

2736018

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROJETO MECÂNICO

REGULADORES DE ROTAÇÃO PARA BOMBAS INJETORAS EM LINHA

Autor: Valmir Demarchi

Orientador: Prof. Oswaldo Garcia

1984

SUMÁRIO

Este trabalho trata especificamente dos reguladores de rotação para bombas injetoras em linha, dando-se uma maior ênfase aos reguladores utilizados em veículos. Para que o leitor compreenda a aplicação dos reguladores, inicialmente é feita uma descrição do funcionamento da bomba injetora. A seguir, são descritos, com detalhes, os diversos tipos de reguladores com aplicações veiculares. São apresentados, também, os princípios de cálculo de reguladores centrífugos, de uma forma ampla. Desta maneira, o leitor poderá adaptar o cálculo para o tipo de regulador que tiver em mente. Finalmente, um capítulo sobre detalhes construtivos dos regulares permite a conclusão do estudo sobre reguladores.

ÍNDICE

## CAPÍTULO I - Sistema de Injeção de Combustível por Bomba Individual (Bomba Bosch)

1.1 - Introdução	01
1.2 - Princípio de funcionamento	02
1.3 - Elemento da bomba injetora	04
1.4 - Regulagem do débito de combustível	07
1.5 - Funcionamento da válvula de pressão	09
1.6 - Outros modelos de bombas	10

## CAPÍTULO II - Reguladores de Rotação - Generalidades

2.1 - Introdução	11
2.2 - Definições	13
2.3 - Funções do regulador de rotação	15
2.4 - Aproximação	18
2.5 - Tipos de reguladores	19

## CAPÍTULO III - Reguladores Centrífugos

3.1 - Introdução	24
3.2 - Reguladores centrífugos do tipo RQ	25
3.3 - Reguladores centrífugos do tipo RS	39

## CAPÍTULO IV - Reguladores Pneumáticos

4.1 - Introdução	48
4.2 - Descrição do funcionamento	49

	IV
4.3 - Variações construtivas	51
4.4 - Aproximação	52
CAPÍTULO V - Princípios de Cálculo para Reguladores Centrífugos	
5.1 - Introdução	53
5.2 - Condições de equilíbrio de um regulador centrífugo	53
5.3 - Energia de regulação e grau de insensibilidade	55
5.4 - Escolha das dimensões do regulador	56
5.5 - As curvas de força	57
CAPÍTULO VI - Detalhes Construtivos	
6.1 - Introdução	61
6.2 - Encostos da alavanca de comando	61
6.3 - Encostos da haste de regulação	62
BIBLIOGRAFIA	73

## CAPÍTULO I - SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL POR BOMBA INDIVIDUAL (BOMBA BOSCH)

### 1.1 - Introdução

Um sistema de injeção para Motores Diesel deve satisfazer a alguns requisitos fundamentais, a saber:

- injetar a quantidade de combustível necessitada pelo motor sob uma determinada condição de carga;
- manter a quantidade injetada constante para os consecutivos ciclos de injeção e para os diferentes cilindros' do motor;
- injetar o combustível no momento exato, para toda a gama de velocidades do motor;
- injetar o combustível na velocidade desejada;
- atomizar o combustível para facilitar a sua mistura ao ar;
- distribuir o combustível por toda a câmara de combustão;
- não permitir que haja gotejamento na câmara de combustão, ou seja, a injeção deve ter um início e um término bem definidos.

Atualmente temos três sistemas de injeção de combustível diferentes:

- Sistema de bomba individual

Temos um dosificador e uma bomba compressora separados' para cada cilindro do motor.

- Sistema distribuidor

Temos uma única bomba para medir e comprimir o combustíl

vel e um sistema que distribui o combustível sob pressão aos vários cilindros.

- Sistema de conduto comum

Constituído de uma única bomba para comprimir o combustível e de um elemento dosificador para cada cilindro.

Todos esses sistemas apresentam uma bomba de transferência de baixa pressão cuja função é alimentar o sistema de alta pressão com o combustível proveniente do reservatório. Nas tubulações entre o reservatório e a bomba de transferência são instalados filtros para eliminar as impurezas que possam estar presentes no combustível e que acarretariam o desgaste rápido das peças com as quais entra em contato.

Num estudo completo de um sistema de injeção, deveríamos analisar também os bicos injetores empregados. No entanto, estes elementos fogem ao escopo deste trabalho.

Passaremos agora a analisar o sistema de injeção por bomba individual (Bomba Bosch) por se tratar do sistema de injeção relacionado ao assunto deste trabalho.

## 1.2 - Princípio de Funcionamento

Consideramos a bomba injetora Bosch do tipo PE, na qual o número de elementos (conjunto de pistão e cilindro para dosar e comprimir o combustível) corresponde ao número de cilindros do motor.

Na figura 1.1 temos um corte desta bomba injetora.

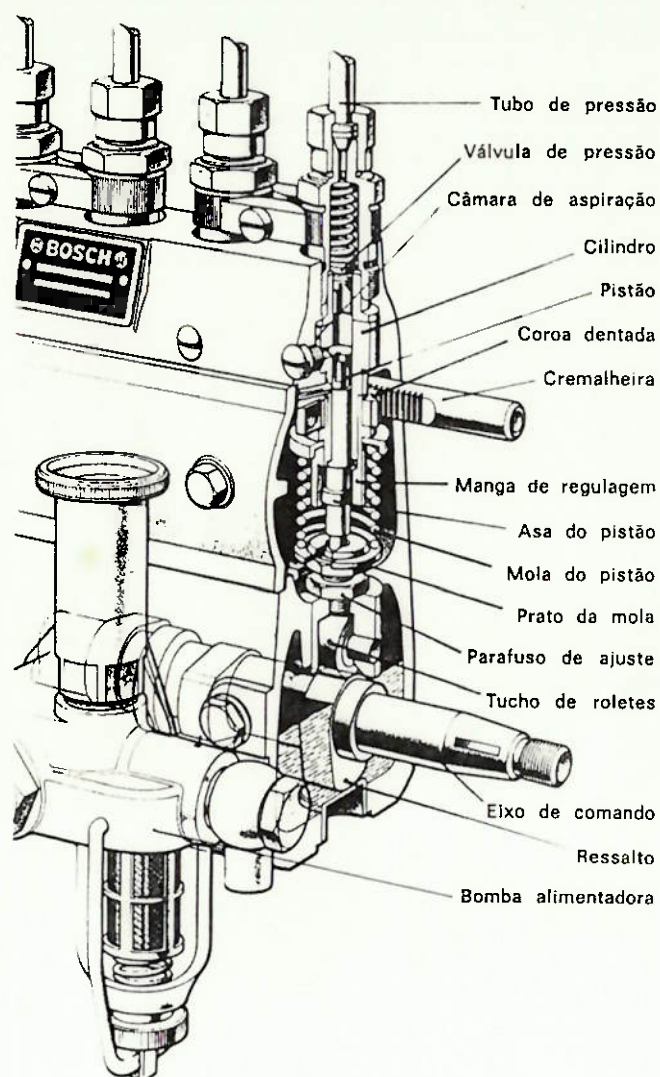


Figura 1.1 - Bomba Injetora Bosch do tipo PE

A bomba de transferência ou bomba alimentadora aspira o combustível do reservatório através de filtros e o pressiona à câmara de aspiração da bomba injetora. O pistão da bomba, acionado pelo eixo de comando, é o responsável pela dosificação e compressão do combustível através da válvula de pressão e tubu

lação de pressão até o bico injetor. Ao término do curso de pressão, a válvula de pressão se fecha sob a ação de sua mola, fechando o tubo de pressão. Pelo movimento do eixo de comando e ação da mola do pistão, o pistão retorna à sua posição inicial e o ciclo recomeça.

Descreveremos, a seguir, os componentes da bomba e os processos que nela ocorrem, o que permitirá uma melhor compreensão de seu funcionamento.

### 1.3 - Elemento da bomba injetora

Conforme dito anteriormente, cada elemento se constitui num conjunto de um pistão e um cilindro. A vedação entre ambos é conseguida através de um acabamento superficial excelente e de um ajuste preciso, apresentando uma folga muito pequena entre ambos (da ordem de milésimos de milímetro).

Podemos ter elementos chamados elementos de um só furo ou elementos de dois furos.

No caso do elemento de um só furo (Figura 1.2), o cilindro apresenta apenas um orifício lateral, que faz a ligação da câmara de aspiração com a câmara de pressão, e o pistão possui um orifício longitudinal e uma ranhura oblíqua fresada externamente.

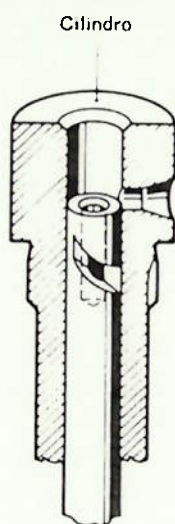


Figura 1.2 - Elemento de um só furo

O cilindro do elemento de dois furos (Figura 1.3) apresenta dois orifícios diametralmente opostos que fazem a ligação entre a câmara de aspiração e a câmara de pressão. Um destes orifícios é denominado orifício de entrada, e o outro, orifício de comando.

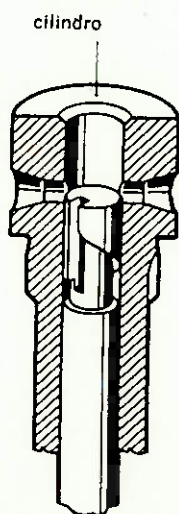


Figura 1.3 - Elemento de dois furos

Neste caso o pistão possui uma ranhura longitudinal reta e uma em hélice, ambas fresadas no diâmetro externo.

As figuras 1.4 e 1.5 nos auxiliarão na compreensão do mecanismo de compressão do combustível, que será explicado a seguir.

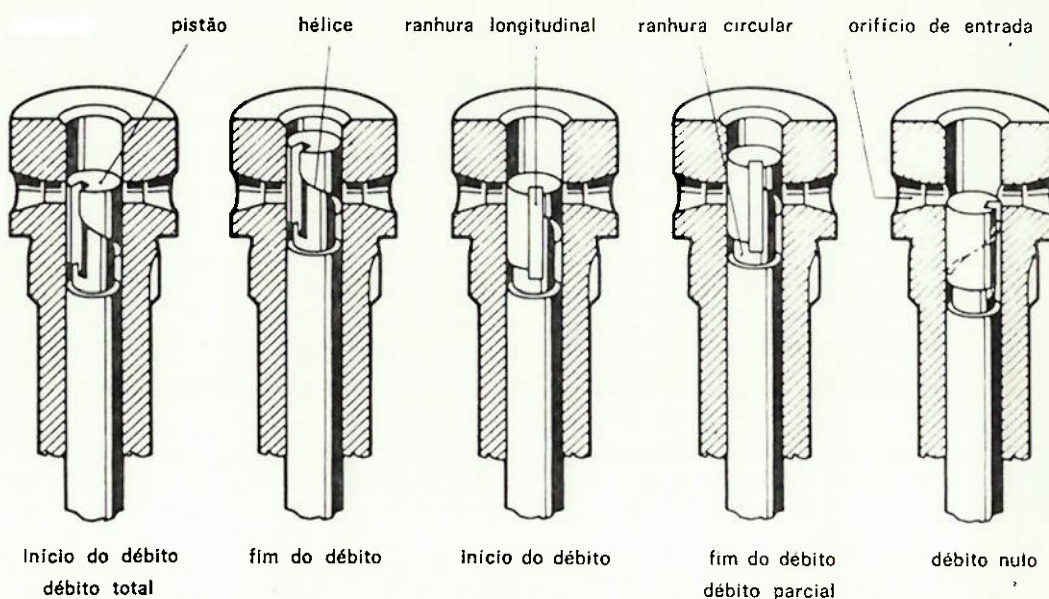


Figura 1.4 - Operação de um elemento de dois furos

Quando o pistão se encontrar na sua posição mais baixa, o combustível proveniente da câmara de aspiração preencherá o espaço acima do pistão (câmara de pressão), passando pelos orifícios existentes no cilindro. Ao se elevar, acionado pelo eixo de comando, o pistão fechará os orifícios do cilindro e enviará o combustível para o tubo de pressão através da válvula de pressão. Quando a hélice de comando (ranhura em hélice) e o furo de comando coincidirem, haverá o retorno do combustível da câmara de pressão para a câmara de aspiração (através do orifício longitudinal e ranhura oblíqua para o caso de elemento de um só furo ou através da ranhura longitudinal e em hélice para o caso de elemento de dois furos) e a válvula de pressão

se fechará sob ação de sua mola, determinando o fim do débito.

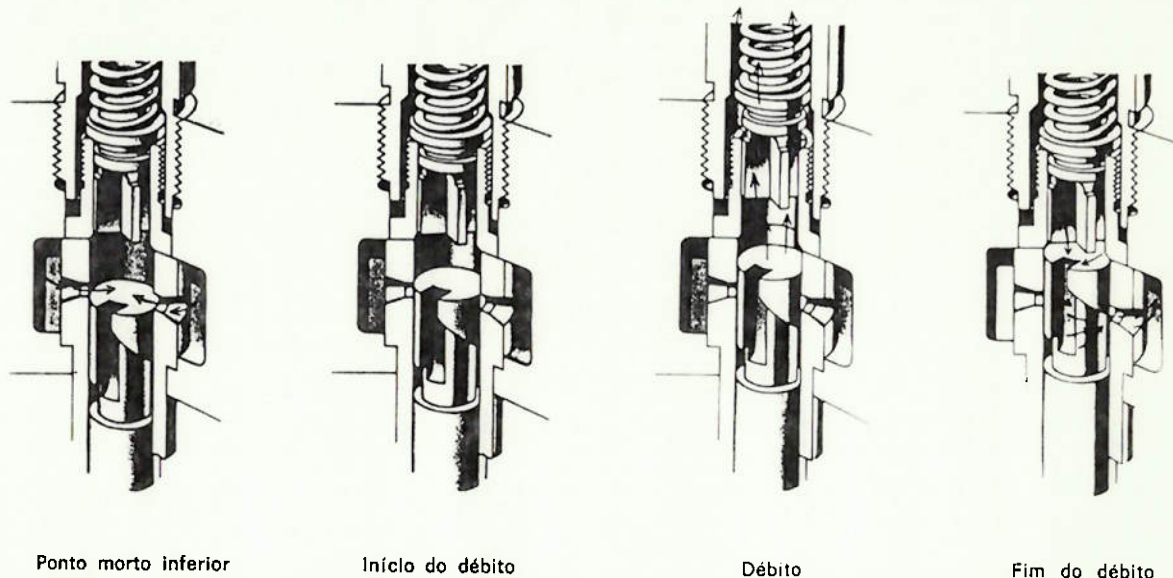


Figura 1.5 - Compressão do Combustível

#### 1.4 - Regulagem do débito de combustível

Sabemos que o fim do débito é determinado pela coincidência da hélice de comando com o orifício de comando. Desta forma, se girarmos o pistão teremos uma variação do curso útil do mesmo. Quando a ranhura longitudinal coincide com o orifício de comando, temos o débito nulo. A partir desta posição, pelo giro do pistão, podemos atingir a posição de débito máximo ou posições intermediárias.

Podemos ver pela figura 1.1 que a manga de regulagem, na qual desliza a asa do pistão, existe uma coroa dentada que é acionada por uma cremalheira. Por meio desta cremalheira, podemos, durante o funcionamento do motor, alterar o curso útil de todos os elementos da bomba ao mesmo tempo, desde a posição de débito nulo até um máximo (Figura 1.6).

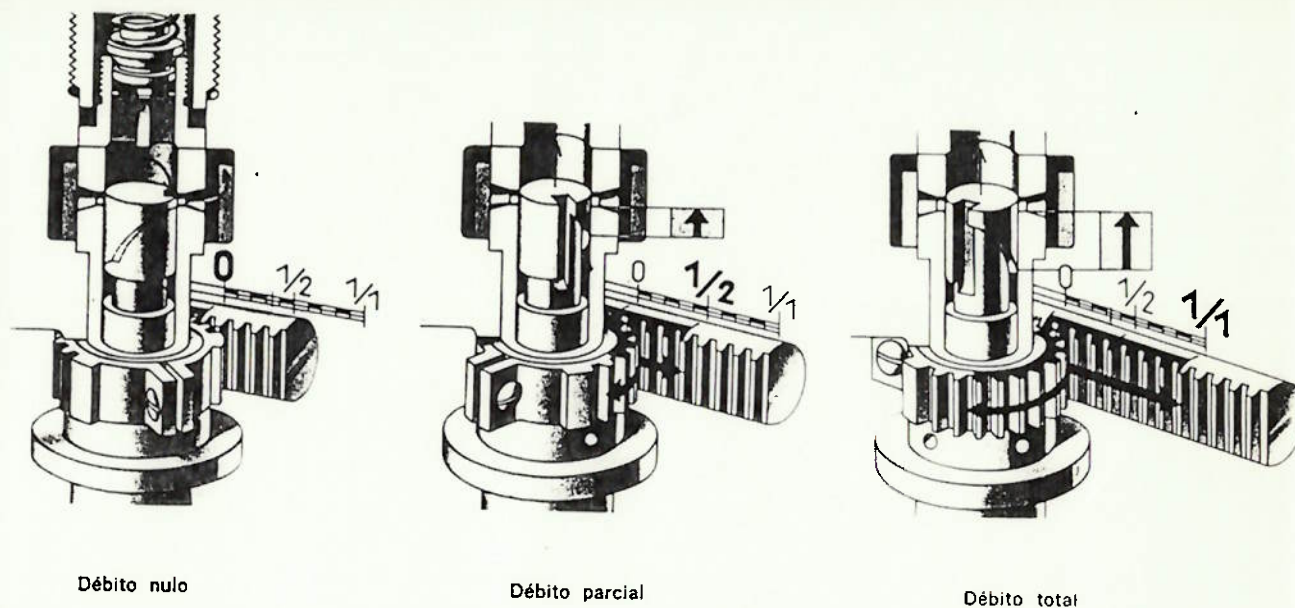


Figura 1.6 - Regulagem do Débito

A inscrição "stop" e a seta na cremalheira indicam a direção para a qual a cremalheira deve ser deslocada para diminuir o débito até o débito nulo. A cremalheira é ligada ao regulador de velocidades através de uma forquilha e tirante para evitar a transmissão de esforços laterais e de torção que provocariam o engripamento da cremalheira ou um movimento não uniforme.

