gerar pressão positiva no coletor (pressão positiva é quando a pressão no coletor de admissão é

maior que a atmosférica). Logo nestes regimes o motor turbinado trabalha exatamente como um aspirado com as desvantagens que em um motor turbo ou turbinado a taxa de compressão é baixa, gerando um baixo aproveitamento térmico do combustível e no motor turbinado além da desvantagem anterior o ponto de ignição é fixo para qualquer pressão no coletor, gerando mais perdas.

Quando a turbina passa a ter fluxo de gases de escape suficientes para gerar pressão positiva no coletor, é que aparece a vantagem dos motores turboalimentados. No motor turbo existe um pico de pressão e depois a curva de pressão cai com o aumento de rotação através de um controle eletro-pneumático comandado pela ECU, de forma a minimizar os esforços no motor e garantir uma durabilidade longa. No motor turbinado o controle da pressão no coletor é mecânico através da válvula de alívio. Com isto após se atingir a pressão regulada, a válvula mantém uma pressão constante no motor conforme a rotação cresce, gerando maiores esforços no conjunto móvel. Para minimizar estes esforços, se utiliza um conjunto de turbocompressor maior que o utilizado em um veículo turbo, de forma a aumentar a demora para o turbocompressor entrar em funcionamento e poupar o motor, além de enviar um maior fluxo a uma temperatura menor.

O ponto de ignição em um motor turbo é atrasado conforme sobe a pressão, diferentemente do motor turbinado onde a pressão não é entrada para o acerto do ponto de ignição. Por esta razão o ponto de ignição do motor turbinado sempre se encontra atrasado quando este se encontra em regime aspirado. A diferença entre o ponto ideal em um aspirado e o necessário a um motor turbo é compensado pela troca do combustível gasolina pelo álcool (etanol) que por ter um maior poder antidetonante suporta compressões maiores antes de entrar em auto-ignição. Assim quando o motor começa a ter pré-ignições, se deve ou atrasar o ponto, ou diminuir a taxa de compressão dinâmica ou diminuir a pressão no coletor (se esta existir). Existe um fabricante nacional que tem um módulo que atrasa o ponto conforme cresce a pressão no coletor, mas no entendimento do autor deste estudo este módulo não é confiável, e similares importados são muito caros, não entrando no escopo deste estudo.

No compressor a compressão do ar gera um aumento na temperatura deste que é desfavorável para o motor. O uso do álcool que absorve uma quantidade energia do ar considerável quando se vaporiza é uma vantagem quando em regimes de carga plena pois baixa a temperatura do ar admitido. Porém isto é um problema quando o motor se encontra frio, pois o combustível não irá se vaporizar, e a mistura será heterogênea, gerando uma combustão incompleta e sintomas de falta de combustível, mesmo quando a mistura estiver rica. Aconselha-se o uso de coletor com aquecimento para otimizar o desempenho do veículo a álcool. Para evitar problemas na partida a frio do motor, é necessário instalar o sistema de partida a frio.

O ar sai comprimido e quente do compressor e rumo para o intercooler, quando este existe onde sofre um resfriamento antes de entrar no motor, garantindo uma maior confiabilidade no motor, e alguma potência a mais, pois o ar resfria e fica mais denso.

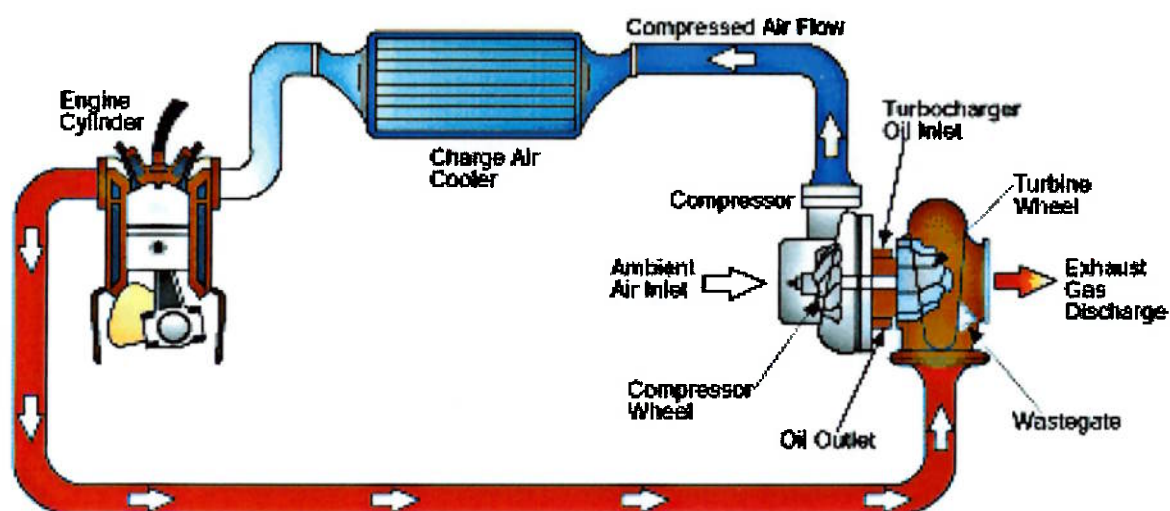


fig.28-Esquema de funcionamento de um motor com turbocompressor

Do intercooler, se este existir, o ar passa pelo corpo de borboleta, rumando para o coletor de admissão. Quando o motor encontra-se pressurizado e a borboleta se fecha, a válvula de prioridade alivia a pressão que tenderia a crescer com a inércia do compressor e poderia danificar a tubulação, a borboleta e até romper o eixo do turbocompressor, gerando grandes prejuízos. Portanto não se aconselha rodar sem válvula de prioridade.

Após passar pelo coletor de admissão onde o ar é pulverizado com o combustível pelos bicos injetores, a mistura ar-combustível passa pelas válvulas de admissão e entra na câmara de combustão. Nesta ocorre uma queima mais limpa e homogênea em um motor turboalimentado quando pressurizado, pois devido à maior pressão existente na câmara, em relação a um motor aspirado, ocorre uma melhor homogeneização do ar com o combustível e uma propagação de chama mais rápida e completa.

O problema é que as solicitações mecânicas e térmicas dentro da câmara são maiores, auxiliando a gerar uma diminuição da vida útil do motor. A PCP (pico de pressão na câmara "*peak compression pressure*") de um motor turboalimentado é maior, gerando uma maior solicitação mecânica. É interessante notar que a correlação entre solicitação e potência de atrito é baixa em um motor a combustão interna, o que significa que um motor turboalimentado provavelmente será mais eficiente que um naturalmente aspirado. As temperaturas de escape serão superiores em motores turboalimentados, podendo chegar a até 1200°C na válvula de escape, o que gera um desgaste muito acentuado deste componente. Assim em motores turbinados deve-se evitar longos períodos a plena carga, pois o regime constante pode fadigar termicamente o material da válvula de escape rapidamente. Este não é um problema em motores turbo, pois estes tem válvulas de escape com materiais nobres como as com uma câmara interna sódio líquido, que é ótimo condutor térmico e alivia as altas temperaturas de escape.

No escape os gases encontram-se a altas temperaturas quando em regimes críticos, podendo atingir 1050°C na entrada da turbina. Assim é importante que o turbocompressor esteja em perfeitas condições de uso, caso contrário o motor terá seu funcionamento seriamente comprometido.