Existem ainda pistões que possuem um rebaixo na sua parte superior que provoca um início de débito de 5 a 10° após o início normal. Isto se deve à necessidade apresentada por alguns motores Diesel em ter a injeção um pouco retardada durante a partida. Quando o motor entra em regime, a cremalheira retorna os pistões para a posição normal de funcionamento.

### 1.5 - Funcionamento da válvula de pressão

Ao final do débito, a pressão no elemento da bomba cai devido à abertura da comunicação entre a câmara de pressão e a câmara de aspiração. Isto provoca o fechamento da válvula de pressão pela ação de sua mola e pela maior pressão no tubo de pressão. Assim, o tubo de pressão é fechado até o início de um novo ciclo.

Outra função da válvula de pressão é a de aliviar o tubo de pressão, o que permite um fechamento rápido do bico injetor evitando o gotejamento de combustível. O êmbolo da válvula de pressão trabalha dentro de uma peça denominada porta-válvula. No fechamento da válvula, o colarinho (Figura 1.7) é a primeira parte do êmbolo a entrar em contato com o porta-válvula, promovendo o fechamento do tubo de pressão.

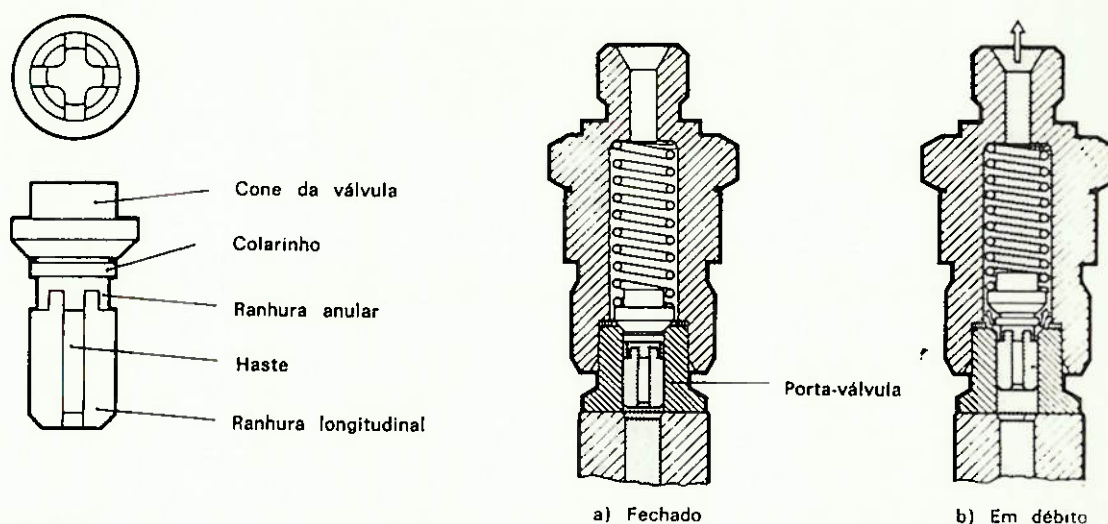


Figura 1.7 - Êmbolo da Válvula de Pressão

Quando o cone da válvula entra em sua sede, o volume disponível pelo combustível no tubo de pressão é aumentado e o a-

lívio da tubulação é obtido.

#### 1.6 - Outros modelos de bombas

Existem outros modelos de bombas individuais que diferem daquele apresentado quanto a detalhes construtivos.

A bomba injetora tipo PES-M, por exemplo, não possui uma coroa dentada para regulagem do débito, mas apresenta um pino ligado à manga de regulagem através do qual podemos girar o pistão. No lugar da cremalheira, temos uma haste de regulagem com peças de comando (deslocáveis, para ajuste) que acionam estes pinos. O pistão não possui o parafuso de ajuste do início do débito é feito através de roletes de vários diâmetros.

As bombas injetoras tipo PE-P e PES-P possuem elemento, válvula de pressão e porta-válvula constituindo uma unidade fechada numa bucha-flange. O ajuste do início do débito se faz por meio de arruelas colocadas sob a bucha-flange. A haste de regulagem é em forma de cantoneira com fendas nas quais se encaixam pinos fixos nas mangas de regulagem.

Temos ainda a bomba injetora tipo PESV8P que possui duas linhas de elementos em V formando um ângulo de 75° entre eles, o que resulta numa bomba compacta. As hastes de regulagem das duas linhas são interligadas.

As bombas injetoras do tipo PF não possuem eixo de comando, sendo que este deve ser previsto pelo fabricante do motor. São fixadas ao motor por meio de um flange.

## CAPÍTULO II - REGULADORES DE ROTAÇÃO - GENERALIDADES

### 2.1 - Introdução

Se um motor deve ser operado a uma velocidade definida, ' ou dentro de uma faixa de velocidades definida, um dispositivo é necessário para controlar a quantidade de combustível injetada de acordo com a carga do motor. Este dispositivo é chamado de regulador de rotações ou governador. Ao examinarmos as funções e a ação do regulador, devemos tê-lo em mente como uma parte do motor.

Se um motor está funcionando a uma determinada velocidade submetido a uma certa carga, a bomba injetora envia para cada cilindro uma quantia fixa de combustível em cada injeção. Se a carga aplicada ao motor diminuir, esta quantidade fixa de combustível gerará uma potência maior do que a exigida pela nova carga. A diferença entre a energia liberada pelo combustível e a energia exigida pela nova carga (menor que a anterior) fará com que o motor aumente sua velocidade e esta diferença de energia é armazenada, como energia cinética, no volante, que passa a girar mais rapidamente. Quanto maior for o volante, menor se rá o aumento da velocidade do motor em relação ao tempo, para uma certa queda da carga aplicada. Desta forma, o motor irá au mentar sua rotação até que os atritos internos e a carga aplicada equilibrem a energia produzida pela queima do combustível. No entanto, este equilíbrio, em muitos casos, não é atingido a uma rotação compatível com o projeto do motor, o que faz com que o motor "dispare" e se auto-destrua.

Por outro lado, se aumentarmos a carga aplicada ao motor, a quantidade de combustível que estiver sendo injetada não gerará potência suficiente e a carga adicional será momentaneamente carregada pela energia armazenada no volante, causando uma queda de rotação do motor. A queda de rotação será diretamente proporcional ao aumento de carga e inversamente proporcional ao tamanho do volante até que o toque necessário no eixo para mover a carga seja igual ao torque desenvolvido pelo motor. Este equilíbrio ocorrerá quando a carga não for diretamente proporcional à velocidade do motor. Se a carga for diretamente proporcional à velocidade do motor, não haverá diminuição no torque necessário e o motor, não sendo capaz de desenvolver este torque, parará.

Esta condição se deve às características básicas do motor Diesel. Para uma certa posição do controle da bomba, a mesma enviará para cada cilindro uma quantidade fixa de combustível em cada ciclo de injeção. A queima desta quantidade colocará um certo torque disponível no eixo do motor, praticamente independente da velocidade do motor. Assim, praticamente qualquer mudança no equilíbrio entre a quantidade de combustível injetada por ciclo e o torque necessário para movimentar a carga resultará no "disparo" do motor ou na sua parada.

Mesmo que o controle da quantidade de combustível injetado seja feito de forma manual, as variações de carga provocarão grandes variações de velocidade, o que justifica o emprego de um regulador para controlar, automaticamente, a quantidade de combustível injetada.

## 2.2 - Definições

Alguns termos são empregados no estudo dos reguladores de rotações. Temos, a seguir o significado destes termos.

- Sensibilidade: É a menor mudança na rotação, expressa em porcentagem da rotação regulada, à qual o regulador responderá produzindo um movimento no mecanismo de controle de combustível. Varia de 0,25% para os melhores reguladores mecânicos a 0,01% para reguladores hidráulicos.
- Estabilidade: É a habilidade de manter uma rotação definida sob constantes ou variáveis condições de carga com um mínimo de falsos movimentos de correção após uma mudança na rotação.
- Flutuação: É uma condição de regulagem imprópria da rotação que resulta numa variação senoidal da rotação do motor ao redor de um valor médio. Resulta da resposta do regulador fora de fase com o sinal de realimentação.
- Grau "P" ou grau de irregularidade:

A cada rotação do motor corresponde um determinado torque máximo. Se mantivermos a alavanca de comando em posição inalterada e aliviarmos a carga do motor, a rotação no âmbito de regulagem somente poderá aumentar de um certo valor determinado pelo fabricante do motor (por exemplo, de  $n_v =$  rotação com plena carga para  $n_l =$  rotação sem carga). O aumento da ro

tação é proporcional à alteração da carga, ou seja, o aumento é tanto maior quanto maior for o alívio da carga aplicada ao motor. Define-se, assim, o grau proporcional ou "grau P" do regulador, em geral relacionado à rotação superior com plena carga, dado por:

$$\delta = \frac{\eta_{l_0} - \eta_{v_0}}{\eta_{v_0}} \cdot 100\%$$

onde:  $\delta$  (delta) = grau P

$\eta_{l_0}$  = rotação superior sem carga

$\eta_{v_0}$  = rotação superior com plena carga

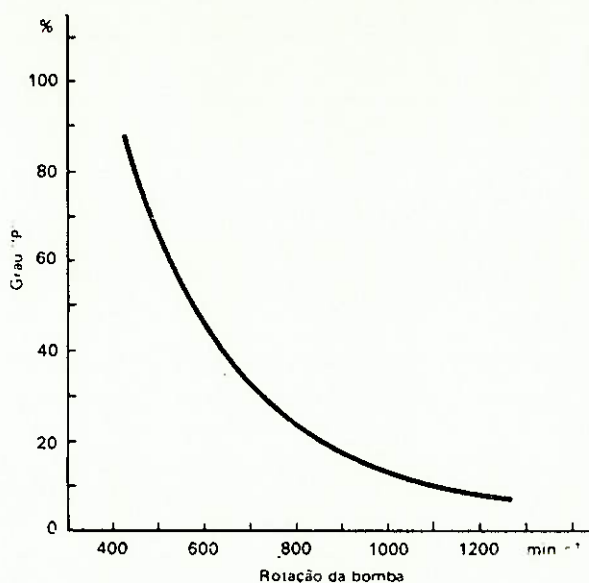


Figura 2.1 - Variação do Grau P para um regulador do tipo RQV

Conforme podemos ver pela Figura 2.1, no regime de baixas rotações o grau P é mais elevado do que no de altas rotações atingindo seu valor máximo no âmbito de marcha lenta.

Em geral, é possível obter-se através de um grau P maior, um comportamento mais estável de todo o sistema de regulação

(regulador, motor e máquina acionada). Porém, o grau P é limitado pelas condições de serviço:

- de 2 a 5% para grupos geradores
- de 6 a 10% para veículos
- de 10 a 15% para dragas com volante acumulador de energia

A Figura 2.2 nos auxilia a compreender melhor o significado do grau P.

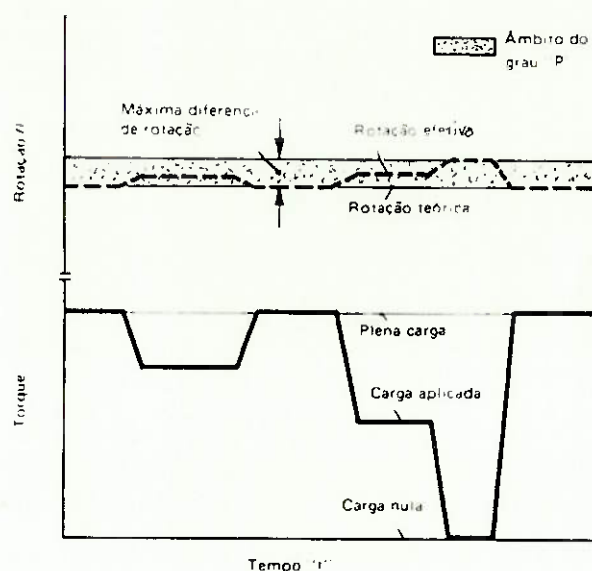


Figura 2.2 - Influência do Grau P sobre a rotação efetiva para variação da carga aplicada

### 2.3 - Funções do Regulador de Rotação

Todos os reguladores têm como função básica a limitação da rotação máxima. No entanto, de acordo com o tipo do regulador, ele pode ter outras funções, como veremos. Os tipos de regulagens efetuadas por um regulador são:

#### a) Regulagem da rotação máxima

A rotação superior com carga ( $n_{v_0}$ ) poderá, em caso de alívio da carga e segundo o grau P admissível, alcançar, no

máximo, a rotação  $n_0$  (rotação superior sem carga). Para isto, o regulador deslocará a haste de regulagem em direção a "stop", diminuindo a quantidade de combustível injetada (Figura 2.3).

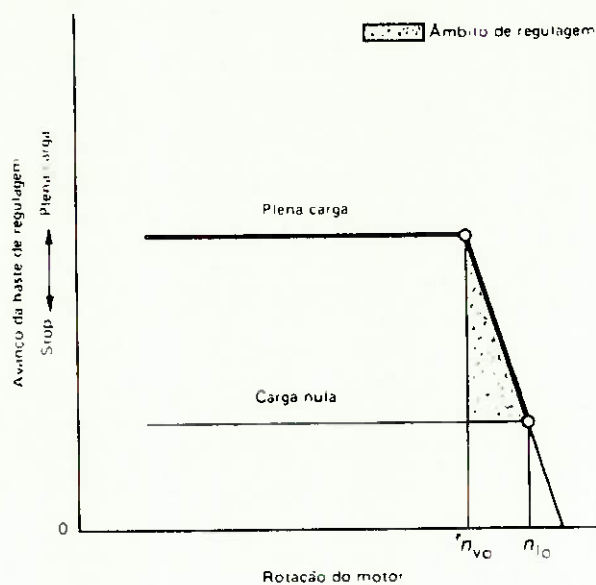


Figura 2.3 - Regulagem da Rotação Máxima

O âmbito compreendido entre  $n_{vc}$  e  $n_0$  é chamado "regulação da rotação máxima". O aumento de  $n_{vc}$  para  $n_0$  é tanto maior quanto maior for o grau P.

#### b) Regulagem de rotação intermediárias

O regulador poderá, dentro de certos limites, manter constantes determinadas rotações entre a rotação de marcha lenta e a rotação máxima (por exemplo, em veículos automotores com acionamento secundário) (Figura 2.4).

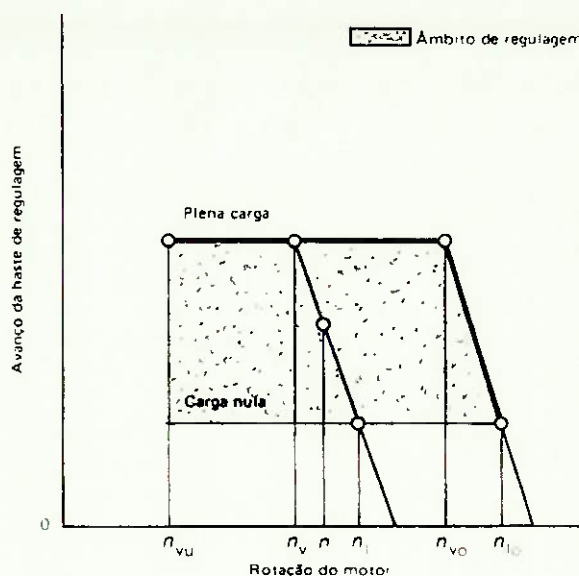


Figura 2.4 - Regulagem de Rotação Intermediária  
(Regulador variável)

A rotação  $n$ , segundo a carga aplicada, irá oscilar dentro do âmbito de potência do motor, apenas entre  $n_v$  (em caso de rotação com plena carga) e  $n_l$  (em caso de motor sem carga)

c) Regulagem da marcha lenta

Quando, após a partida do motor Diesel frio, a haste de regulagem voltar da posição de partida para a posição B (Figura 2.5), a resistência de atrito do motor ainda é relativamente alta. Para manter o motor em funcionamento, é necessária uma quantidade maior de combustível e a rotação é mais baixa do que o valor correspondente ao ponto de ajuste da marcha lenta L. Após a redução do atrito, durante o aquecimento do motor, a rotação aumentará e a haste de regulagem retornará para L, onde é atingida a rotação de marcha lenta para o motor quente.

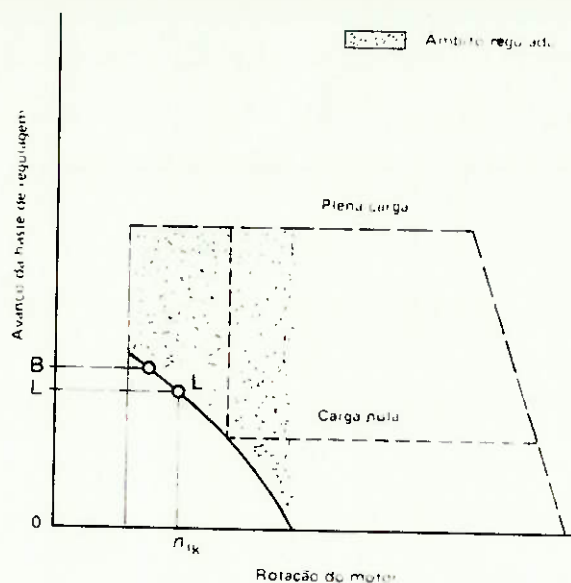


Figura 2.5 - Regulagem da Marcha Lenta

#### 2.4 - Aproximação

A aproximação não é propriamente uma regulagem, mas trata-se de uma função de comando do regulador. Atua-se no débito de plena carga, sendo injetado o maior volume de combustível que é queimado sem desprendimento de fumaça.

A necessidade de combustível em motores Diesel não turbina-dos geralmente diminui à medida que aumenta a rotação. O débito da bomba injetora aumenta com o aumento da rotação, provocando excesso de combustível e conseqüente formação de fumaça e superaquecimento.

A Figura 2.6 nos mostra a aproximação entre a necessidade de combustível e o débito.

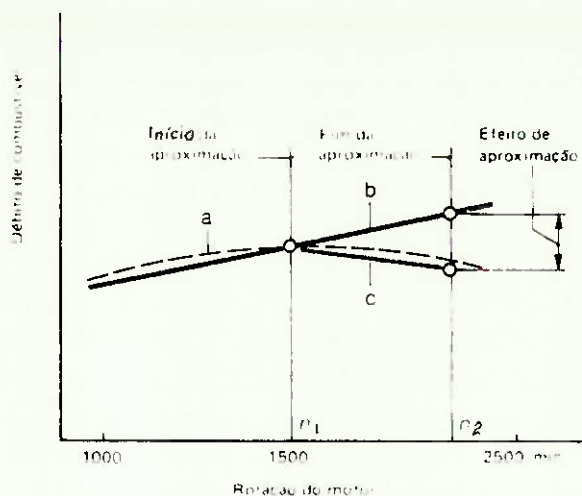


Figura 2.6 - Aproximação a) Necessidade de Combustível  
 b) Débito plena carga sem aproximação  
 c) Débito plena carga com aproximação

Em reguladores com aproximação, a haste de regulagem, no âmbito de aproximação, é deslocada pelo curso de aproximação em direção a "stop". À medida que aumentar a rotação (de  $n_1$  para  $n_2$ ), diminuirá o débito (aproximação positiva ou aproximação no sentido de regulagem).

Para motores Diesel com turbo-compressor, a necessidade de combustível, para rotações mais baixas, será maior que a quantidade normalmente fornecida pela bomba àquela rotação. Torna-se necessária, então, uma aproximação negativa, ou seja, maior aumento do débito para um aumento na rotação.

## 2.5 - Tipos de Reguladores

### 2.5.1 - Reguladores de Rotação Máxima

São empregados em motores destinados ao acionamento de máquinas (por exemplo, geradores elétricos) em regime de rotação

nominal onde apenas necessitamos manter constante a rotação máxima, não havendo necessidade de regular a marcha lenta ou o débito de partida. Se houver uma diminuição na carga aplicada e a rotação nominal for ultrapassada, o regulador moverá a haste de regulagem em direção a "stop" e diminuirá o débito.

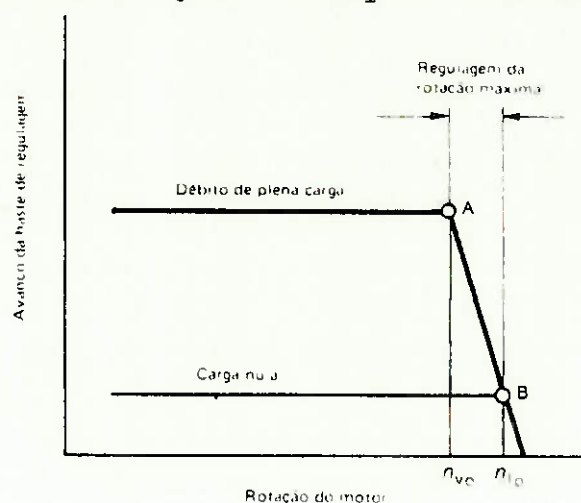


Figura 2.7 - Regulador de Rotação Máxima

Conforme Figura 2.7, o aumento de rotação segue a linha A-B, cuja inclinação é determinada pelo grau "P" do regulador.

No caso particular de geradores elétricos, a regulagem se dá dentro de limites reduzidos.

### 2.5.2 - Reguladores de marcha lenta e de rotação máxima

O regulador evita que o motor pare no âmbito de marcha lenta e também regula a rotação máxima. Para motores veiculares, no âmbito entre a marcha lenta e a rotação máxima, o próprio motorista aciona, através do acelerador, a haste de regulagem.

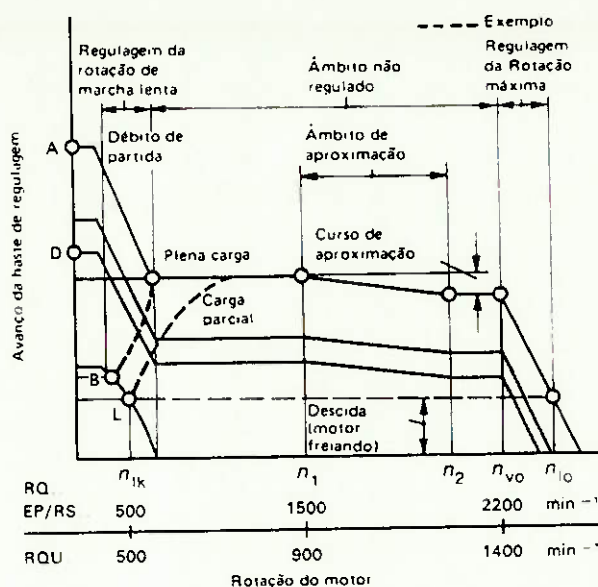


Figura 2.8 - Regulador de Marcha Lenta e Rotação Máxima

A Figura 2.8 nos auxiliará na compreensão do funcionamento. O motor frio entra em funcionamento em A com o débito de partida. Quando o motorista tirar o pé do acelerador, a haste retornará para B (posição de marcha lenta) e durante o aquecimento do motor, irá para L ao longo da curva de regulagem da marcha lenta. Se o motorista pisar no acelerador, a rotação aumentará (no caso, teremos a atuação da aproximação) até que a rotação superior de plena carga seja atingida, quando teremos a regulagem da rotação máxima de acordo com o grau "P".

### 2.5.3 - Reguladores Variáveis

Regulam, além da rotação de marcha lenta e rotação máxima, rotações intermediárias, independentemente da carga, ajustadas na alavanca de comando. Empregam-se em veículos com segunda tomada de força que tenham que manter uma certa velocidade e em motores estacionários e marítimos.

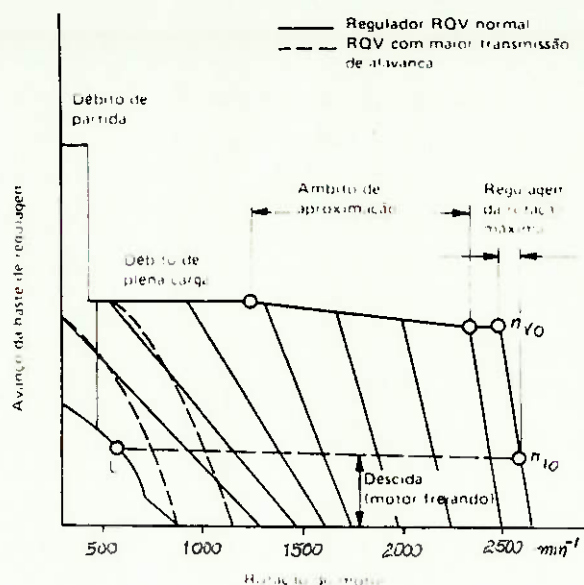


Figura 2.9 - Regulador Variável

Na Figura 2.9, as curvas entre a regulagem de marcha lenta e de rotação máxima, mostram a regulagem em rotações intermediárias. Deve-se notar o aumento do grau "P" a baixas rotações. As curvas tracejadas referem-se a veículos cujas segundas tomadas de força trabalham no âmbito inferior de rotações.

#### 2.5.4 - Reguladores Escalonados

Se nos âmbitos de regulagem superior ou inferior dos reguladores variáveis o grau "P" for demasiadamente grande para o caso em questão e se não houver necessidade de regulagem no âmbito intermediário, o sensor de rotação realiza uma regulagem escalonada. Neste caso, não existe possibilidade de aproximação do âmbito não regulado.

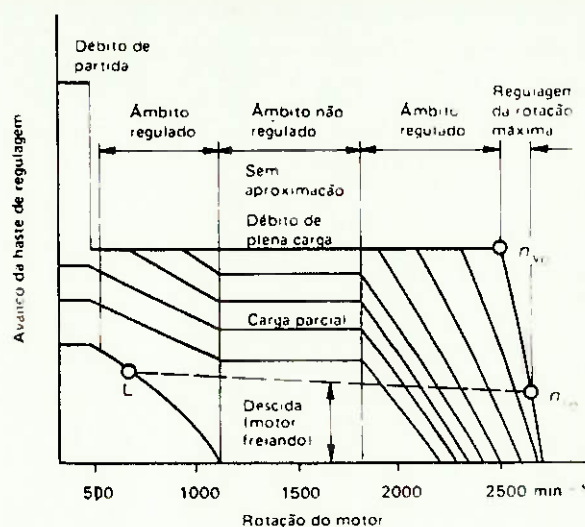


Figura 2.10 - Regulador Escalonado, âmbito inferior de rotações não regulado

A Figura 2.10 mostra um regulador onde a etapa não regulada situa-se no âmbito inferior de rotações.

A Figura 2.11 apresenta um regulador que no âmbito inferior trabalha como um regulador variável, seguido de um âmbito não regulado até a regulagem da rotação máxima.

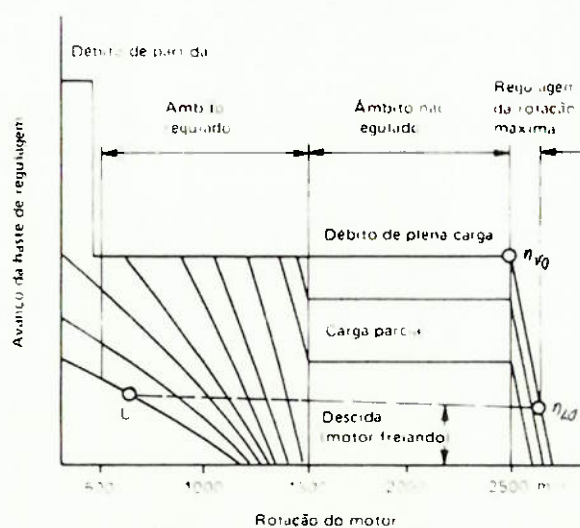


Figura 2.11 - Regulador Escalonado, âmbito superior de rotações não regulado

## CAPÍTULO III - REGULADORES CENTRÍFUGOS

### 3.1 - Introdução

Faremos agora um estudo detalhado do funcionamento dos reguladores centrífugos, que têm grande aplicação atualmente, especialmente em veículos automotores. Veremos os tipos de reguladores centrífugos fabricados pela Bosch por se tratar do maior fabricante destes equipamentos no Brasil.

O regulador é montado na bomba injetora, a qual possui sua haste de regulagem ligada ao sistema de alavancas do regulador. O pedal do acelerador do veículo é ligado à alavanca de comando do regulador.

Existem dois sistemas diferentes de medir e regular a rotação em reguladores centrífugos: o chamado RQ (ou RQV) e o RS (ou RSV). No sistema RQ, RQV, as molas que balanceiam a força centrífuga são montadas nos próprios contrapesos centrífugos. Já no sistema RS, RSV, a força centrífuga atua sobre a mola através de um sistema de alavancas, já que a mola é montada fora dos contrapesos.

Conforme vemos nas Figuras 3.1 e 3.2, para reguladores do tipo RQ, RQV temos um jogo de molas para cada contrapeso e nos reguladores RS, RSV, uma única mola reguladora.

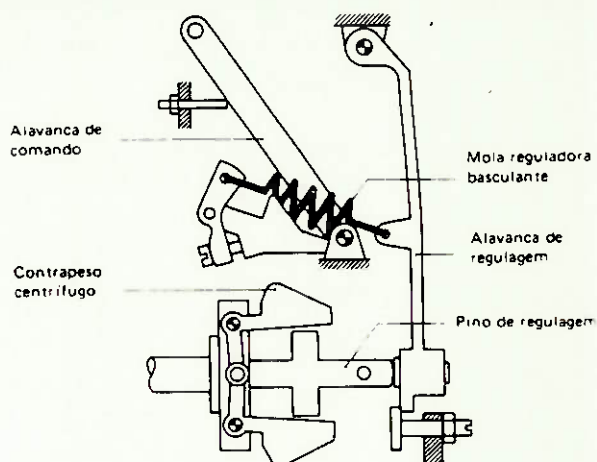
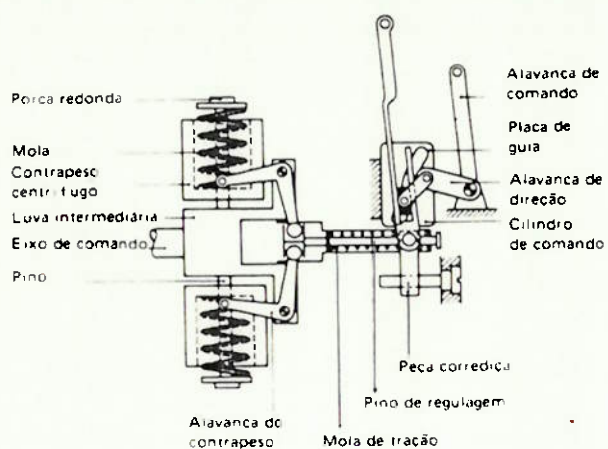


Figura 3.1 - Reguladores  
tipo RQ, RQV

Figura 3.2 - Reguladores  
tipo RS, RSV

### 3.2 - Reguladores centrífugos do tipo RQ

#### 3.2.1 - Reguladores de marcha lenta e rotação máxima RQ

Para melhor compreendermos o funcionamento deste regulador, podemos acompanhar a sua descrição através das Figuras 3.3 e 3.4

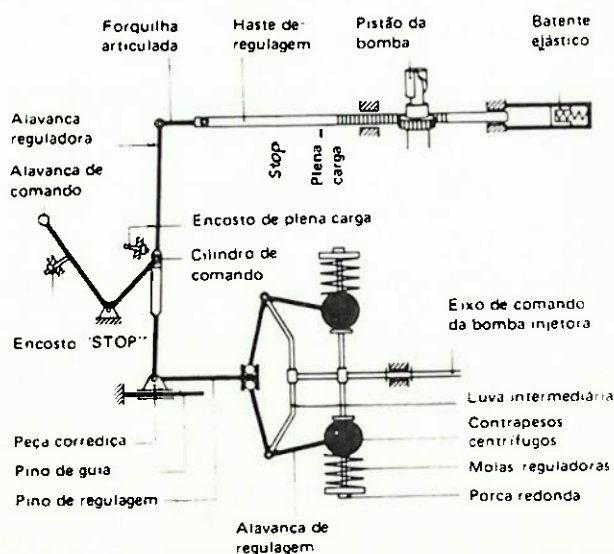


Figura 3.3 - Esquema do Regulador de Marcha Lenta e  
rotação máxima RQ (posição de repouso)

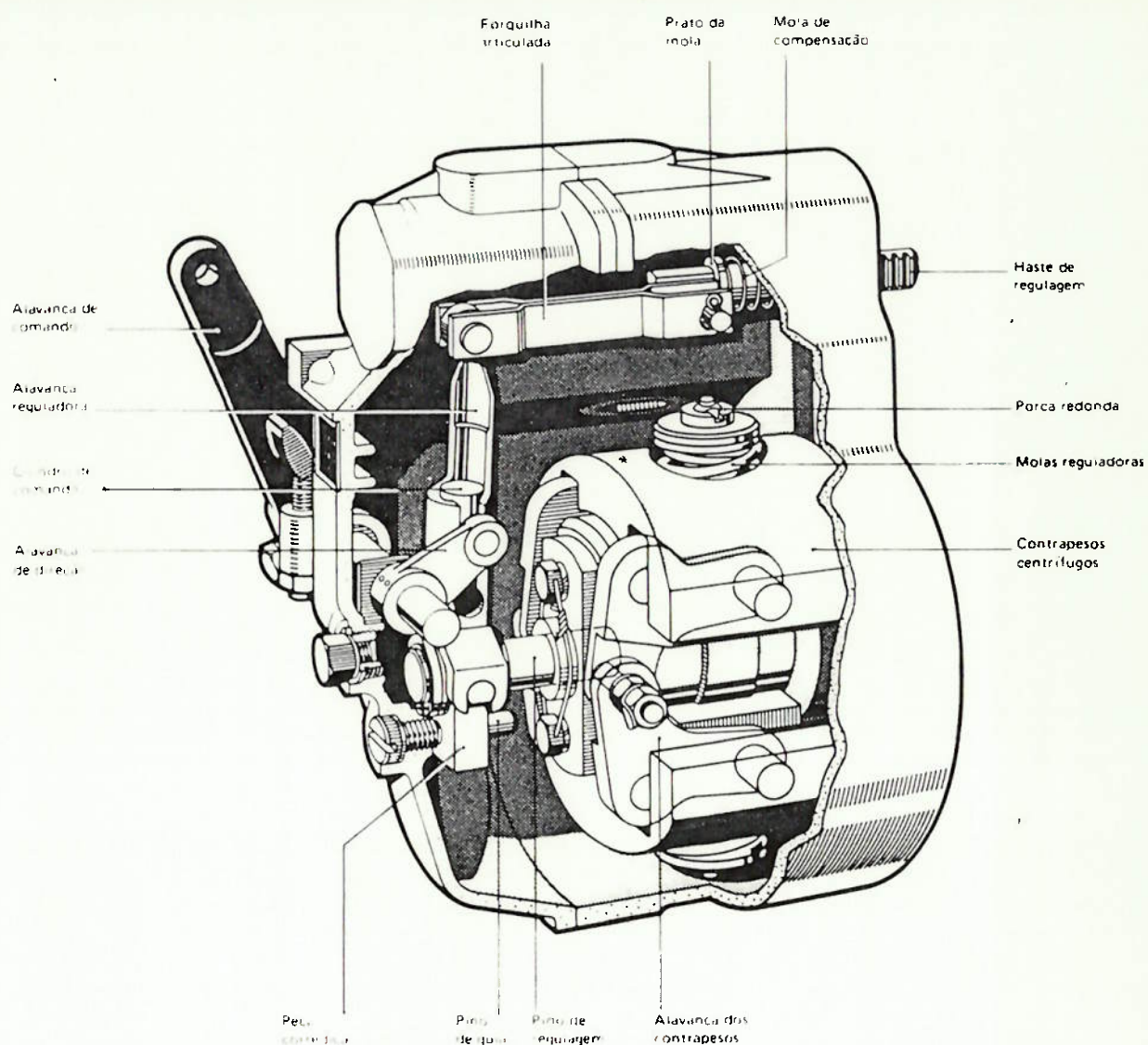


Figura 3.4 - Regulador Tipo RQ

O eixo da bomba injetora, aciona a luva intermediária, na qual se encontram os dois contrapesos centrífugos com suas alavancas e jogos de molas. As alavancas dos contrapesos transformam os movimentos radiais destes em movimentos axiais do pino de regulagem, transmitidos à peça corrediça. A peça corrediça'

desloca-se sobre um pino guia e, através da alavanca de regulação, liga o conjunto de contrapesos à haste de regulação da bomba injetora.

Na alavanca de regulação existe uma guia na qual se desloca o cilindro de comando, que é acionado pela alavanca de direção e alavanca de comando ( a alavanca de comando pode ser acionada manualmente ou pelo pedal do acelerador). Ao acionarmos a alavanca de comando, o cilindro de comando moverá a alavanca de regulação, que girará em torno da articulação com a peça corrediça. Quando o regulador atuar (ação dos contrapesos), a alavanca de regulação girará em torno do cilindro de comando. Desta forma, o cilindro de comando torna variável a relação de transmissão da alavanca de regulação por meio de seu movimento na guia. Isto permite que mesmo a baixas rotações, onde as forças centrífugas são pequenas, tenhamos uma força capaz de mover a haste de regulação da bomba.