Após passar pelas pás da turbina, e perder temperatura e pressão para energia mecânica, os gases de escape entram no sistema de exaustão, por onde passarão pela sonda lambda e serão devolvidos à atmosfera.

Custos para a instalação de um turbocompressor

Este estudo foi efetuado durante o ano de 2004, sendo finalizado no início de dezembro de 2004. Assim os custos e valores aqui relacionados são válidos para esta data, porém servem de referência para estudos futuros e para tanto deixo aqui registrado que a paridade dólar-real encontra-se em R\$2,95-US\$1,00, sendo os valores cotados em reais (ref. 4).

Custos cotados em reais (dez.04)	Custo Mínimo	Custo Médio	Custo Máximo
Kit turbo (turbina, dosador, mangueiras, coletor escape, válvulas, mangueiras, etc)	1200,00	1350,00	2000,00
Bomba elétrica de combustível (Blazer ou GTI)	250,00	390,00	450,00
Jogo de velas	28,00	52,00	420,00
Conta-giros (caso o veículo não o possua)	200,00	350,00	1200,00
Manômetro de pressão no coletor (caso não venha no kit turbo)	50,00	70,00	300,00
Manômetro de linha de combustível	50,00	70,00	300,00
Medidor hallmeter	85,00	110,00	250,00
Sonda lambda	50,00	70,00	250,00
Tubulação de escapamento	200,00	350,00	700,00
4 bicos injetores novos	200,00	350,00	800,00
Conjunto embreagem de cerâmica completo	250,00 parcial	390,00	800,00
Extras (mangueiras, tubulações, partida a frio, conexões, conectores, etc)	70,00	120,00	400,00
Mão-de-obra (instalação, adaptações, acerto e regulagens)	250,00	400,00	1000,00

tab.02-Custos de peças para instalação de turbocompressor em motor nacional básico (AP800 ou GM Fam I)

Os itens relacionados serão os considerados como necessários para a instalação nos moldes citados no estudo, ou seja, bicos injetores de maior vazão com dosador regulando a pressão na linha de combustível.

Considerações:

- Os custos se referem a uma instalação com bicos de vazão maior, com aumento de pressão de linha de combustível via dosador, sem bicos extra, sem alterações na ECU, sem abertura do motor, sem troca de peças além das citadas. Portanto, talvez hajam gastos não previstos como filtro de combustível, óleo, cabos de velas e outros não inclusos por não fazerem parte da instalação e sim da manutenção periódica do motor.
- O kit turbo é um conjunto de peças já pronto, onde se consegue um bom custo/benefício, porém nem todos os motores já tem este kit pronto.
- A bomba elétrica tem preço mínimo referente ao custo da aplicação Blazer, enquanto o custo médio é referente à aplicação Gol GTI e o máximo é o máximo das duas.

Avaliação de Custos

- **Custo Mínimo:** O custo mínimo é a instalação com apenas os itens necessários para o funcionamento do sistema aos preços mínimos encontrados no mercado. Excluem-se o conta-giros, manômetro de linha de combustível, a embreagem de cerâmica utilizando apenas maior carga no platô e se utiliza a bomba de combustível da blazer totalizando: **R\$2333,00**
- **Custo Médio:** O custo médio refere-se a instalação com todos os componentes indicados exceto o conta-giros que é considerado como de série na grande maioria dos automóveis, aos preços médios encontrados no mercado, com a bomba de combustível do gol GTI, que apresenta uma maior durabilidade o que nos dá um total de: **R\$3722,00**

Adimensional custo/potência

Como forma de avaliar a relação o custo-benefício da instalação de um turbocompressor, vamos exemplificar alguns casos e relacionar com outras formas de ganho de potência através do adimensional custo/potência.

Os outros tipos de preparação serão:

- i. Reprogramação da ECU, junto com troca do filtro de ar: R\$450,00 e 7% ganho sobre a potência inicial;
- ii. Item acima mais troca de comando de válvulas e escapamento: R\$1200,00 e 18% de ganho;
- iii. Itens acima com regulagem específica mais troca do corpo de borboleta, retrabalho do cabeçote em aumento e equalização de fluxo, troca de válvulas e afins: R\$2700,00 e 45% de ganho;
- iv. Instalação de um supercharger: R\$4500,00 e 60% de ganho;
- v. Instalação de turbocompressor: R\$3722,00 e 80% ganho.

	GM Pickup Corsa 1,6L – 92cv			GM Corsa 1,0L – 60cv		
	Inicial/Final	Custo R\$/cv		Inicial/Final	Custo R\$/cv	
i	92/98	75,00	149%	60/64	112,50	145%
ii	92/109	70,58	140%	60/71	109,09	141%
iii	92/133	65,85	131%	60/87	100,00	129%
iv	92/147	81,81	162%	60/96	125,00	161%
Turbo	92/166	50,30	100%	60/108	77,54	100%

tab.03-Comparação entre diferentes métodos de ganho de potência

Assim avaliamos que a instalação de um turbocompressor é vantajosa não apenas por possibilitar um ganho de potência muito superior ao dos outros métodos, mas também por possibilitar um ganho de potência ao menor custo. Conforme pode ser visto na planilha acima, temos uma vantagem em custo de no mínimo 29% do turboalimentador frente aos outros métodos, podendo chegar a até 62%, quando comparado ao *supercharger* ficando assim claro a vantagem deste método sobre os outros.

Casos de motores com turbocompressor adaptado

No intuito de ilustrar este trabalho e demonstrar o que tem sido feito pelas preparadoras atuais em São Paulo, foram colocados alguns casos de motores com turbocompressor adaptado.

Não é desejo deste trabalho recomendar uma preparação ou outra, pois existem preparações aqui listadas que são para carros de pista, apesar de serem utilizadas em ruas, e ressaltamos que o autor deste trabalho é contra o desrespeito das leis e legislações sejam de trânsito ou criminais.

- **Caso 01:** GM Pickup Corsa Branco STD ano 02 - 1,6L 8v injeção MPFI;
- **Caso 02:** GM Corsa Wind Branco 01 – 1,0L 8v injeção MPFI;
- **Caso 03:** VW Gol Azul CL ano 92 – 1,8L 8v carburador 2E;
- **Caso 04:** VW Saveiro Vinho ano 94 – 1,9L 8v carburador 3E – Turbo-Nitro;
- **Caso 05:** GM Corsa Wagon Verde ano 99 – 1,6L 8v injeção MPFI;
- **Caso 06:** GM Corsa Wind Preto ano 97 – 1,6L 8v injeção MPFI;
- **Caso 07:** VW Gol GL Branco ano 88 – 1,8L 8v carburador 2E;

Caso 01: GM Pickup Corsa Branco STD ano 02 - 1,6L 8v injeção MPFI

Motor: GM Fam. I 1,6L original a gasolina

Potência no motor: 174cv @ 5600rpm (+89% em relação aos originais de 92cv)

Torque no motor: 236Nm @ 4800rpm (+79% em relação aos originais de 132Nm)

Quilometragem do motor: 40mil km

Quilometragem com turbo: 22mil km

Tempo com turbo: 1ano 2meses

Combustível: Álcool

Consumo cidade / estrada: 6 / 9 km/l

Comando de válvulas: original

Pistão, biela, anel e bronzina: Original

gasolina, com folgas originais

Cabeçote: Original

Velas: NGK 7

Câmbio: Original

Bomba Elétrica: Original da Blazer V6

Dosador: Hpi

Escape: Tubos de 2 pol com 1 abafador

Bicos: Original do Astra 2,0 retrabalhado para maior vazão

Bico Extra: Não

Injeção Eletrônica: Original

Sistema de trabalho: Aumento da pressão da linha de combustível, via dosador

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 4 pastilhas e mola

Turbina: Mitsubishi original do MWM Sprint 4 cil (4.07TCE)

Pressão: 0,8bar

Desempenho 0-100km/h: Nunca medido

- Impressão: Um veículo muito agradável para o dia-a-dia se não fosse o pedal da embreagem duro e a trepidação causada pela modulação da embreagem de cerâmica. O carro não falha, a turbina começa a pressurizar a 3000rpm e sobe de giro liso, lembrando um veículo original se não fosse a excelente relação peso/potência de 5,7kg/cv aliado ao câmbio original que proporciona uma aceleração demasiadamente rápida para um motorista comum, algo incomum em um veículo original.