A Figura 3.5 nos mostra a composição do jogo de molas dos contrapesos centrífugos.

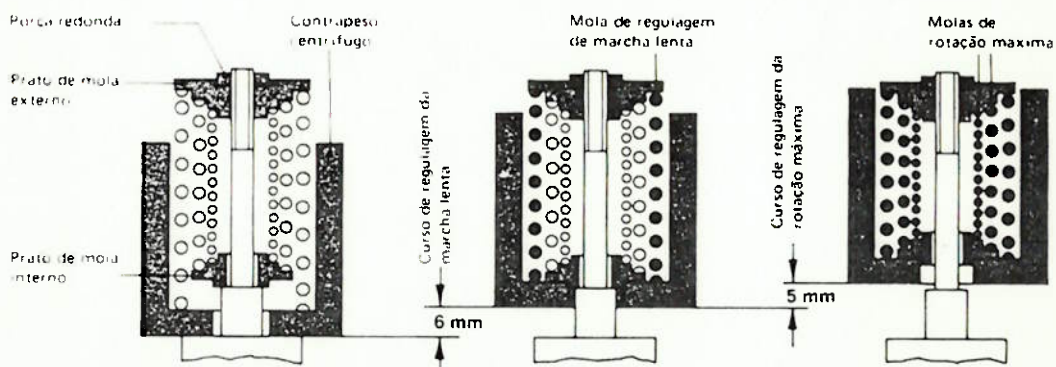


Figura 3.5 - Jogo de Molas dos Contrapesos

O jogo é composto normalmente por três molas. A mola externa apoia-se no prato de molas externo e no contrapeso e se presta à regulagem da marcha lenta. Com o aumento de rotação, o contrapeso, após percorrer o curso de regulagem da marcha lenta, permanecerá apoiado ao prato de molas interno até que a rotação máxima seja ligeiramente ultrapassada, quando, então, a força centrífuga será suficientemente grande para vencer a ação das três molas em conjunto.

Com o motor em regime de carga (entre carga nula e plena carga), sempre que o motorista apertar um pouco o pedal do acelerador, aumentará a rotação do motor, deslocando os contrapesos para fora. Mas, após ligeiramente ultrapassada a rotação de marcha lenta, os contrapesos se encostarão no prato de molas interno e permanecerão nesta posição até ser atingida a rotação máxima. Desta forma, entre a marcha lenta e a rotação máxima, a posição da haste de regulagem (e conseqüentemente o torque do motor) dependerá exclusivamente do motorista. Após ultrapassada a rotação máxima, a posição da haste dependerá também do regulador. O curso de regulagem da rotação máxima é de 5mm. Para uma rotação de transmissão da alavanca de regulagem de 1:3 (por exemplo), teremos um deslocamento da haste de regulagem de 15mm em direção a "stop".

Se tivermos um dispositivo de aproximação (nos reguladores RQ esse dispositivo é montado nos contrapesos), o jogo de molas será conforme o mostrado na Figura 3.6.

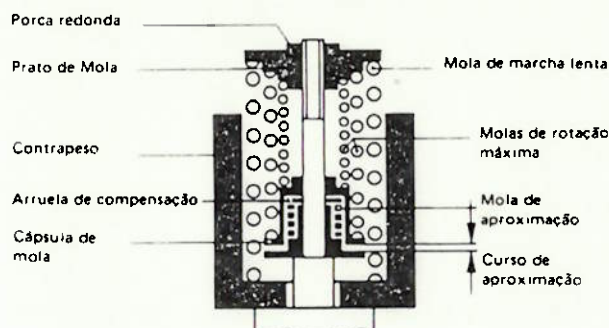


Figura 3.6 - Dispositivo de Aproximação

A mola de aproximação é montada numa cápsula e atua em série com as molas de rotação máxima. A distância entre a cápsula e o prato de molas interno determina o curso de aproximação (de 0,3 a 1,5mm), que pode ser ajustado por meio de arruelas ' de compensação. Sem a mola de aproximação, o regulador não atuaria entre as rotações de marcha lenta e máxima. Como a mola ' de aproximação cede, os contrapesos podem, também entre a marcha lenta e a máxima, deslocar-se para fora pelo curso de aproximação, empurrando a haste de regulagem em direção a "stop" e efetuando a aproximação positiva.

### 3.2.2 - Reguladores de marcha lenta e Rotação máxima RQU

Para regulagem de motores que trabalham a baixas rotações, empregam-se os reguladores RQU, os quais possuem uma transmissão (multiplicação, aproximadamente 1:3) entre o eixo de comando da bomba injetora e a luva intermediária (Figura 3.7).

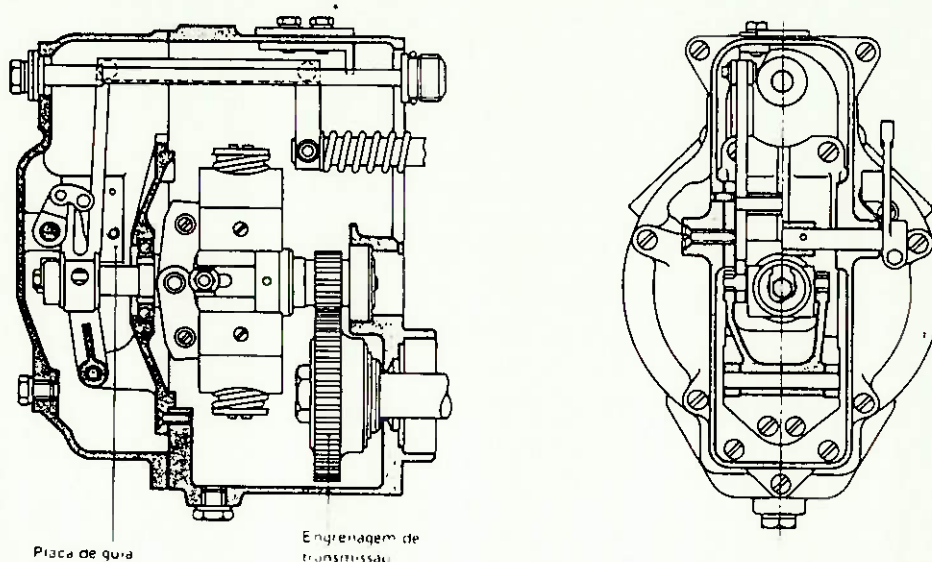


Figura 3.7 - Regulador de Marcha Lenta e Rotação

Máxima Tipo RQU

Seu funcionamento é análogo ao regulador RQ. Possui a ala vanca de direção composta de duas partes e guiada por uma placa de guia, como os reguladores tipo RQV (conforme veremos adi ante).

### 3.2.3 - Reguladores de rotação máxima

RQ e RQU

Possuem funcionamento análogo aos reguladores de marcha 'lenta e rotação máxima tipos RQ e RQU, diferindo destes por ' não apresentarem a etapa de regulagem da marcha lenta.

Conforme visto anteriormente, empregam-se em motores para acionamento de máquinas em regime de rotação nominal (por exem plo, geradores elétricos).

### 3.2.4 - Reguladores Variáveis RQV

Para melhor compreendermos o funcionamento deste regula -

dor, podemos acompanhar a sua descrição através das Figuras 3.8 e 3.9 a seguir.

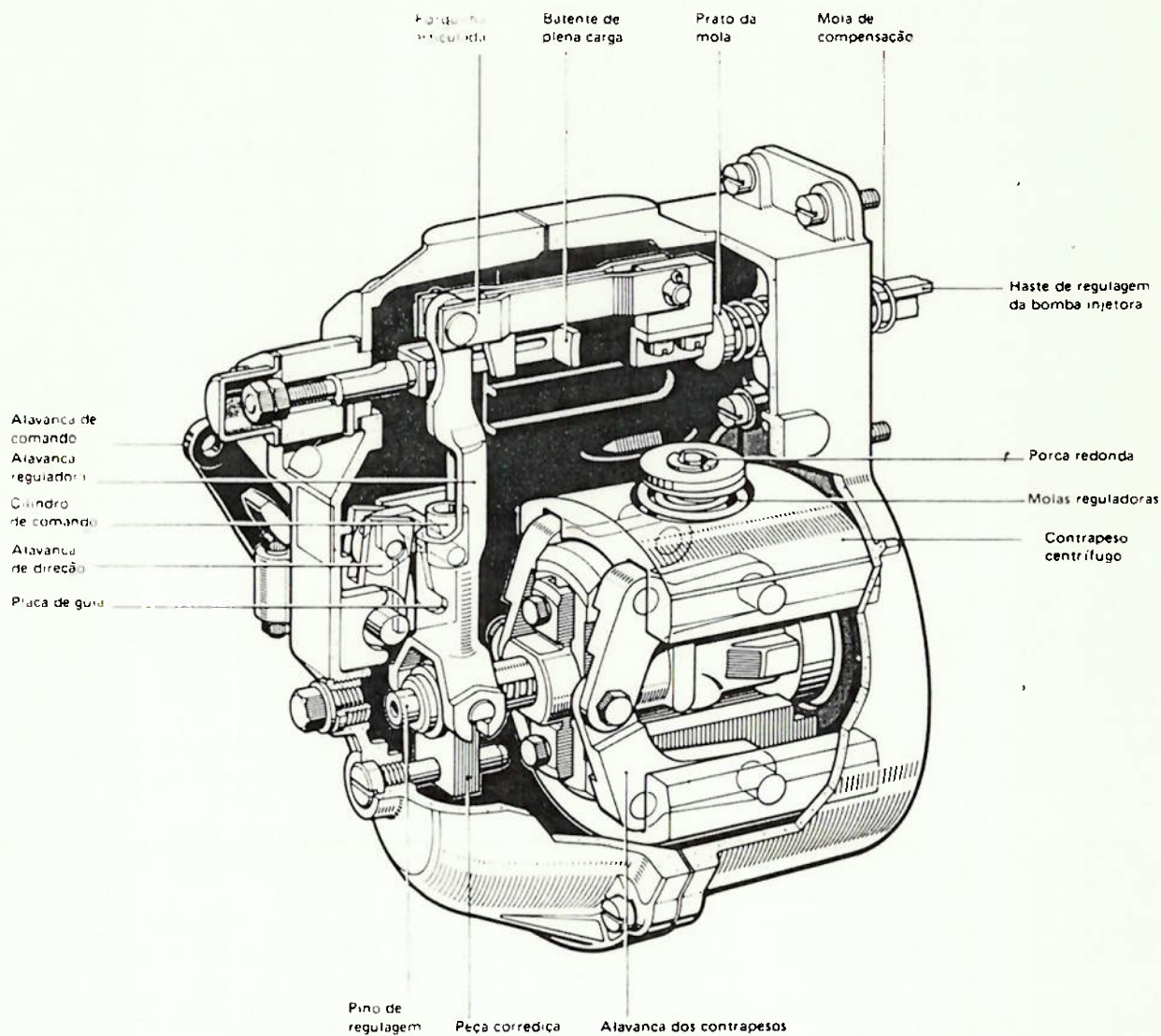


Figura 3.8 - Regulador Tipo RQV

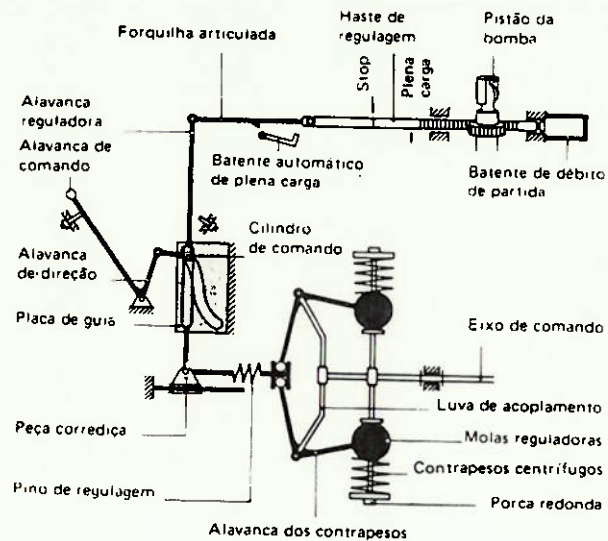


Figura 3.9 - Esquema do Regulador Variável Tipo RQV

Em muitos aspectos, estes reguladores são semelhantes aos reguladores do tipo RQ. No entanto, a cada posição da alavanca de comando corresponde uma determinada rotação na qual começa a regulação.

O ponto de apoio da alavanca reguladora é móvel e guiada pela ranhura da placa de guia, o que nos permite uma variação da relação de transmissão da alavanca de 1:1,7 a 1:5,9.

O pino de regulação, que faz a ligação entre os contrapesos e a alavanca reguladora, atua sob ação de mola (Figura 3.10).

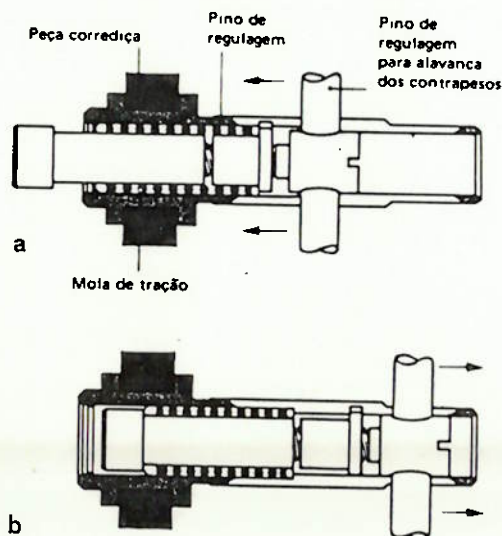


Figura 3.10 - Pino de Regulação

Quando o motor estiver acelerado ou estiver com sobrecarga (Figura 3.10.a) e quando a haste de regulagem alcançar o encosto de plena carga, a mola estará sob tensão, absorvendo um percurso adicional dos contrapesos. Fenômeno semelhante ocorre quando o veículo estiver numa descida, em que o motor é acionado pelo veículo (Figura 3.10.b). Quando a haste de regulagem alcançar o encosto de "stop", qualquer curso adicional dos contrapesos é absorvido pela mola.

Os jogos de molas dos contrapesos centrífugos são semelhantes aos usados nos reguladores do tipo RQ. No entanto, o dispositivo de aproximação é montado no batente da haste de regulagem.

A característica básica do regulador variável é manter constante a rotação ajustada por meio da alavanca de comando (acelerador) caso haja um aumento ou redução na carga aplicada ao motor. Para analisarmos como isto ocorre, consideremos o gráfico do comportamento do regulador da Figura 3.11.

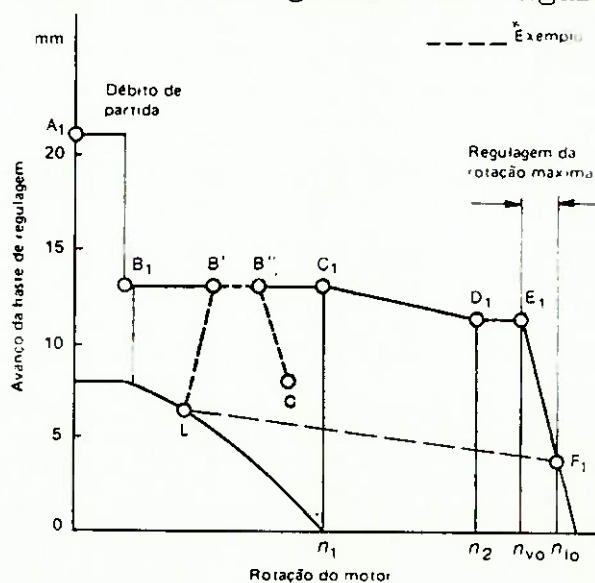


Figura 3.11 - Comportamento do Regulador RQV

Consideremos que a alavanca de comando seja deslocada da posição de marcha lenta para uma posição qualquer. Este movimento é transmitido à alavanca reguladora, que possui sua relação de transmissão variável. Acima do âmbito de marcha lenta, esta relação de transmissão é grande o suficiente para que um pequeno deslocamento da alavanca de comando ou dos contrapesos centrífugos leve a haste de regulagem ao encosto de plena carga (curso LB' da Figura 3.11). Se movermos ainda mais a alavanca de comando, a mola do pino de regulagem ficará sob tensão. Como a haste de regulagem permanece na posição de plena carga, há um aumento rápido da rotação do motor (B' para B"). Os contrapesos se deslocarão, aliviando a mola do pino de regulagem. Somente quando esta estiver totalmente aliviada é que os contrapesos deslocarão a haste de regulagem em direção a "stop", limitando a rotação. Esse limite de rotação corresponde à posição da alavanca de comando e ao encosto dos contrapesos centrífugos (B" para C). Assim, para cada posição da alavanca de comando temos uma faixa de rotações bem determinada, desde que o motor não seja sobrecarregado ou acionado pelo veículo num declive.

Se aumentarmos a carga, a rotação cairá e os contrapesos deslocarão a haste de regulagem em direção à plena carga, mantendo a rotação inicial. Se, no entanto, o aumento de carga for tão alto que ainda na posição de plena carga haja uma queda na rotação, o deslocamento dos contrapesos tensionará a mola do pino de regulagem. Porém, como a haste está no encosto de plena carga, o motorista deverá mudar de marcha. No caso de o veículo acionar o motor (declive) ocorre um tensionamento da mola do pino de regulagem no sentido inverso (Figura 3.10.b).

### 3.2.5 - Reguladores Variáveis RQUV

Destinam-se à regulagem de motores de baixas rotações. Possuem uma relação de transmissão de 1:2,2 ou 1:3,76 entre o eixo de comando da bomba injetora e a luva de acoplamento do regulador. Seu funcionamento é idêntico ao do regulador RQV. A relação de transmissão da alavanca de regulagem é variável entre 1:1,85 a 1:7,0. Não possuem débito de partida.

### 3.2.6 - Reguladores Variáveis RQV-K

Nas Figuras 3.12 e 3.13 temos um corte e um esquema deste tipo de regulador, que nos ajudarão a compreender seu funcionamento.

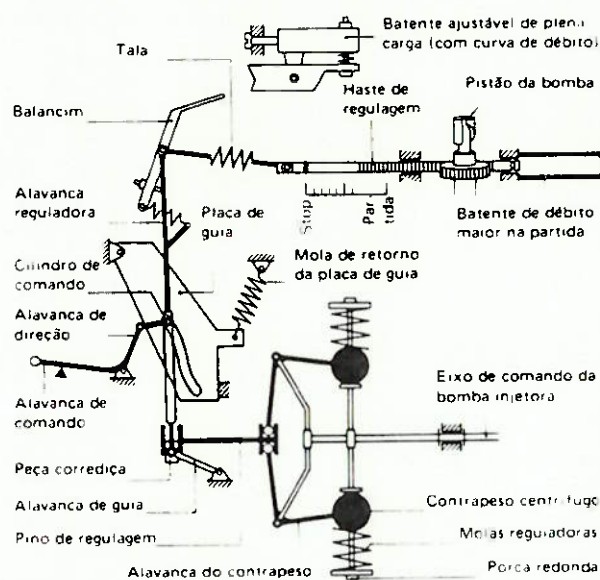


Figura 3.12 - Esquema do Regulador RQV - K

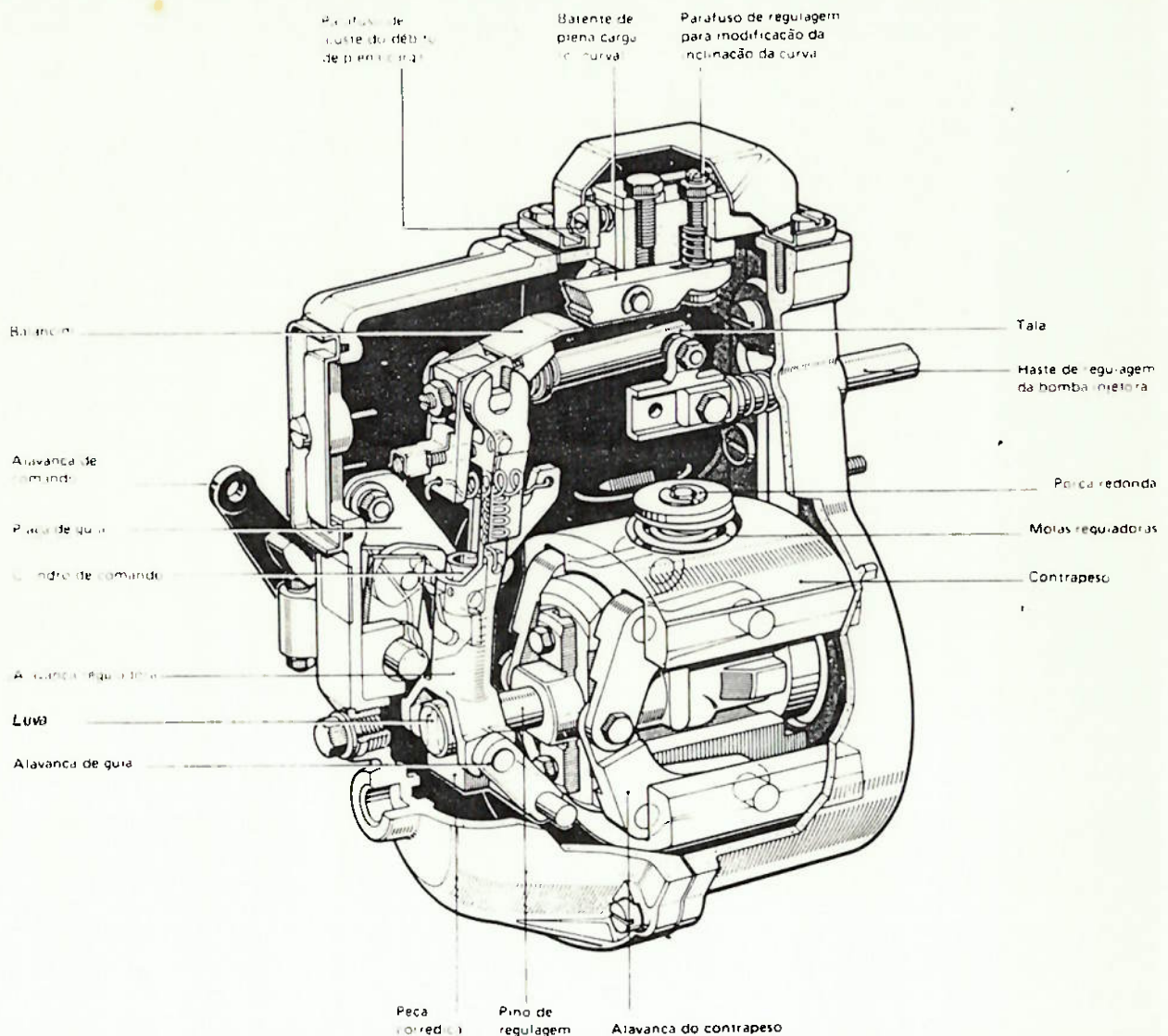


Figura 3.13 - Regulador Variável RQV - K

A principal diferença entre este tipo de regulador e o regulador RQV é a aproximação. Nos reguladores RQV-K, o débito de plena carga pode ser aumentado ou diminuído com o aumento da rotação do motor. Isto é conseguido através de um balancim colocado na extremidade superior da alavanca reguladora a qual apalpa uma curva no batente de plena carga. Esta curva representa a demanda de combustível do motor. Uma tala transmite o

movimento obtido à haste de regulagem da bomba injetora e, assim, obtemos a curva de torque desejado. A forma da curva do batente determina o aumento ou diminuição do débito. Este batente possui, também, parafusos que permitem ajustar o débito de plena carga e a inclinação da curva.

A curva com o comportamento deste tipo de regulador é mostrada na Figura 3.14.

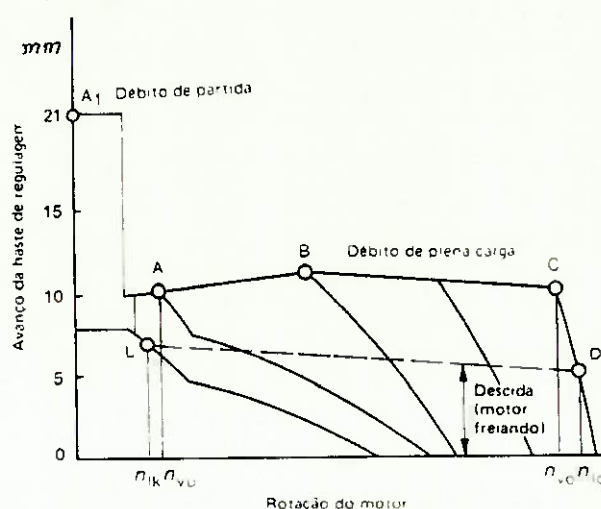


Figura 3.14 - Comportamento do Regulador RQV - K

Para a partida do motor, levamos a alavanca de comando para a posição de rotação máxima. Como os contrapesos estão fechados, o balancim passará por baixo do encosto de plena carga e a haste de regulagem é posicionado para o débito de partida. Após a partida do motor, a alavanca de comando retorna para a posição de marcha lenta (o balancim passa novamente por baixo do encosto devido à articulação que permite um movimento de "gatilho").

Passando-se a alavanca de comando da posição de marcha lenta para a de plena carga (Figura 3.15), o cilindro de comando se moverá ao longo da curva da placa de guia e na guia da ala-

vanca reguladora. Este movimento deslocará a haste de regulação em direção à plena carga, aumentando o débito e a rotação do motor. Neste movimento, a placa de guia é afastada de seu encosto na carcaça em movimento contrário à força da mola de retorno.

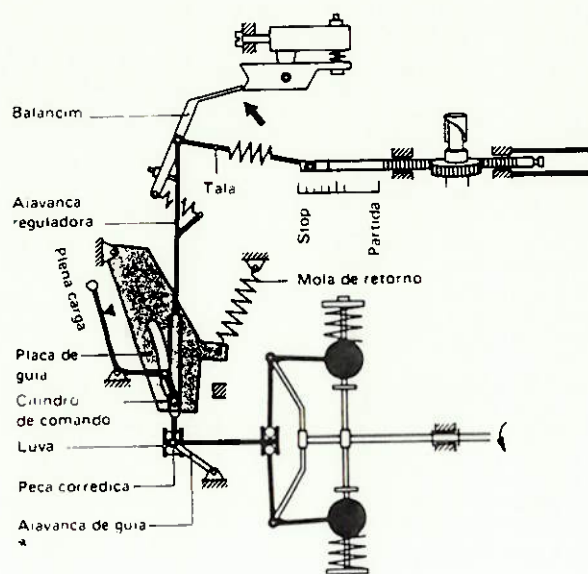


Figura 3.15 - Início da Aproximação Negativa

Com o aumento da rotação, os contrapesos se abrem e a luva é deslocada para a direita. Isto provoca um movimento basculante (devido à presença da alavanca de guia) que levanta a alavanca reguladora. Este movimento para cima da alavanca reguladora e o fato de que a placa de guia está afastada de seu encosto permitem que o balancim percorra a curva no encosto de plena carga.

Ao final da aproximação, a placa de guia estará novamente apoiada em seu encosto na carcaça. Se a rotação continuar a aumentar, terá início a regulação, pois a alavanca de comando se deslocará em torno do ponto de apoio no cilindro de comando.

Como no caso dos reguladores tipo RQV, a cada posição da

alavanca de comando corresponde um determinado âmbito de rotações. Caso haja uma sobrecarga muito grande no motor e apesar de os contrapesos se fecharem a haste de regulagem não puder mais avançar em direção à plena carga, a parte inferior da alavanca de regulagem se desloca para a esquerda contra a resistência da mola de retorno da placa de guia, afastando a placa de seu encosto. Se numa situação inversa, o motor for acionado pelo veículo em um declive e a haste de regulagem estiver na posição "stop" e não puder mais se deslocar, a tala elástica (elemento de ligação da alavanca reguladora e haste de regulagem) cederá. Quando o motorista frear o veículo ou mudar de marcha, a tala retornará ao seu comprimento normal.

### 3.2.7 - Reguladores Escalonados RQV e RQUV

Conforme vimos anteriormente, o regulador escalonado é um tipo especial de regulador variável em que um certo âmbito de rotação fica sem regulagem. Esta faixa sem regulagem pode ser próxima à marcha lenta ou então começar a uma rotação média e chegar até a máxima. Nas demais faixas é feita a regulagem da rotação ajustada pela alavanca de comando. Construtivamente difere do regulador variável por um jogo de molas reguladoras diferentes.

## 3.3 - Reguladores Centrífugos do Tipo RS

### 3.3.1 - Reguladores Variáveis EP/RSV

Estes reguladores possuem apenas uma mola reguladora basculante. Ao ajustarmos a rotação na alavanca de comando, a posição e a tensão da mola se modificam de tal modo que o torque

que atua na alavanca de regulagem fique em equilíbrio com o torque produzido pelos contrapesos centrífugos àquela rotação ajustada.

Nas Figuras 3.16 e 3.17 temos um corte e um esquema do regulador em estudo.

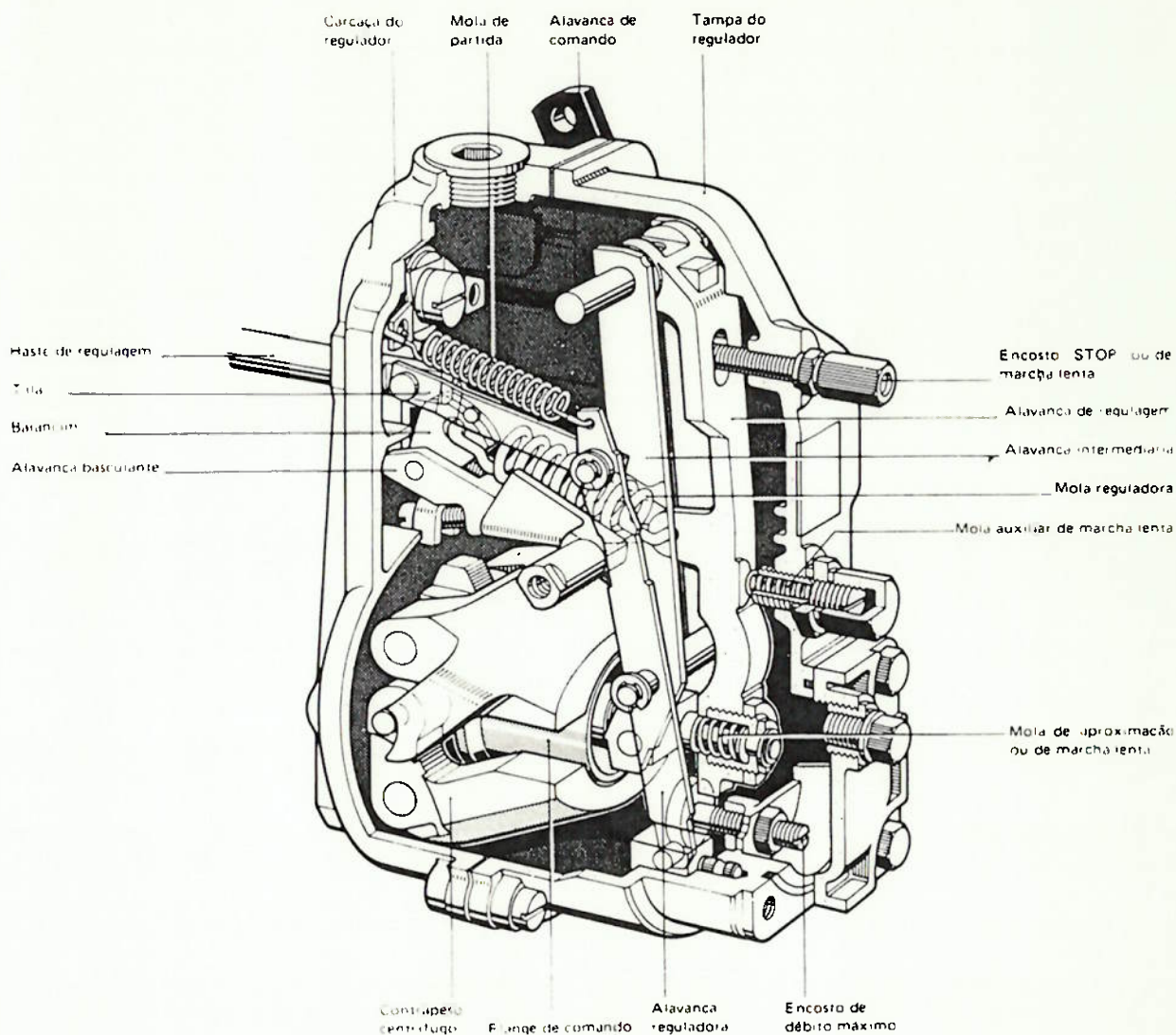


Figura 3.16 - Regulador Variável EP/RSV

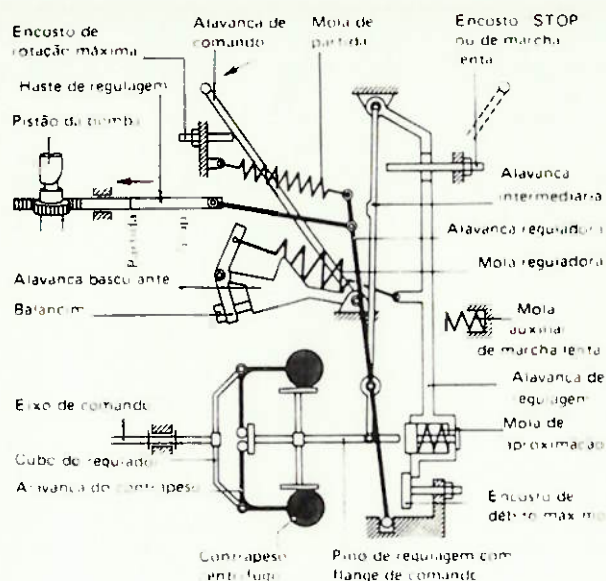


Figura 3.17 - Esquema do Regulador EP/RSV

O encosto de débito máximo e o dispositivo de aproximação são montados no próprio regulador. O grau "P" pode ser ligeiramente modificado pelo parafuso de ajuste no balancim da mola reguladora. A curva com o comportamento deste regulador é apresentada na Figura 3.18.

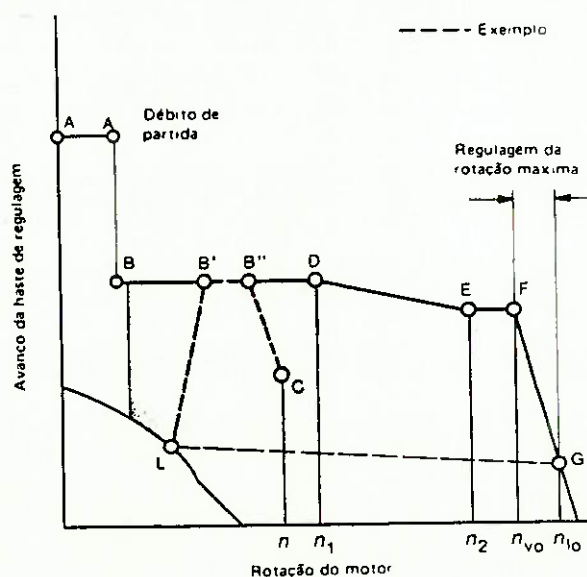


Figura 3.18 - Comportamento do Regulador EP/RSV

A partida do motor pode ser dada com a alavanca de comando na posição de marcha lenta pois a mola de partida, que se encontra na extremidade superior da alavanca reguladora, mantém a haste de regulagem em sua posição de débito de partida quando o motor está parado.

Na Figura 3.19 temos um esquema do regulador na posição de marcha lenta.

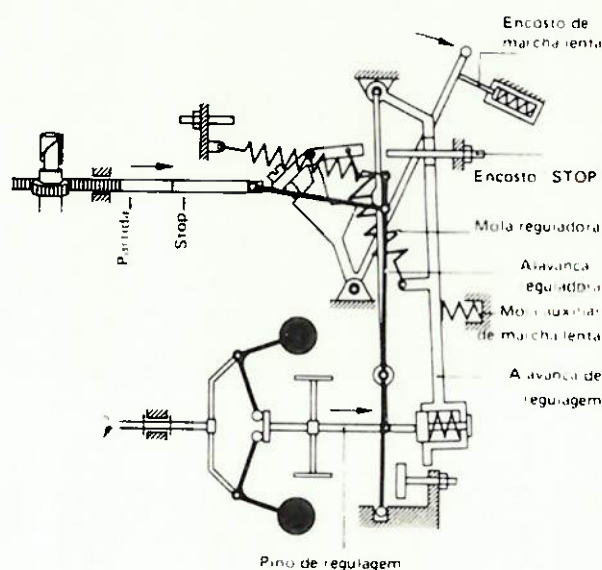


Figura 3.19 - Posição de Marcha Lenta

Na posição de marcha lenta, a mola reguladora está quase sem tensão e praticamente na vertical. Devido à pouca resistência encontrada, os contrapesos se abrem a uma rotação bastante baixa, deslocando o pino de regulagem e a alavanca intermediária para a direita. A alavanca intermediária, por sua vez, leva a alavanca reguladora e a haste de regulagem para a direita, em direção a "stop". A alavanca de regulagem se apoiará na mola auxiliar de marcha lenta que também atuará na regulagem da marcha lenta.