Fig.29–Pickup Corsa no dinamômetro



Fig.30—Medição em dinamômetro de rolo



fig.31-Motor turbinado

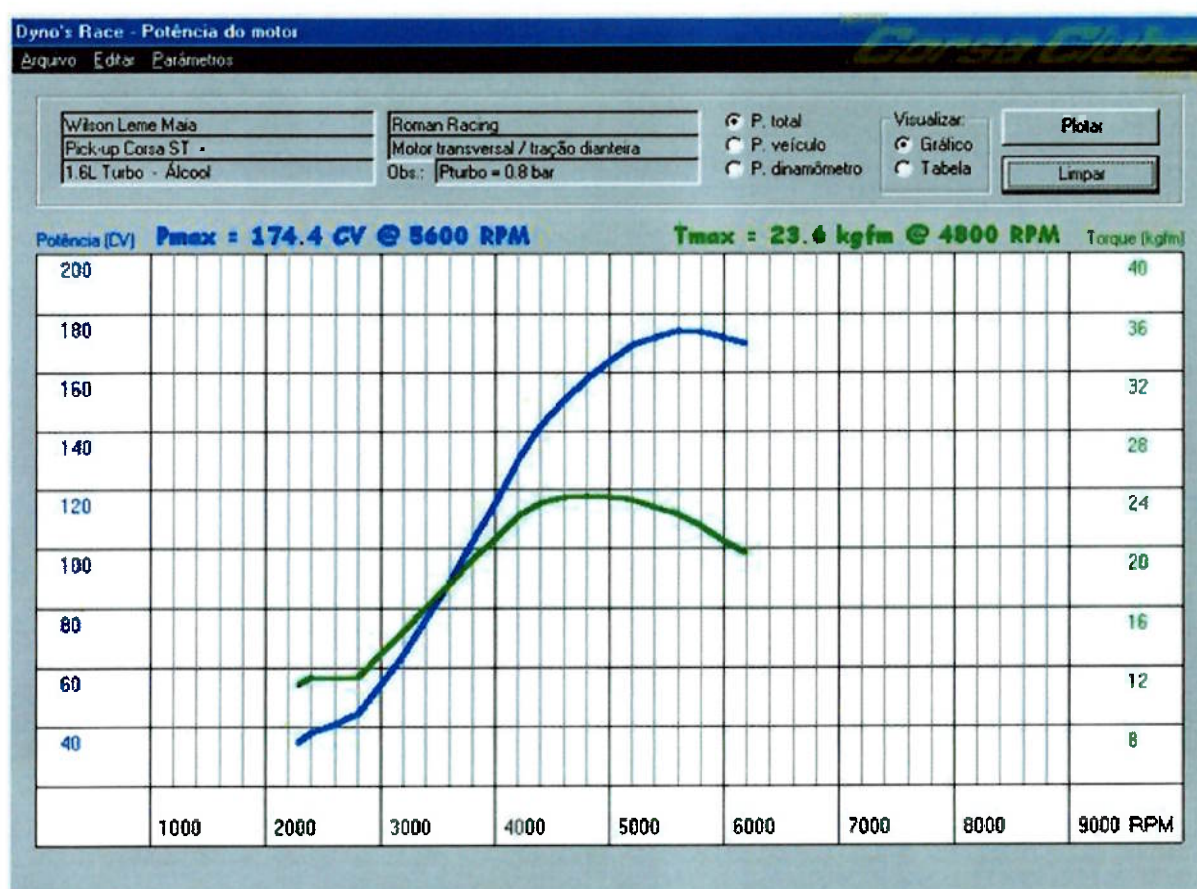


fig.32-Gráfico de Torque e Potência da pickup corsa branca 1,6L com 0,8bar

Caso 02: GM Corsa Wind Branco 01 – 1,0L 8v injeção MPFI;

Motor: GM Fam. I 1,0L original a gasolina

Tempo com turbo: 8meses

Combustível: Álcool

Consumo cidade / estrada: 6 / 10 km/l

Potência no motor: 122cv @ 6000rpm (+103% em relação aos originais de 60cv)

Torque no motor: 160Nm @ 3800rpm (+95% em relação aos originais de 82Nm)

Pistão, biela, anel e bronzina:

Original gasolina, com folgas originais

Cabeçote: Original

Câmbio: Original

Bomba Elétrica: Original da Blazer V6

Dosador: Hpi

Injeção Eletrônica: Original

Bico Extra: Não

Escape: Tubos de 2 pol com 1 abafador

Bicos: Original retrabalhado para maior vazão

Sistema de trabalho: Aumento da pressão da linha de combustível, via dosador

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 4 pastilhas e mola

Turbina: Garrett T2 .33/.36

Pressão: 0,7bar

Desempenho 0-100km/h: 8,2s



fig.33–Corsa Wind 1,0L ano 2001

- Impressão: Devido ao câmbio curto, o carro fica muito ágil, porém exige trocas constantes, já que as marchas são trocadas uma após a outra. O motor não falha ou engasga e exige apenas um reservatório de gasolina para as partidas a frio, como qualquer carro a álcool. Uma aceleração comparável ao Golf GTI 1,8 Turbo, satisfazendo a maior parte dos motoristas. Talvez um câmbio mais longo e um sistema de freio mais eficiente tornassem o carro ainda melhor. Uma ótima opção para os donos de carro mil. O porém vem pelo câmbio quando em estradas, que faz o motor trabalhar em um regime de giro muito alto para um motor turbinado.