Um esquema do regulador em posição de cargas parciais é apresentado na Figura 3.20.

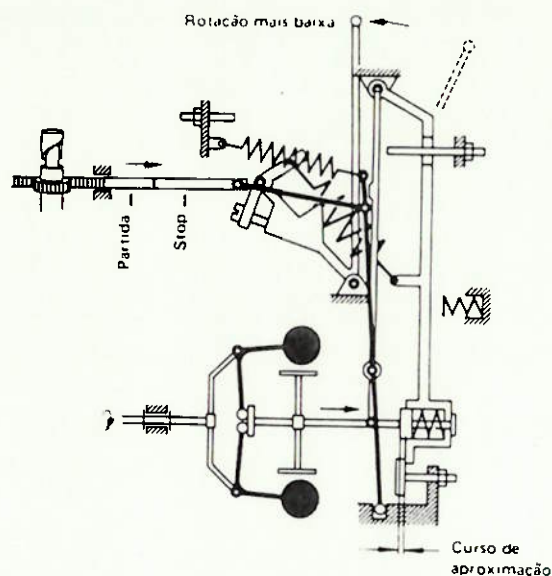


Figura 3.20 - Posição de Carga Parcial

Um deslocamento relativamente pequeno da alavanca de comando além da sua posição de marcha lenta é o suficiente para levar a haste de regulagem para a posição de plena carga. Com o fornecimento do débito de plena carga, há um aumento da rotação. Quando a força centrífuga se torna maior que a tensão da mola reguladora àquela posição da alavanca de comando, os contrapesos deslocarão o pino de regulagem, a alavanca intermediária e a haste de regulagem para uma posição de débito menor, regulando a rotação. Todos estes movimentos correspondem ao percurso LB'B'C na Figura 3.18.

Ao passarmos a alavanca de comando para a posição de rotação máxima, a princípio o regulador atuará como descrito. Se o regulador possuir um dispositivo de aproximação, a mola deste é comprimida e a haste de regulagem é deslocada na direção de diminuição do débito, realizando a aproximação positiva. Conforme vemos na Figura 3.21, ao atingirmos a rotação superior do motor, a força centrífuga vence a força da mola regulado

ra e a alavanca de regulagem se move para a direita, deslocando a alavanca intermediária, a alavanca reguladora e a haste de regulagem em direção a "stop".

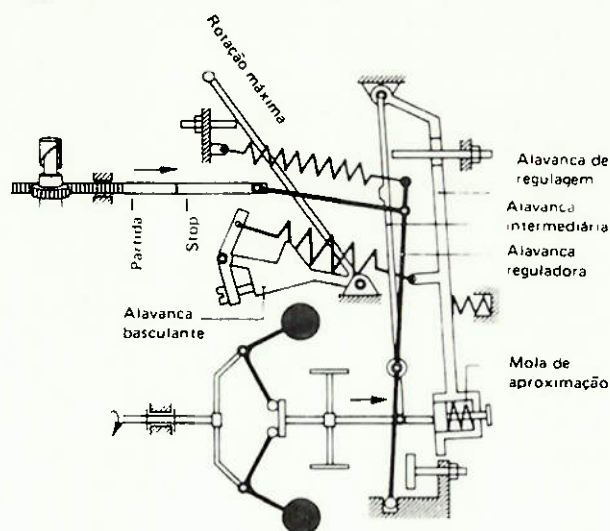


Figura 3.21 - Regulagem da Rotação Máxima

Para a parada do motor, levamos a alavanca de comando para a posição "stop" e o ressalto da alavanca basculante moverá a alavanca intermediária para a direita. Esta moverá a alavanca reguladora e a haste de regulagem para a posição de "stop" (Figura 3.22.a).

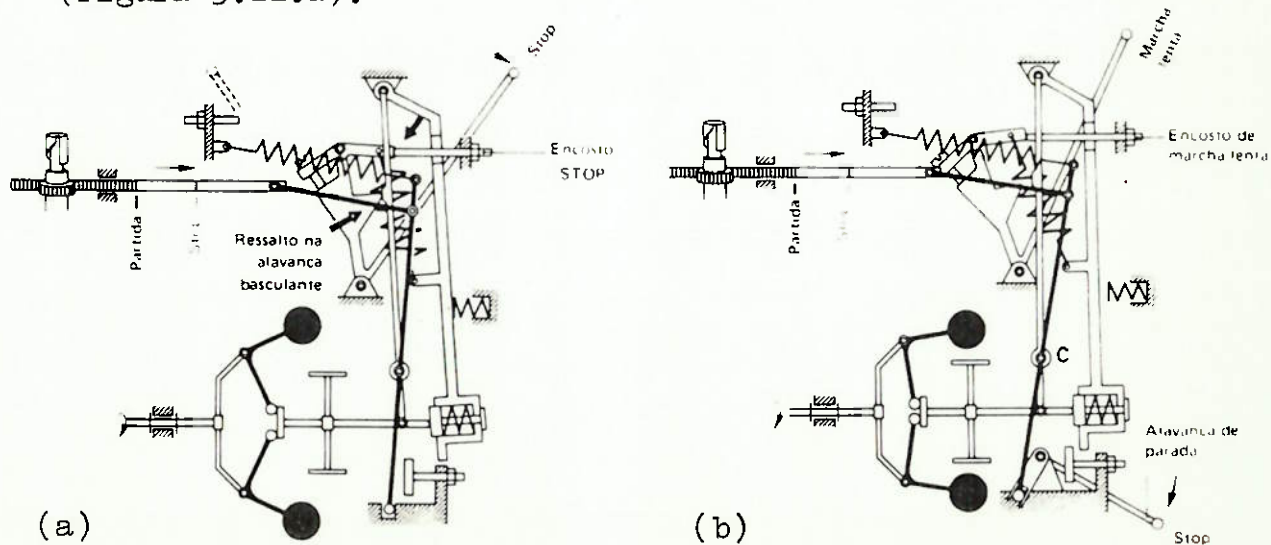


Figura 3.22 - Parada do Motor

Alguns reguladores possuem um dispositivo de parada, que pode ser observado na Figura 3.22.b. Este dispositivo, quando acionado, faz com que a alavanca reguladora gira em torno do ponto "C" e mova a haste de regulagem em direção a "stop".

### 3.3.2 - Reguladores Variáveis EP/RSUV

Destina-se à regulagem de motores de baixa rotação e difere do regulador tipo EP/RSV por possuir um par de engrenagens para multiplicação da rotação do eixo de comando da bomba injetora.

### 3.3.3 - Reguladores de Marcha Lenta e Rotação Máxima EP/RS

Trata-se de uma adaptação do regulador tipo EP/RSV onde a alavanca de comando se encontra bloqueada na posição da rotação máxima estabelecida. Podemos também ajustá-lo para uma rotação intermediária, como no caso de veículos com tomada de força. A alavanca de parada que aparece na Figura 3.22.b é utilizada neste regulador como alavanca de aceleração. Na extremidade inferior da alavanca de regulagem temos a cápsula de molas, onde estão alojadas as molas de aproximação e de marcha lenta (Figura 3.23).

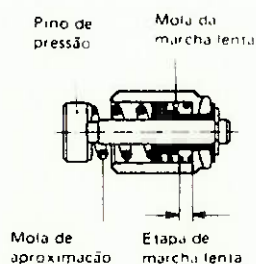


Figura 3.23 - Cápsula de Molas

Na Figura 3.24 temos a curva com o comportamento do regulador.

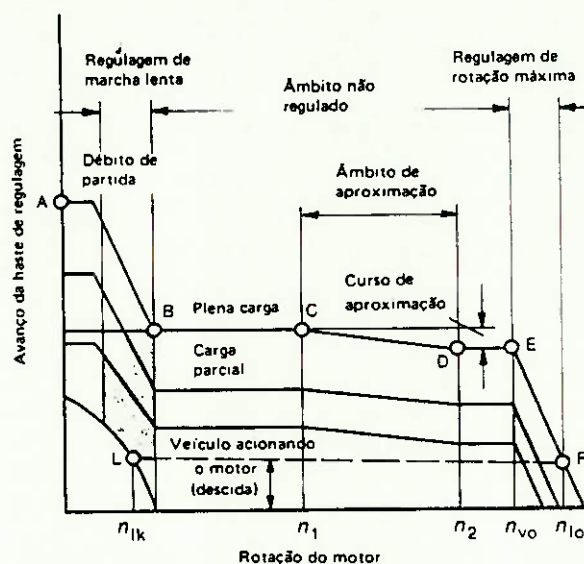


Figura 3.24 - Comportamento do Regulador EP/RS

A partida do motor é dada com a alavanca de aceleração na posição de débito máximo. Quando o motor estiver em funcionamento, a alavanca de aceleração é trazida para a posição de marcha lenta e a regulagem desta é feita pela mola de marcha lenta através do pino de pressão, pino de regulagem e alavanca intermediária.

Entre os pontos B e E (Figura 3.24) não há regulagem de rotação. Entre os pontos C e D temos o âmbito de aproximação, onde a força centrífuga dos contrapesos vence a força da mola de aproximação levando a haste de regulagem em direção a "stop" diminuindo o débito.

Na Figura 3.25 temos um esquema do início da regulagem da rotação máxima. Neste caso a força centrífuga dos contrapesos é superior à força da mola reguladora. Por isso, a alavanca de

regulagem é afastada de seu encosto e as alavancas intermediária e reguladora moverão a haste de regulagem em direção a "stop".

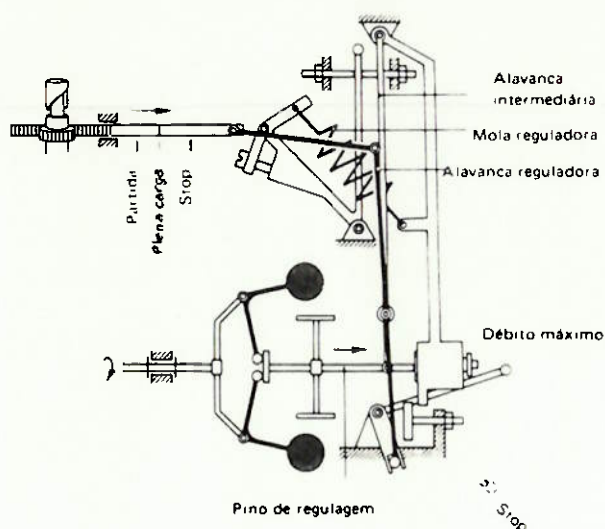


Figura 3.25 - Regulagem da Rotação Máxima

Para a parada do motor basta deslocarmos a alavanca de aceleração para a posição "stop", o que fará com que a alavanca reguladora gire em torno da sua articulação com a alavanca intermediária trazendo a haste de regulagem para a posição "stop".

## CAPÍTULO IV - REGULADORES PNEUMÁTICOS

### 4.1 - Introdução

Devido à sua aplicação em motores veiculares, apresentaremos agora um regulador variável pneumático fabricado pela Bosch (Tipo EP/M).

Podemos considerar o regulador pneumático como sendo composto por duas partes principais: a tubuladura coletora, montada no tubo de admissão do motor e o bloco do diafragma, montado na bomba injetora.

No ponto mais estreito do venturi da tubuladura coletora temos uma borboleta e a conexão para o condutor de depressão ao bloco do diafragma. A borboleta é ligada ao pedal do acelerador e, segundo a sua posição, é formada a depressão necessária para a regulação (Figura 4.1).

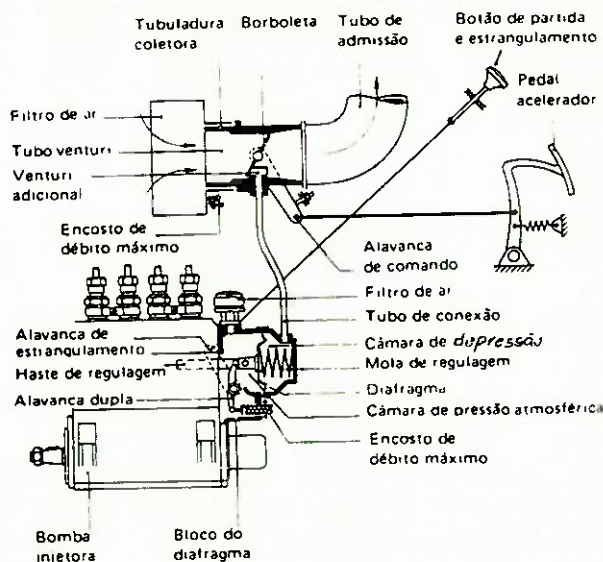


Figura 4.1 - Regulador Pneumático

A rotação nominal é atingida quando a borboleta está totalmente aberta, sendo possível um ajuste através de um parafuso de encosto.

#### 4.2 - Descrição do Funcionamento

O bloco do diafragma é dividido pelo diafragma em uma câmara de depressão (ligada à tubuladura coletora) e em uma câmara atmosférica (ligada à atmosfera). Quando o motor estiver em funcionamento, a posição do diafragma (e por consequência, da haste de regulagem) dependerá da diferença de pressão entre as duas câmaras. A mola existente na câmara de depressão (mola de regulagem) tende a empurrar a haste de regulagem em direção a débito máximo. Se prevalecer a tensão preliminar da mola de regulagem em relação à força devida à diferença de pressão entre as câmaras, a haste de regulagem será deslocada em direção a débito máximo. Se aumentar a rotação do motor, aumentará a depressão e o diafragma será deslocado, devido ao efeito da pressão atmosférica, contra a pressão da mola, deslocando a haste de regulagem em direção a "stop". Desta forma é feita a regulagem da rotação ajustada pela posição da borboleta.

Para a partida do motor (Figura 4.2), devemos puxar a alavanca de partida e estrangulamento para a posição de partida. A alavanca de dois braços existente no regulador pressionará o pino de encosto para dentro do parafuso de ajuste de débito máximo contra a força da mola. Isto permitirá que a haste de regulagem alcance a posição de débito de partida.

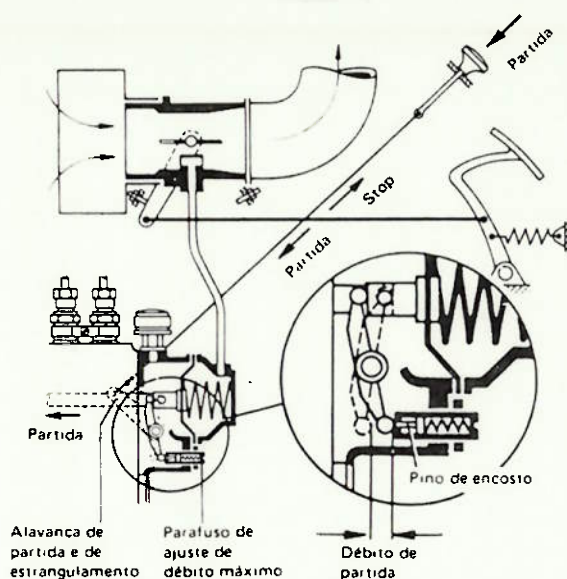


Figura 4.2 - Posição de Partida

Com a alavanca de comando apoiada no encosto de marcha lenta, o tubo venturi estará quase completamente fechado pela borboleta. Contudo, verificamos uma depressão suficiente para puxar a haste de regulagem, contra a ação da mola de regulagem, para a sua posição de marcha lenta.

Para regulagem da rotação máxima teremos a alavanca de comando apoiada em seu encosto de débito máximo e a borboleta estará totalmente aberta. Ao ultrapassarmos ligeiramente a rotação nominal teremos a criação de uma depressão suficiente para trazer a haste de regulagem em direção a "stop".

Conforme vimos anteriormente, qualquer rotação entre a rotação de marcha lenta e a rotação máxima também é mantida constante pelo regulador pneumático (respeitando-se as variações devidas ao grau "P").

Para pararmos o motor, devemos deslocar a alavanca de partida e estrangulamento para a posição de estrangulamento, o que fará com que a alavanca de dois braços empurre a haste de

regulagem para a posição "stop", cortando a injeção de combustível.

O grau "P" para reguladores pneumáticos é bastante uniforme em todo o âmbito de rotações, variando de 10% para baixas rotações até 9,5% para rotações mais elevadas.

#### 4.3 - Variações Construtivas

Além do tipo de regulador visto até aqui, temos outras variações construtivas. Alguns reguladores possuem uma mola auxiliar de marcha lenta. Trata-se de uma mola mais rígida que a mola de regulagem e serve para estabilizar a marcha lenta. Na Figura 4.3.a e 4.3.b temos a representação destes reguladores. O regulador mostrado na Figura 4.3.b possui um ressalto que posiciona a mola de marcha lenta sempre que a carga aplicada ao motor for nula, permitindo uma regulagem mais segura.