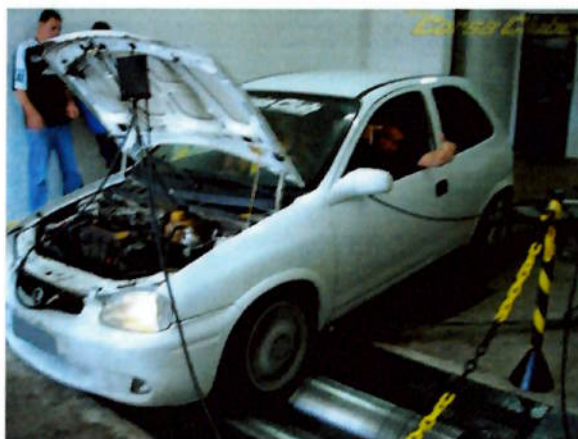


fig.34-Corsa 1,0L no dino de rolo



fig.35-Motor GM Fam I 1,0L turbinado

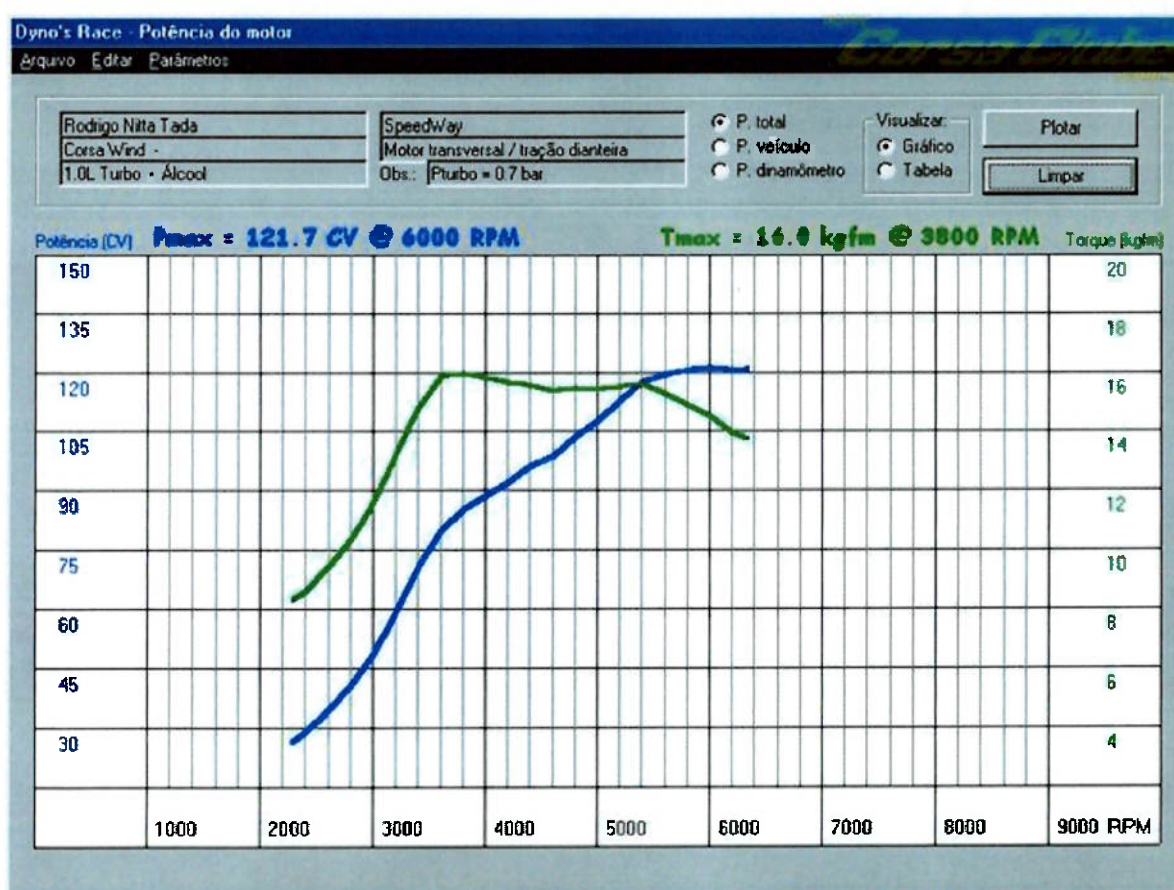


fig.36-Gráfico de Torque e Potência do corsa branco 1,0L com 0,7bar

Caso 03: VW Gol Azul CL ano 92 – 1,8L 8v carburador 2E

Motor: VW AP 1,8L std carburado a gasolina (comprado novo)

Comando de válvulas: 49G (original do gol GTS)

Carburador: Solex 2E, 21/25mm (base VW), originalmente a álcool

Pistão, biela, anel e bronzina: Original gasolina carburado, com folgas originais

Cabeçote: Original

Velas: NGK 7

Câmbio: Original longo

Bobina: Accel Super

Coil

Módulo de ignição:

MSD 6A

Cabos: Accel 8,8mm

Bomba Elétrica:

Original do gol GTI



Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador

fig.37-Gol Azul 1,8 CL

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 4 pastilhas e platô de 900lb

Turbina: Garrett com A/R 0,60 parte quente, e parte fria e interna não divulgadas

Pressão: 2bar

Desempenho 0-100km/h: 7,5s

Impressão: Um carro extremamente bem montado. Uma preparação carburada clássica, onde utiliza-se uma turbina grande e muita pressão para gerar uma alta potência. Em primeira e segunda marcha o veículo não aproveita a turbina devido ao grande tamanho desta, o que gera uma sensação de lentidão e pode ser verificado pelo tempo para 0-100km/h, lento para um veículo do porte. Em terceira marcha a turbina pressuriza até 2bar, mas só a 6000rpm, e em quarta marcha se aproveita todo o torque. Um carro muito bom para grandes espaços e estradas. Na cidade o veículo será subutilizado, pois o torque não irá aparecer devido às grandes dimensões da turbina. Infelizmente não se conseguiu o original da medição deste motor em dinamômetro de bancada, mas este motor gerou, nestas configurações, 289cv @ 6000rpm no motor.



Fig.38-Motor VW AP 1,8L carburado



Fig.39-Mufla sobre o caburador e válvula de alívio



Fig.40-Turbocompressor A/R 0,60 sem de ar e esquema de pressurização

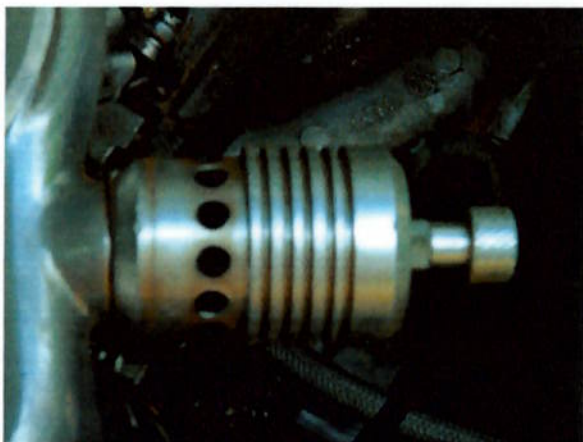


fig.41-Válvula de alívio



Fig.42-Dosador HP para carburador



fig.43-Bobina Accel Super Coil



Fig.44-Módulo de ignição MSD 6A



fig.45-Bomba elétrica de combustível



Fig.46-Tubulação 2 1/2 pol e abafador único

Caso 02- Saveiro Vinho 1,8 carburado, turbo, intercooler, nitro, álcool.

Motor: VW AP 1,8L carburado original a gasolina

Comando de válvulas: 278° simétrico

Carburador: Solex 3E, 30/34mm

Pistão: Forjado IAPEL 83mm

Biela: Forjada Powertech

Anéis: Originais Metal Leve

Bronzinas: Originais Metal Leve

Cabeçote: Preparado com válvulas 40mm admissão e 35mm escape, e trabalho de fluxo

Câmbio: Escalonado com 1ª, 2ª e árvore primária em aço especial.