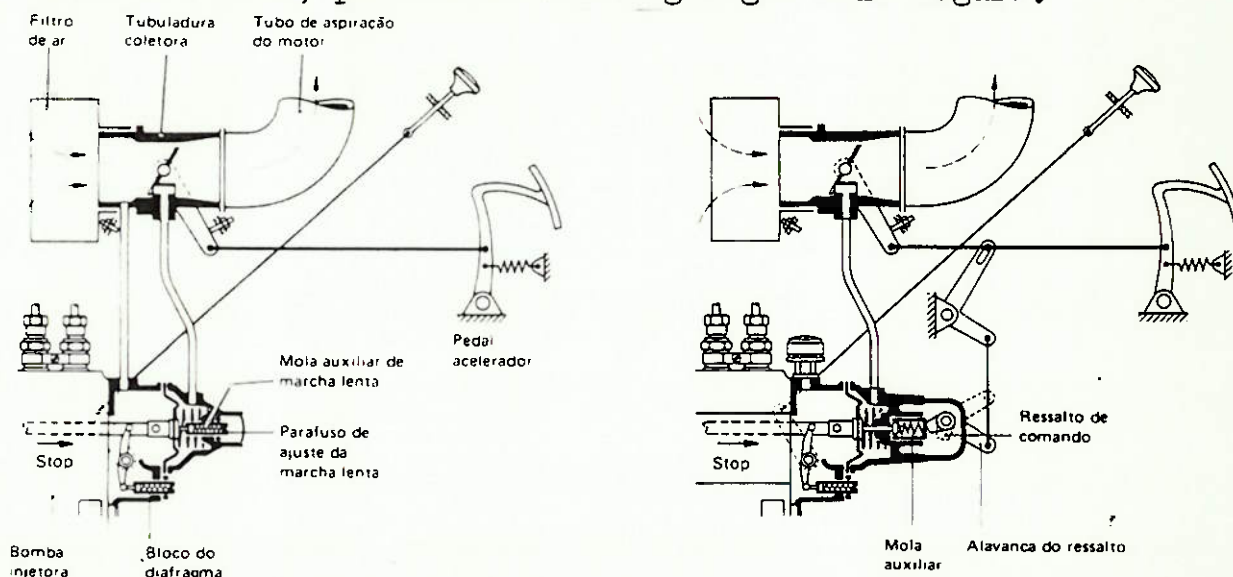


Figura 4.3 - Reguladores Pneumáticos com mola auxiliar de marcha lenta

Para evitar variações grandes de depressão no bloco do diafragma, que causariam um funcionamento irregular do motor, coloca-se um estrangulamento na junção do tubo de conexão com o bloco do diafragma.

Para evitar que pequenas vibrações do diafragma se transmitam à haste de regulagem, a ligação entre ambos é feita por meio de um pino que corre num furo oblongo.

Além disso, o pino do diafragma possui um amortecedor de borracha no lado da depressão para eliminar o ruído na regulagem da marcha lenta devido ao choque do pino do diafragma com o pino sobre o qual atua a mola auxiliar de marcha lenta.

#### 4.4 - Aproximação

Quando exigimos a potência máxima do motor, o motorista deve pisar o acelerador até o encosto, onde teremos a borboleta totalmente aberta e a formação de uma pequena depressão na câmara de depressão. A mola de regulagem pressionará a haste de regulagem contra o encosto de débito máximo e, ao mesmo tempo, comprime a mola de aproximação até que o curso de aproximação seja nulo (Figura 4.4). Assim, a haste de regulagem ainda percorre o curso de aproximação em direção à posição de débito máximo. Com o aumento da rotação do motor, aumenta a depressão, diminuindo a pressão exercida pela mola de regulagem sobre a mola de aproximação. A mola de aproximação começará, então, a se "desarmar", empurrando o diafragma com a haste de regulagem, pelo curso de aproximação em direção a "stop".

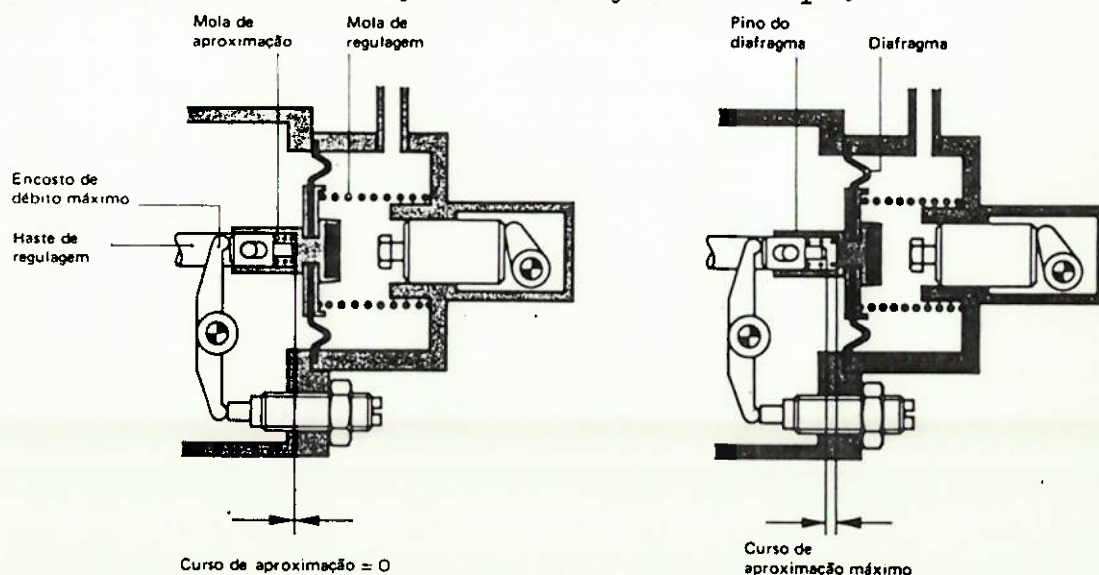


Figura 4.4 - Dispositivo de Aproximação p/ reg. pneumáticos

## CAPÍTULO V - PRINCÍPIOS DE CÁLCULO PARA REGULADORES CENTRÍFUGOS

### 5.1 - Introdução

Face à sua grande aplicação, veremos agora alguns princípios de cálculo para reguladores de velocidade centrífugos. Será dado um enfoque amplo ao assunto para que possamos aplicar o que será visto aos diversos tipos de reguladores centrífugos existentes.

No entanto, devemos ter sempre em mente que, mesmo fazendo-se um cálculo preciso, não conseguimos eliminar os testes para verificação do desempenho do regulador feitos em máquinas de teste para bombas injetoras e em dinamômetros. Muitos ajustes são necessários num desenvolvimento de um regulador em vista da dificuldade de avaliarmos com exatidão todos os esforços envolvidos.

### 5.2 - Condições de equilíbrio de um regulador centrífugo

A massa móvel "m" do regulador centrífugo que gira com uma velocidade  $\omega_r$  assume, quando desprezamos as resistências por atrito, uma posição na qual a força centrífuga dada por  $K = mH\omega_r^2$  e uma outra força "C" que atua em sentido oposto ficam em equilíbrio. Esta força C é gerada, conforme podemos observar na Figura 5.1, pela mola que age sobre o peso centrífugo na direção radial e em direção ao eixo de regulação.

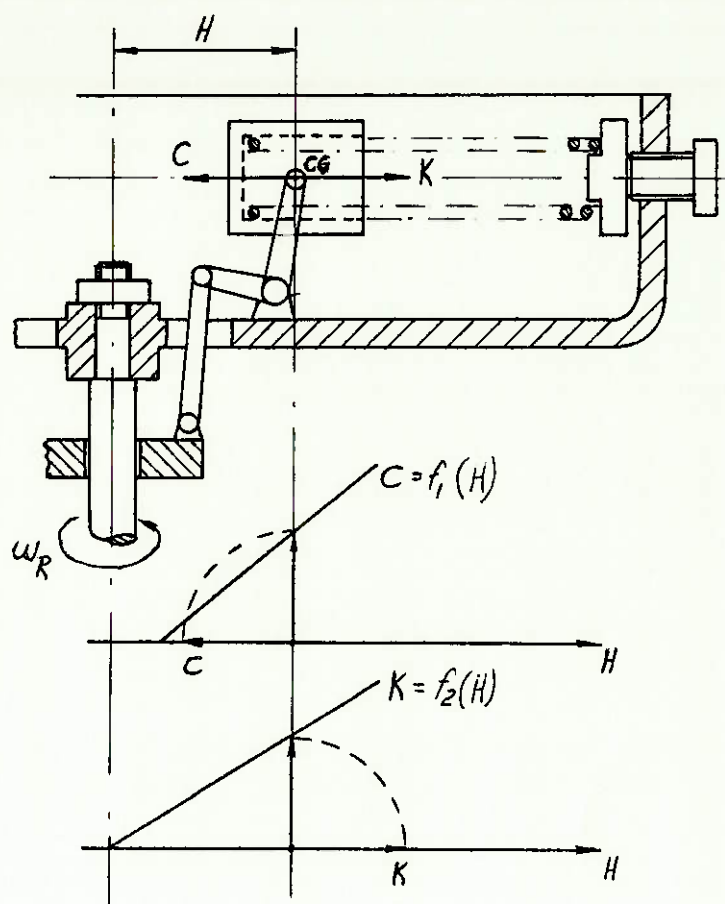


Figura 5.1 - Equilíbrio de Forças sobre o Peso Centrífugo

Na equação,  $m$  representa a soma das massas de todos os pesos centrífugos. Da mesma forma,  $C$  é a soma de todas as forças radiais que atuam sobre os pesos centrífugos.

A força centrífuga  $K$  aumenta com o aumento de  $\omega_R$  e de  $H$ . Com a mudança da distância  $H$  do centro de gravidade das massas centrífugas  $CG$  ao eixo de regulação, produzimos uma variação em  $K$  e em  $C$ . Para que o equilíbrio do regulador seja estável, a curva de  $C$  deve ser mais acentuada que a curva de  $K$ . Assim, a curva  $C = f_1(H)$  na região do curso de regulação  $H_h$ , entre as posições limite interna e externa do centro de gravidade das massas centrífugas, deve ser bem mais inclinada que a curva  $K = f_2(H)$  (Figura 5.2).

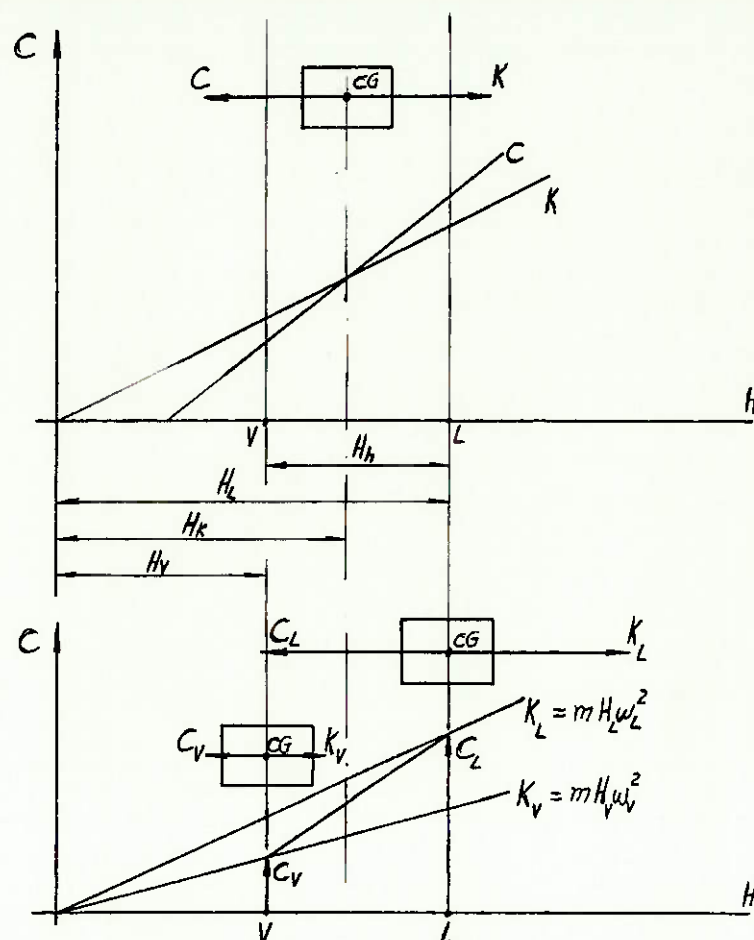


Figura 5.2 - Curvas das Forças

Assim a velocidade de rotação  $\omega_p$  do eixo de regulação para a posição de rotação máxima sem carga é maior que a velocidade de rotação para rotação máxima com plena carga para que a força centrífuga gerada equilibre a força C (Figura 5.2). Esta diferença de velocidades de rotação é determinada pelo grau "P" visto anteriormente.

### 5.3 - Energia de Regulação e Grau de Insensibilidade

O regulador, durante seus movimentos de ajuste, deve superar todas as resistências do mecanismo de regulação, como as resistências devido ao atrito nos mancais, nas guias, etc.,

desde os pesos oscilantes do regulador até o mecanismo de ajuste na bomba injetora. O trabalho que o regulador deve executar durante o ajuste, desde a posição de carga plena até a posição de marcha em vazio, chama-se energia de regulação  $E$  ou capacidade de trabalho do regulador. O regulador, para poder executar este trabalho, deve aumentar suas forças centrífugas  $K$  de um valor excedente  $\Delta K$  além do valor de equilíbrio  $K = C$ . Chama-se  $\frac{\Delta K}{C_K} = \mathcal{E}$  de grau de insensibilidade do mecanismo de regulação, onde  $C_K = m H_K \omega_R^2$  teórico

$H_K$  = posição de equilíbrio com o valor teórico de  $\omega_R$

$$\text{Temos também } E = \Delta K H_h = \mathcal{E} \cdot C_K \cdot H_h$$

onde  $H_h$  = curso total das massas centrífugas

Para que a velocidade necessária para vencer as resistências do atrito fique contida entre limites definidos e a variação dos valores das forças ( $K + \Delta K$ ) não provoque instabilidade, deve-se manter baixo o grau de insensibilidade  $\mathcal{E}$  do regulador. Normalmente, fazemos o grau de insensibilidade aproximadamente 1%, ou  $\mathcal{E} = 0,01$ .

#### 5.4 - Escolha das Dimensões do regulador

Consideremos a equação

$$E = \mathcal{E} C_K H_h = \mathcal{E} m H_K \omega_R^2 \text{ teórico } H_h$$

Se substituirmos a relação  $u = \omega_{\text{regulador}} / \omega_{\text{motor}}$

nesta equação, obteremos:

$$m \frac{H_K}{H_h} u^2 = \frac{E}{\mathcal{E} \omega_{\text{motor}}^2}$$

A parte direita da equação contém os valores teóricos para a  $\omega_{\text{motor}}$  exigidos num determinado caso: o grau de insensibilidade  $\mathcal{E}$  e a necessária capacidade de trabalho  $E$  do regulador. O lado esquerdo da igualdade contém a massa principal do regulador a ser construído (a totalidade da massa dos contrapesos centrífugos), a distância radial  $H_K$  dos centros de gravidade dos contrapesos centrífugos ao eixo de rotação (para a velocidade  $\omega_R$  teórico), o curso total radial  $H_h$  dos centros de gravidade entre as suas posições externas e a conversão  $u$ , que tem uma sensível influência sobre a possibilidade de aumento da capacidade de trabalho do regulador.

Com a fórmula podemos determinar qual o tamanho necessário do regulador ou qual o grau de insensibilidade  $\mathcal{E}$  obtido com um determinado regulador.

### 5.5 - As Curvas de Força "C"

Até o momento, supusemos que a curva  $C$  era uma reta. No entanto, isto não é uma necessidade. Para que a condição de equilíbrio estável em qualquer posição  $H$  entre as posições limites de carga total ( $V$ ) e marcha em vazio ( $L$ ) seja satisfeita, é necessário que a tangente à curva  $C$  seja mais inclinada que a curva  $K$  em qualquer ponto entre  $V$  e  $L$  (Figura 5.3).

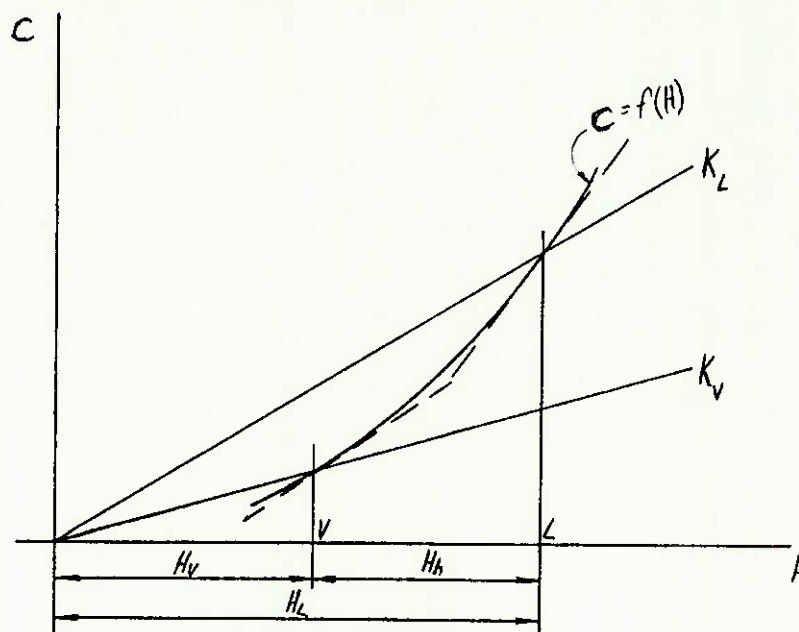


Figura 5.3 - Curva de Força "C"

Para cálculo das forças C de equilíbrio nas posições V e L temos:

$$C_V = m H_V \omega_V^2$$

$$C_L = m H_L \omega_L^2$$

$$\text{sendo } \omega_V = \omega_{R \text{ teórico}} (1 - \delta/2)$$

$$\omega_L = \omega_{R \text{ teórico}} (1 + \delta/2)$$

$$\text{onde } \delta = \text{grau "P"}$$

Para uma avaliação exata destas forças, devemos considerar todas as forças do sistema que contribuem com componentes radiais agindo no centro de gravidade das massas centrífugas.