Bobina: Original do Gol Mi

Bomba Elétrica: Duas originais do gol GTI

Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador



fig.47-Saveiro vinho turbo-nitro

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 6 pastilhas e platô de 1200lb

Intercooler: Trocador de calor ar-ar

Turbina: Garrett com A/R 0,60 parte quente, e parte fria e interna não divulgadas

Pressão: Até 1,5bar sem nitro e até 2,5bar com nitro acionado

Diferencial: Blocado em 80%

Nitro: Acerto de gicles para 100cv

Rodas: aro 16 com pneus continental 205/45/16

Desempenho 0-100km/h: cerca de 6s

Impressão: Um carro para pista. Deverá correr no próximo campeonato paulista de arrancada. Estima-se que a potência esteja ao redor de 500cv sendo 100cv de nitro. Devido às características de dirigibilidade por acerto de suspensão, câmbio e consumo não é possível utilizar o veículo para o dia-a-dia.

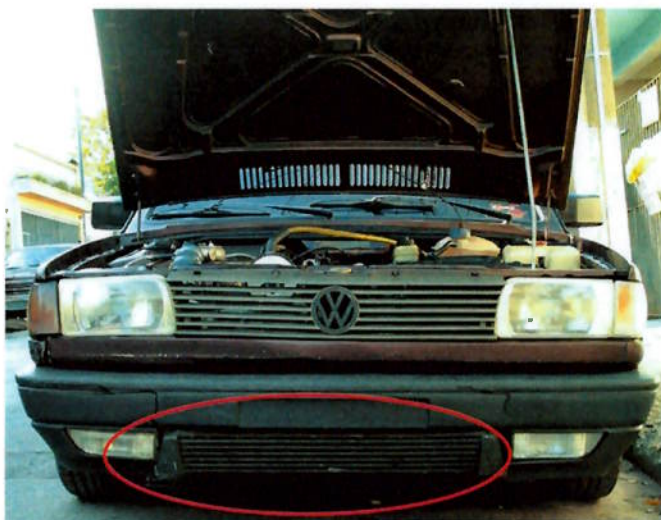


fig.48-Detalhe do intercooler junto ao parachoque

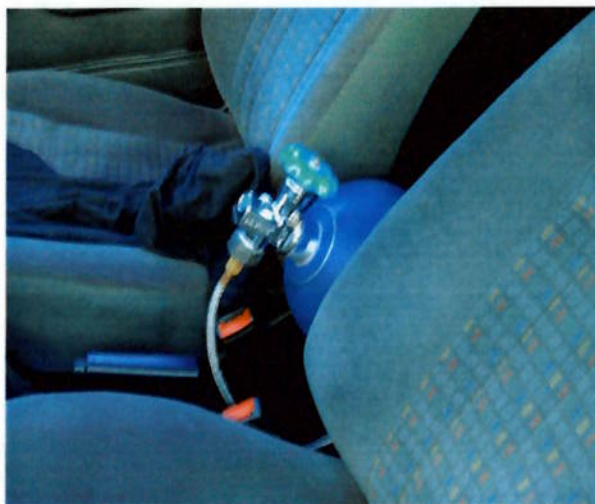


Fig.49-Detalhe da garrafa de nitro



fig.50-Motor VW AP 1,8 carburado

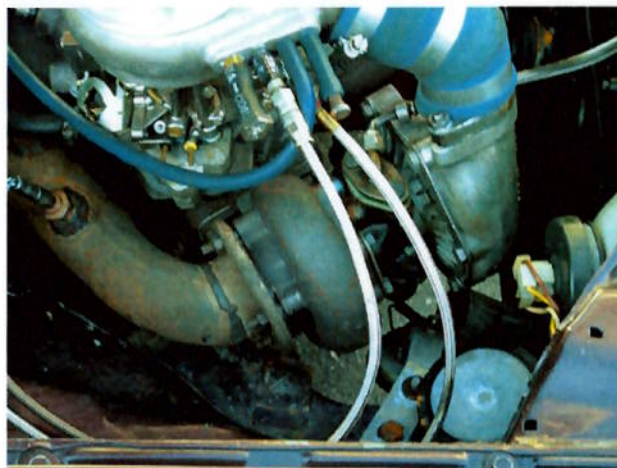


Fig.51-Turbocompressor e admissão do nitro

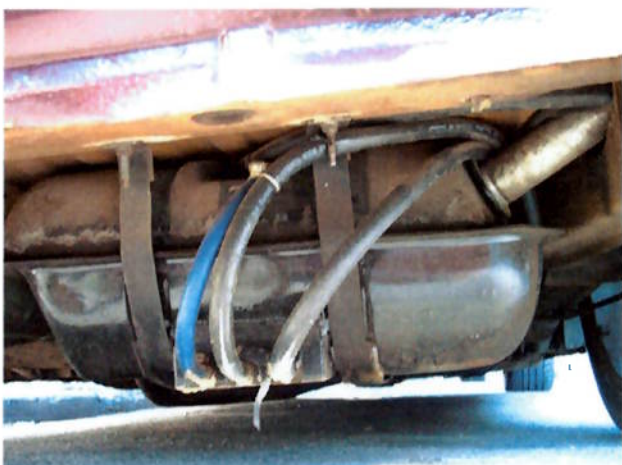


fig.52-Cash tanque



Fig.53-Instrumentos de auxílio

Caso 05: GM Corsa Wagon Verde ano 99 – 1,6L 8v injeção MPFI

Motor: GM Fam. I 1,6L original a gasolina

Potência no motor: 193cv @ 5600rpm (+110% em relação aos originais de 92cv)

Torque no motor: 262Nm @ 4800rpm (+98,5% em relação aos originais de 132Nm)

Tempo com turbo: 2 ano 4 meses

Combustível: Álcool

Consumo cidade / estrada: 4 a 5 / 6 a 7 km/l

Pistão, biela, anel e bronzina: Original gasolina, com folgas originais

Cabeçote: Original

Velas: NGK 7

Bomba Elétrica: Original do gol GTI

Dosador: Hpi

Pressão de comb. inicial: 1bar

Pressão de comb. final: 4,5bar

Injeção Eletrônica: Original

Bico extra: Não

Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador

Bicos: Original retrabalhado para maior vazão

Sistema de trabalho: Aumento da pressão da linha de combustível, via dosador

Embreagem: Original com maior pressão no platô

Turbina: Garrett .42/.48

Pressão: 1,0bar

Desempenho 0-100km/h: Cerca de 6 a 7s

Impressão: O veículo tem um maior consumo de combustível devido ao bico com diâmetro muito grande, o que gera uma pulverização ruim do combustível. Mesmo assim o motor tem um comportamento similar ao original, quando guiado moderadamente. Porém quando se busca uma conduta mais esportiva a relação peso/potência de 5,7kg/cv e a boa aerodinâmica do veículo satisfazem exigentes motoristas, com ótimas acelerações e retomadas. O conforto foi sacrificado pela recalibragem da suspensão, onde se buscou um maior compromisso com desempenho apesar do menor conforto. O veículo tem capacidade de ser utilizado no dia-a-dia, segundo o proprietário, mas é utilizado preferencialmente aos fins-de-semana devido ao alto consumo de combustível, o que também explica o descompromisso do proprietário com o conforto da suspensão.



fig.54-GM Corsa Wagon 1,6L 8v

Caso 05: GM Corsa Wagon Verde ano 99 – 1,6L 8v injeção MPFI

Motor: GM Fam. I 1,6L original a gasolina

Potência no motor: 193cv @ 5600rpm (+110% em relação aos originais de 92cv)

Torque no motor: 262Nm @ 4800rpm (+98,5% em relação aos originais de 132Nm)

Tempo com turbo: 2 ano 4 meses

Combustível: Álcool

Consumo cidade / estrada: 4 a 5 / 6 a 7 km/l

Pistão, biela, anel e bronzina: Original
gasolina, com folgas originais

Cabeçote: Original

Velas: NGK 7

Bomba Elétrica: Original do gol GTI

Dosador: Hpi

Pressão de comb. inicial: 1bar

Pressão de comb. final: 4,5bar

Injeção Eletrônica: Original

Bico extra: Não



Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador fig.54-GM Corsa Wagon 1,6L 8v

Bicos: Original retrabalhado para maior vazão

Sistema de trabalho: Aumento da pressão da linha de combustível, via dosador

Embreagem: Original com maior pressão no platô

Turbina: Garrett .42/.48 Pressão: 1,0bar

Desempenho 0-100km/h: Cerca de 6 a 7s

Impressão: O veículo tem um maior consumo de combustível devido ao bico com diâmetro muito grande, o que gera uma pulverização ruim do combustível. Mesmo assim o motor tem um comportamento similar ao original, quando guiado moderadamente. Porém quando se busca uma conduta mais esportiva a relação peso/potência de 5,7kg/cv e a boa aerodinâmica do veículo satisfazem exigentes motoristas, com ótimas acelerações e retomadas. O conforto foi sacrificado pela recalibragem da suspensão, onde se buscou um maior compromisso com desempenho apesar do menor conforto. O veículo tem capacidade de ser utilizado no dia-a-dia, segundo o proprietário, mas é utilizado preferencialmente aos fins-de-semana devido ao alto consumo de combustível, o que também explica o descompromisso do proprietário com o conforto da suspensão.



Fig.55-Medição em dinamômetro de rolo fig.56-Pressurização e corpo de borboleta

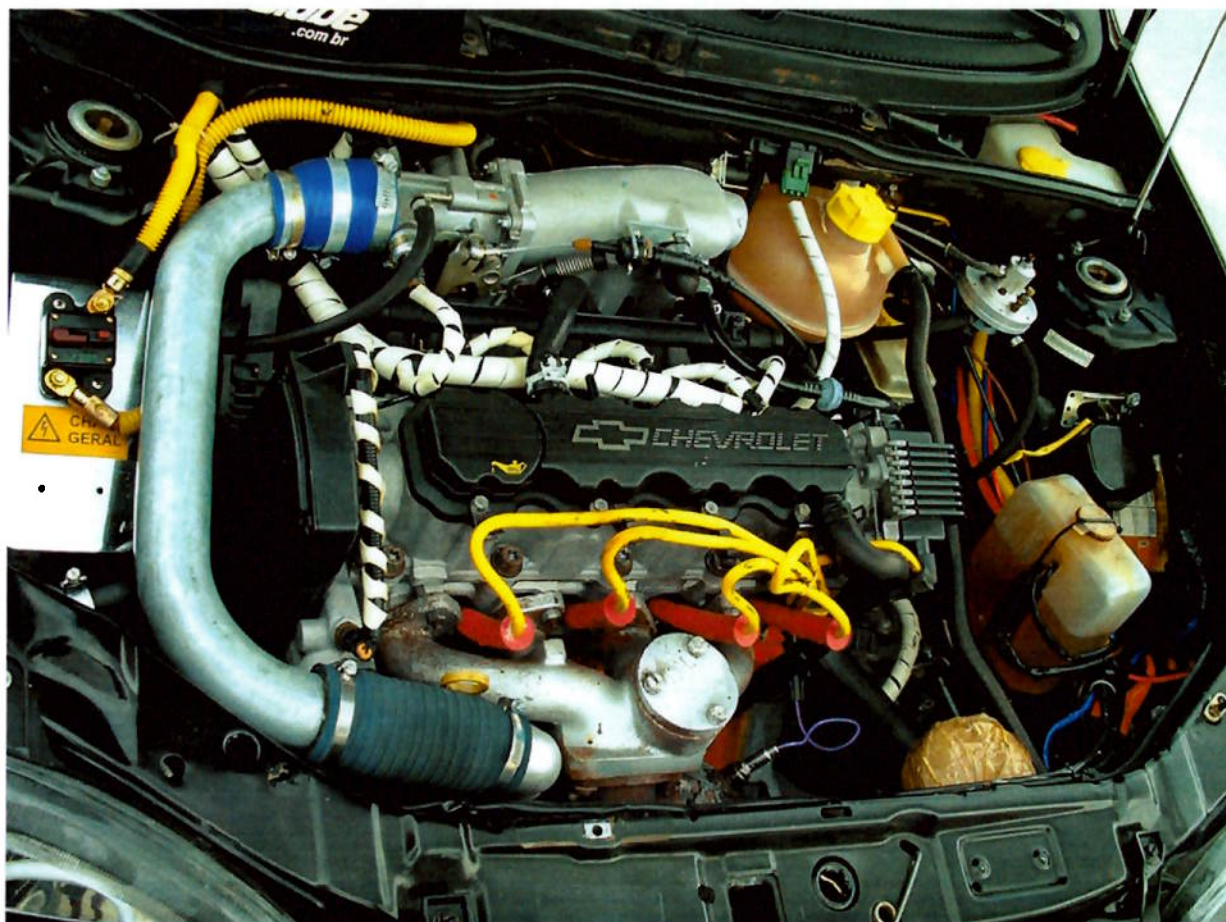


Fig.57-Motor GM Fam. I 1,6L 8v turbinado

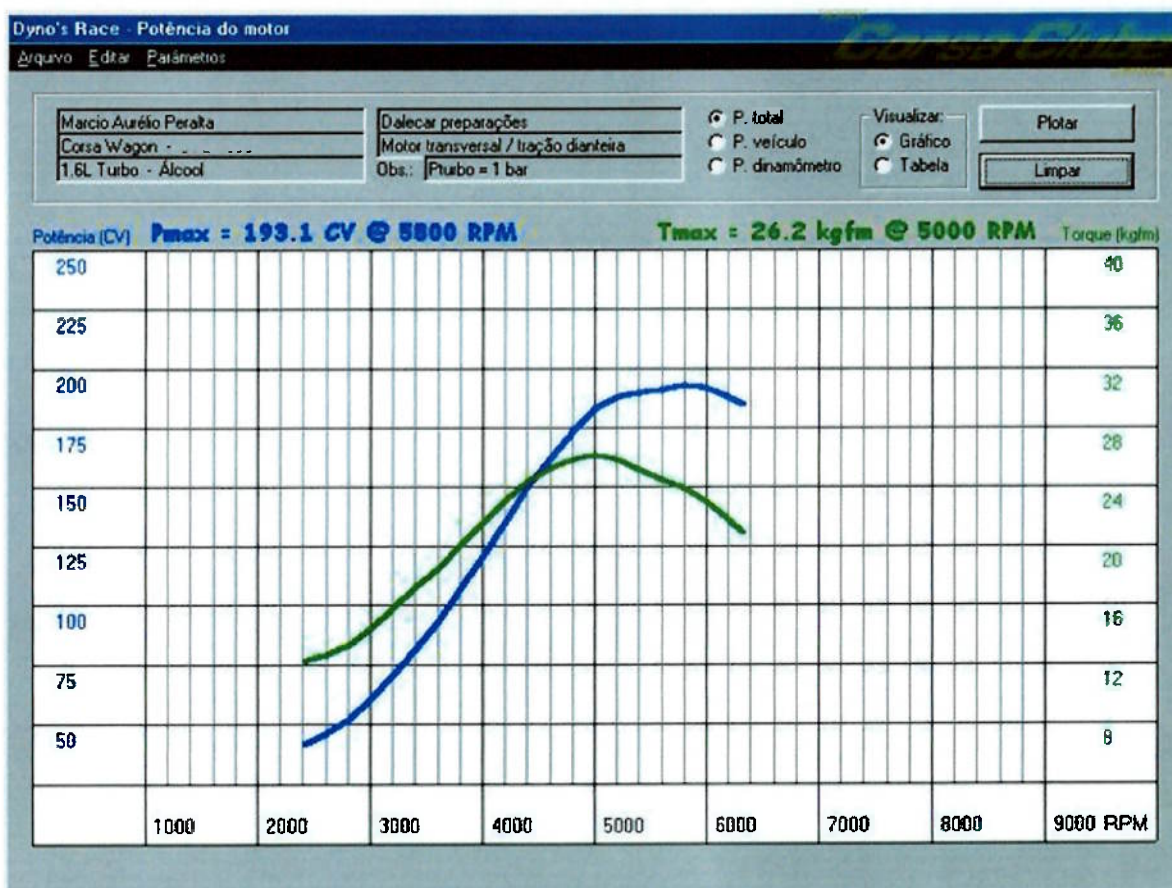


fig.58-Gráfico de Torque e Potência da corsa wagon verde 1,6L com 1,0bar



fig.59-Válvula de prioridade

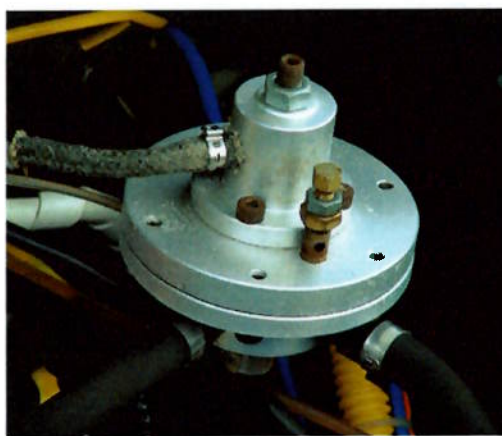


fig.60-Dosador HPi

Caso 06: GM Corsa Wind Preto ano 97 – 1,6L 8v injeção MPFI

Motor: GM Fam. I 1,6L original a gasolina

Potência no motor: 255cv @ 5000rpm (+177% em relação aos originais de 92cv)

Torque no motor: 376Nm @ 4800rpm (+184% em relação aos originais de 132Nm)

Quilometragem com turbo: +30mil km

Tempo com turbo: 5anos

Combustível: Álcool

Consumo cidade normal: 4 a 5 km/l

Consumo carga plena: 2 km

Comando de válvulas: original

Velas: NGK 7

Câmbio: Original do Vectra 2,0

Dosador: HPI

Pressão inicial da linha: 1,8bar

Pressão final da linha: 3,8bar

Bomba Elétrica: Original em série com uma do gol GTI

Pistão, biela, anel e bronzina: Original gasolina, com folgas originais

Cabeçote: Dutos, ângulo de válvulas e sedes, câmara de combustão retrabalhado e equalizados em fluxo, com troca de válvulas de admissão e escape maiores.

Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador

Bicos: Original do Astra 2,0 retrabalhado para maior vazão

Bico Extra: Sim

Gerenciador de bico extra: Módulo auxiliar tipo injeção analógica

Injeção Eletrônica: Original (para regime aspirado)

Sistema de trabalho: Aumento da pressão da linha de combustível, via dosador, junto a um módulo gerenciador de bico extra quando com pressão positiva

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 4 pastilhas e mola

Turbina: Mitsubishi original do MWM Sprint 4 cil (4.07TCE)

Pressão: 0,8bar

Desempenho 0-100km/h: Nunca medido

Impressão: Um veículo muito rápido, onde o excesso de torque pode ser perigoso para motoristas inexperientes. Com o retrabalho de fluxo no cabeçote, o veículo ganhou muito torque em médias e altas rotações, podendo facilmente destracionar as rodas do veículo quando em carga plena nas três primeiras marchas, podendo levar ao des controle do



fig.61-Corsa Wind 1,6L no dinamômetro

veículo. Uma preparação para motoristas muito exigentes, saindo fora do escopo deste projeto. Um detalhe interessante é que o veículo apresentou um vazamento de combustível antes das medições no dinamômetro. Ao se consertar o vazamento o veículo passou a ter excesso de combustível em altas rotações, gerando uma perda em altas rotações, como se pode ver na queda brusca de torque em altas rotações. Com um melhor ajuste se pode esperar mais 30cv @6500rpm, com o trabalho que foi efetuado no cabeçote. O carro tem um comportamento similar ao do original quando em baixas cargas, mas é muito elástico e rápido quando exigido, sem falhas ou engasgos, típico de um sistema de injeção eletrônica. O motor tem se apresentado durável, mas o proprietário pretende mudar as partes móveis por componentes mais resistentes e utilizar o veículo para competições. Atualmente o veículo é usado aos fins-de-semana devido ao consumo de combustível.

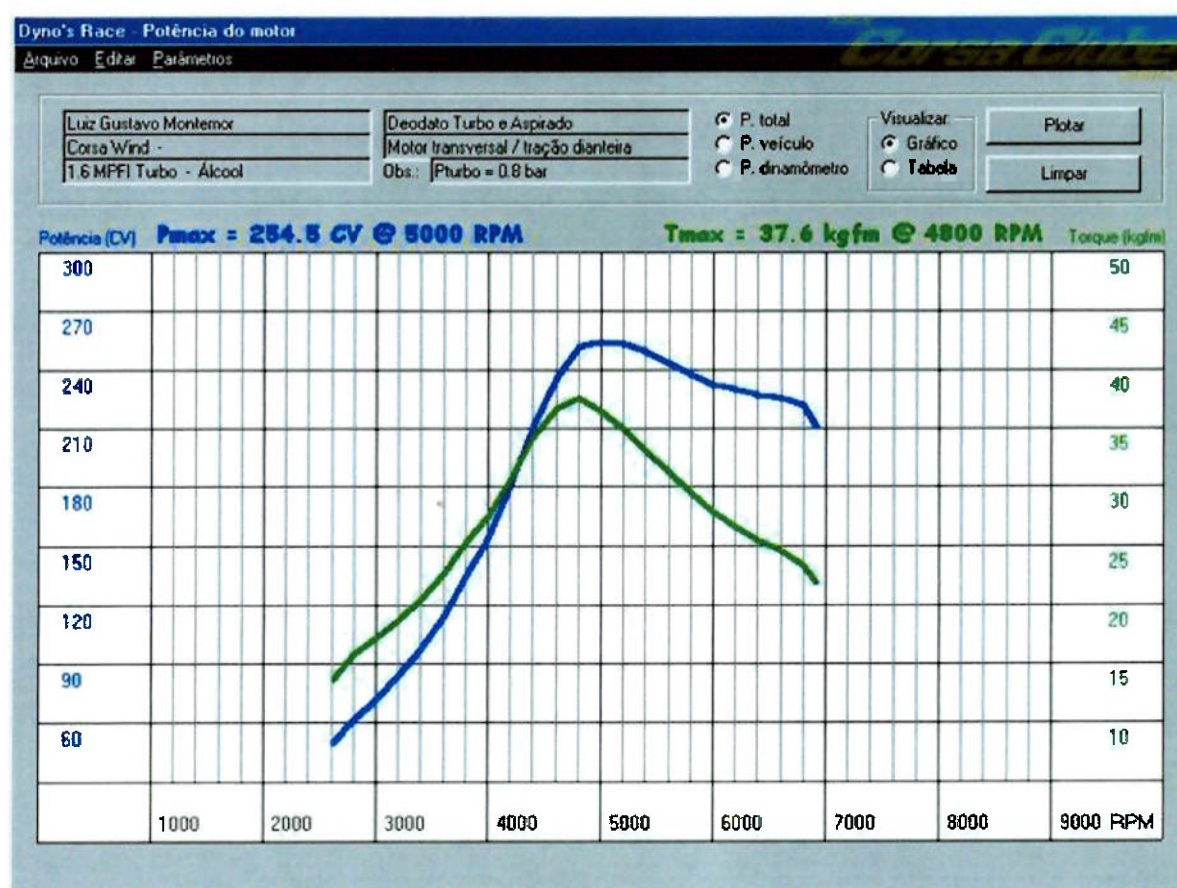


fig.62-Gráfico de Torque e Potência do corsa preto 1,6L com 0,8bar, cabeçote retrabalhado e módulo gerenciador de bico extra

Caso 07: VW Gol GL Branco ano 88 – 1,8L 8v carburador 2E

Motor: VW AP 1,8L std carburado a gasolina

Comando de válvulas: 49G

Carburador: Solex 2E, 21/25mm (base VW)

Pistão, biela, anel e bronzina: Original gasolina injetado (taxa 10,5:1), com folgas originais

Tempo com turbo: + 2 anos

Combustível: Álcool

Consumo cidade/estrada: 4 a 6 / 5 a 7 km/l

Consumo a plena carga: 1 a 3 km/l

Cabeçote: Original

Velas: Original da RD350

Câmbio: Original longo

Bobina: Original gol Mi

Cabos: Accel 8,8mm

Bomba Elétrica: Original do gol GTI

Escape: Tubos de 2 ½ pol com 1 abafador

Embreagem: Pastilhas de cerâmica (sinterizado) com 4 pastilhas e platô de 900lb

Turbina: Garrett com A/R 0,63 parte quente e A/R 0,48 parte fria. Rotores não divulgados

Pressão: 2bar

Desempenho 0-100km/h: 6,5s

Desempenho 0-402m: 13s

Impressão: Um carro extremamente rápido. Utiliza-se muita pressão para gerar uma alta potência. Com uma alta taxa de compressão e uma turbina de proporções generosas, este carro é muito potente, sendo uma pena nunca ter passado por um dinamômetro. A dirigibilidade é fraca devido ao excesso de combustível necessário ao funcionamento do carburador e o ponto atrasado quando não se encontra pressurizado. O carro falha até o motor estar quente e também falha se o acelerador não for dosado, mas para um motorista experiente o carro é muito rápido devido à resposta imediata do carburador. Devido ao grande cuidado do proprietário o veículo só teve um junta de amianto queimada em dois anos de uso, mas a combinação de uma alta taxa de compressão com uma alta pressão é totalmente desaconselhável devido às grandes chances de pré-ignição e quebra do motor. Porém o uso da alta taxa de compressão (10,5:1 em um motor



fig.63-Gol Branco 1,8 GL ano 88

turbinado) faz o veículo ter fôlego mesmo quando o turbocompressor não está pressurizando, fazendo o veículo conforme dito anteriormente extremamente rápido. Devido a alterações no sistema de suspensão e freio o veículo tem um bom comportamento dinâmico, mas acima de 220km/h torna-se muito instável e a estrutura do veículo se mostra inadequada para o uso sob tais condições.



Fig.65-Motor VW 1,8L 8v turbinado



fig.64-Relógio de pressão de combustível, hallmeter e pressão de óleo.

Bibliografia

1. Van Wylen, 1998, "Fundamentos da Termodinâmica" – Tradução: Prof. Dr. Euryale Zerbini (co-orientador deste trabalho).
2. Brunetti, Franco, 1992, "Motores de Combustão Interna"
3. Hildebrand Junior, Leônidas, 1998, São Carlos, "Análise do desempenho de um motor de ciclo Otto com injeção direta de álcool etílico hidratado pré-aquecido", Tese de Mestrado EESC
4. Taylor, Charles Fayette, 1971, "Internal combustion engine in theory and practice"
5. Site: www.cronomac.com.br
6. Site: www.geracaoturbo.com.br
7. Site: www.masterpower.com.br
8. Site: www.dinamicabombas.com.br
9. Site: www.thomson-net.com.br
10. Site: www.mahle.com.br
11. Site: www.bosch.com.br
12. Site : www.turbodrive.com/pt/
13. Site: www.turbonetics.com
14. Site: www.corsaclub.com.br
15. Site: www.garrett.com.br
16. Site: www.autopower.com.br
17. Site: www.revistafullpower.com.br
18. Periódico: Revista Mensal AUTOPOWER, diversas edições, Ed. ACE, Paraná
19. Periódico: Revista Mensal FULLPOWER, diversas edições, B7 Editora, São Paulo

Anexo

Visitas a empresas e preparadoras

Gostaria de agradecer a todos que me auxiliaram na realização deste estudo. Assim citarei algumas empresas e preparadoras de motores que me auxiliaram e me deram suporte técnico para a elaboração deste trabalho.

- Empresas:

1. **MAHLE Metal Leve:** Possibilitou acesso a uma vasta gama de informações sobre motores, seja na unidade Sto Amaro, junto ao Centro Tecnológico, ou em fábricas como em São Bernardo, passando por testes até dimensionamentos, gerando uma base sólida de conhecimento, garantindo uma estrutura a este estudo.
2. **Garrett do Brasil:** Me receberam na fabrica, em Garulhos, e auxiliaram com informações sobre o funcionamento, operação, fabricação e outros aspectos do turbocompressor.
3. **Bosch do Brasil:** Me auxiliaram com o funcionamento e operação de bicos injetores e bombas elétricas de combustível.
4. **Ancona Racing:** Me auxiliou com informações sobre o kit turbo, desde fabricação até utilização e venda. Com sua loja no Brooklin concedeu valiosas informações sobre usos e aplicações tanto em veículos nacionais quanto importados.
5. **Displatec:** Concedeu material de apoio e suporte sobre embreagem de pastilhas de cerâmica sinterizada, nos quesitos de dimensionamento, usos e aplicações e durabilidade.
6. **Luk embreagens:** Através de palestra ministrada na MAHLE Metal Leve concedeu informações importantes sobre dimensionamento e aplicações de embreagens de lona.

- Preparadoras

7. **Iost Riedel Competições:** Um agradecimento especial ao Sr. Iost e seu filho pelo auxílio em nas diversas dúvidas e questionamentos sobre o tema, que possibilitou a conclusão deste estudo.