No caso de reguladores com eixo horizontal (mais comuns) se consideram apenas os efeitos da força das molas radiais. Contudo, a força centrífuga própria das molas é descontada,

pois a massa das espiras da mola também está submetida à força centrífuga. Assim, o efeito radial das molas sobre as massas centrífugas fica diminuído de um valor  $C_Z$ . (Figura 5.4)

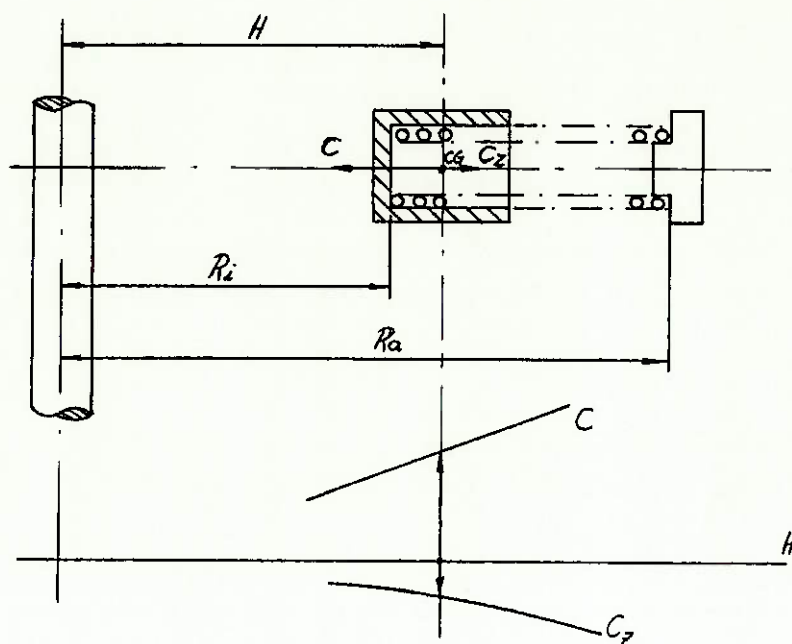


Figura 5.4 - Força Centrífuga própria da Mola

Esta força  $C_Z$  pode ser calculada por:

$$C_Z = - m_F \omega_R^2 (R_a/6 + R_i/3)$$

sendo  $m_F$  = massa total de todas as molas

$R_a$  e  $R_i$  distâncias mostradas na Figura 5.4

Para a diminuição do trabalho a ser realizado pelo regulador num ajuste, devemos providenciar a diminuição do atrito e da carga nas articulações e nos elementos de guia para todo o sistema de alavancas. Uma lubrificação farta de todas as articulações e superfícies de deslizamento deve ser garantida. Mes

mo a vibração do motor em funcionamento ajuda a diminuir o atrito.

Entretanto, uma pequena quantidade de amortecimento é necessária para eliminar as oscilações após uma mudança de velocidade. Assim, a total eliminação do atrito, além de ser impossível, não é desejável.

Já que o atrito age em oposição ao movimento, a curva C será deslocada para cima quando a velocidade estiver aumentando e para baixo quando estiver diminuindo. Assim, define-se uma faixa na qual a velocidade do motor pode variar sem a atuação do regulador. Esta faixa é minimizada justamente pela diminuição do atrito no sistema.

## CAPÍTULO VI - DETALHES CONSTRUTIVOS

### 6.1 - Introdução

Neste capítulo veremos alguns tipos de encostos ou batentes para a alavanca de comando e para a haste de regulagem de reguladores centrífugos. A finalidade desta apresentação é permitir a complementação do projeto do regulador. Dependendo do tipo de regulador em estudo, teremos os encostos que melhor se aplicam ao regulador.

### 6.2 - Encostos da Alavanca de Comando

Na tampa do regulador temos dois parafusos de encosto, sendo um para "stop" e o outro para débito de plena carga ou rotação máxima.

Conforme o tipo de regulador (RQ ou RQV), poderemos ter um encosto para rotação de marcha lenta ou para uma rotação intermediária (débito menor que o débito máximo).

#### 6.2.1 - Encosto elástico para rotação de marcha lenta

Trata-se de uma bucha com rosca externa e de um pino saliente sob força de uma mola. Para débito de marcha lenta, a alavanca estará apoiada no pino saliente. Para a parada do motor, a alavanca deverá ser levada, contra a força da mola, para a posição de "stop".

#### 6.2.2 - Encosto para rotações intermediárias

Este encosto determina um ponto fixo de ajuste para um débito que seja menor que o débito máximo ou, conforme o tipo de

regulador, para uma rotação intermediária.

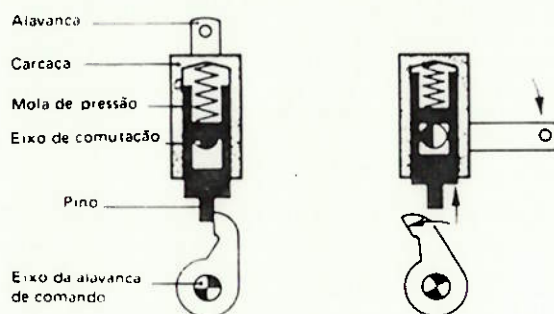


Figura 6.1 - Encosto para Rotações Intermediárias

Na Figura 6.1 vemos um pino que pode ocupar duas posições diferentes. Numa delas, a alavanca de comando encosta no pino limitando seu curso numa posição intermediária. Se o pino for levado para a outra posição, através da ação da alavanca, a alavanca de comando é libertada e pode chegar ao final de seu curso.

### 6.3 - Encostos da haste de regulagem

Além dos encostos da alavanca de comando, são necessários encostos para a haste de regulagem. Existem vários tipos: rígidos e elásticos para débito máximo, com débito de partida mecânico ou eletromagnético; batentes com dispositivo de aproximação; batentes de débito máximo com funções especiais de correção. Veremos alguns tipos de batentes para montagem no regulador.

### 6.3.1.- Batente rígido para débito de partida

Empregado principalmente em reguladores RQ com baixa rotação de marcha lenta. Quando o motor entrar em funcionamento, o débito de partida é cortado pelo regulador, evitando a formação de fumaça (Figura 6.2).

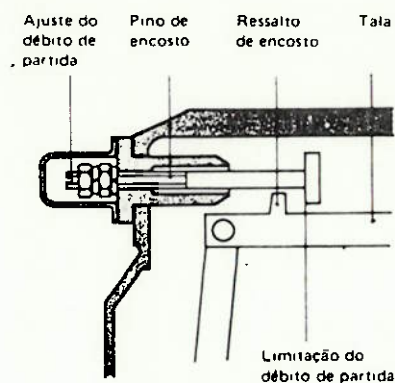


Figura 6.2 - Batente Rígido de Débito de Partida

### 6.3.2 - Batente elástico para débito de partida

Empregado em reguladores RQ. Ao pisarmos o acelerador até o fundo, o pino de encosto vai para a posição de débito de partida, vencendo a força da mola. (Figura 6.3).

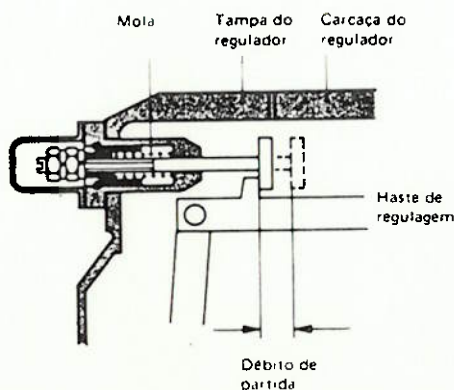


Figura 6.3 - Batente Elástico para Débito de Partida

A possibilidade da inclusão do débito de partida quando a celeramos rapidamente a partir da marcha lenta não existe pois a mola do batente atua contra a mola de marcha lenta, antecipando, assim, o retorno da haste de regulagem da sua posição de partida.

### 6.3.3 - Batente automático do débito máximo

Empregado em reguladores do tipo RQ. Com o motor parado, as molas dos contrapesos centrífugos superam, agindo sobre o pino de regulagem, a força da mola da alavanca basculante. Assim, a alavanca basculante empurra para baixo a tala de encosto, com o ressalto de plena carga (Figura 6.4).

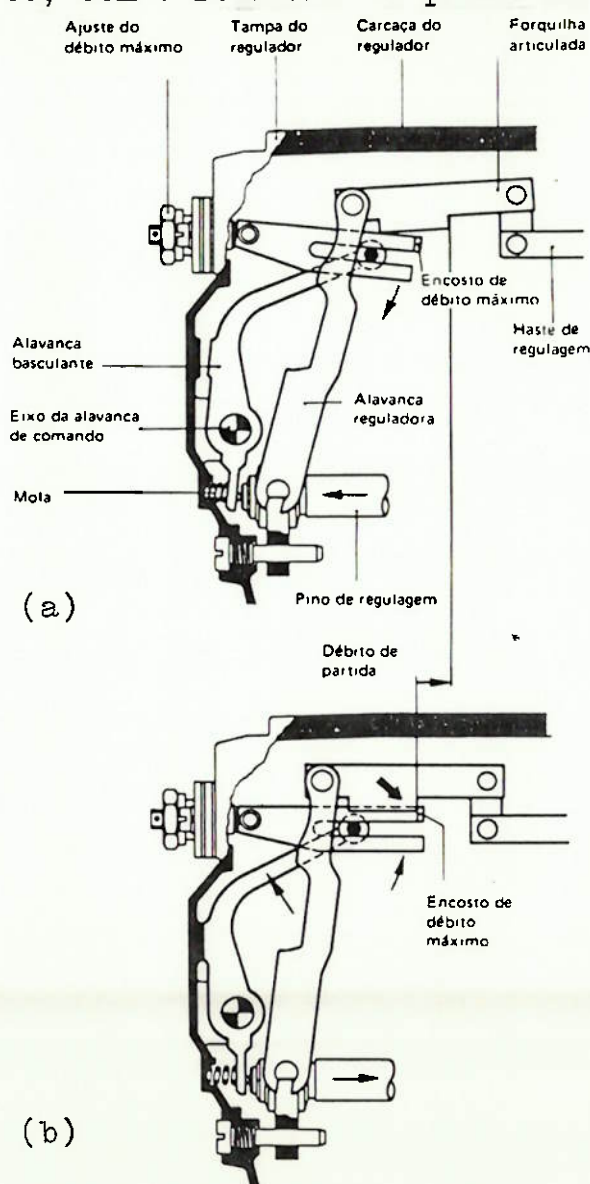


Figura 6.4 - Batente Automático

- a) Liberação de Débito de Partida  
 b) Limitação em Débito de Plena Carga

Na partida, a haste de regulagem poderá ir até a posição' de partida. Após a partida, o pino de regulagem se afasta da a lavanca basculante, trazendo a haste de regulagem para um débito menor. Ao mesmo tempo, a mola leva a alavanca basculante pa ra cima, posicionando o ressalto da tala de encosto e limitando o débito de plena carga (Figura 6.4.b).

#### 6.3.4 - Batente com dispositivo de aproximação externo

Empregado em reguladores do tipo RQV. Esse batente possui uma alavanca de tração para débito de partida e um dispositivo de aproximação. Conforme vemos na Figura 6.5, com a limitação' do curso da haste de regulagem em débito máximo, o parafuso de ajuste encosta no pino de trava. Girando-se a alavanca de tração em 90°, o pino de trava girará e a haste de regulagem poderá deslocar-se em direção à posição de partida. O curso deste deslocamento é igual à parte fresada no pino de trava.

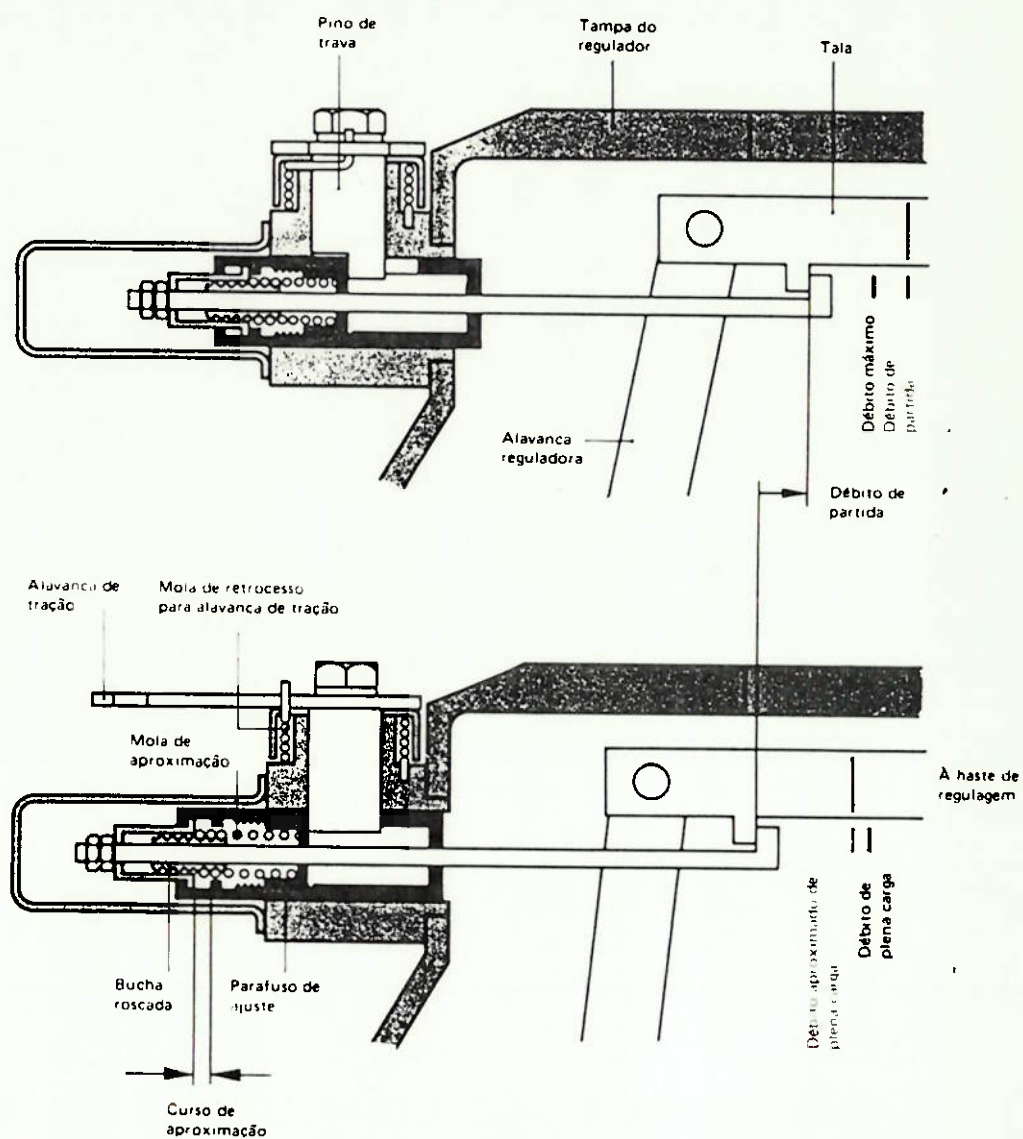


Figura 6.5 - Batente com Dispositivo de Aproximação Externo

A aproximação se realiza através da atuação combinada da mola de tração do regulador e da mola de aproximação, com ambas perfeitamente ajustadas entre si (Figura 6.6).

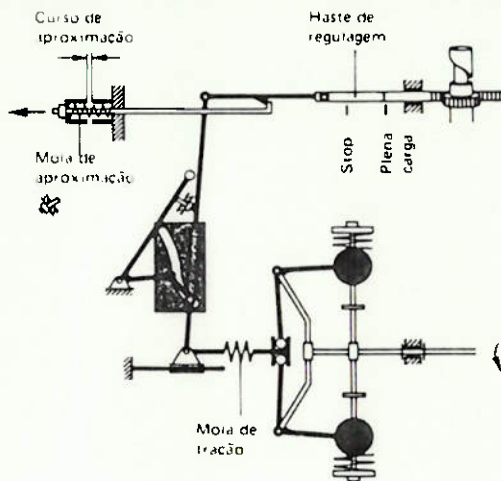


Figura 6.6 - Esquema da Aproximação

Se na alavanca de comando for ajustada uma rotação mais elevada, a mola de tração ficará armada durante a aceleração, sendo simultaneamente comprimida a mola de aproximação é ajustado um avanço maior da haste de regulagem. Aumentando a rotação, os contrapesos centrífugos se abrem e a mola de tração ficará desarmada. Prevalece, então, a força da mola de aproximação, puxando a haste de regulagem em direção a "stop".

O início da aproximação poderá ser ajustado modificando-se a tensão preliminar da mola de aproximação através do parafuso de ajuste (Figura 6.5).

#### 6.3.5 - Batente com dispositivo de aproximação interno

Empregado em reguladores do tipo RQV quando não temos espaço para utilizar o batente com dispositivo de aproximação externo.

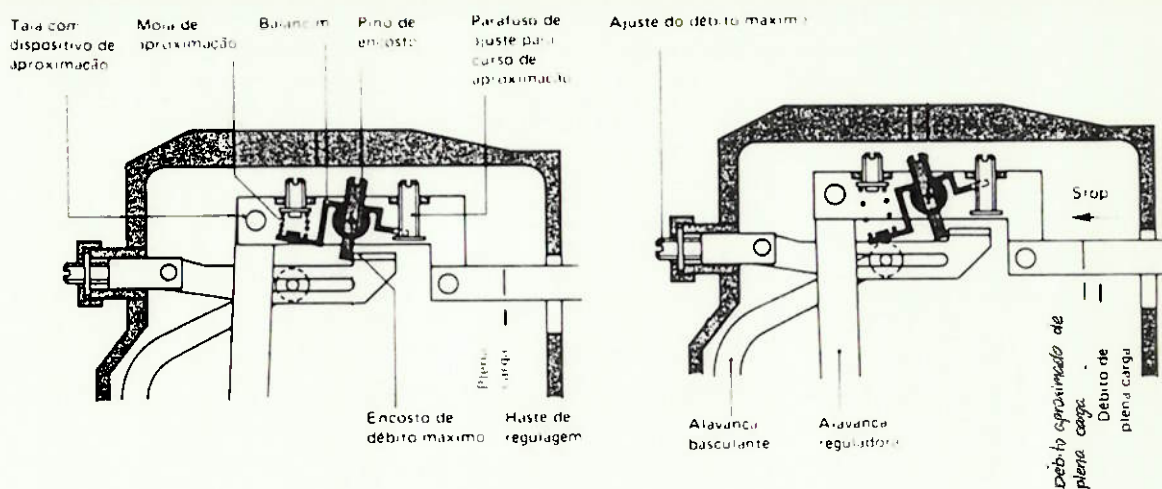


Figura 6.7 - Batente com Dispositivo de Aproximação Interno

Na aceleração do motor, a haste de regulagem é deslocada em direção a débito máximo através da tala. Assim, a mola de tração do pino de regulagem é armada e o pino de encosto encontra o encosto de débito máximo, comprimindo a mola de aproximação através do balancim. Quando a rotação aumentar e os contrapesos se abrirem e desarmarem a mola de tração, a força da mola de aproximação prevalecerá. Com isto, o balancim se move puxando a haste de regulagem em direção a "stop".

#### 6.3.6 - Limitador de fumaça (LDA)

Em motores com turbo-compressor, o débito máximo é ajustado em função da pressão do turbo. No âmbito inferior de rotações, a pressão no turbo é mais baixa, sendo menor a massa de ar colocada nos cilindros. Torna-se necessária uma aproximação do débito máximo a essa menor quantidade de ar. Isto é obtido através do limitador de fumaça (LDA) que diminui o débito máximo no âmbito inferior de rotações a partir de um determinado valor de pressão no turbo.

Alguns limitadores de fumaça podem ser montados no regulador e outros na bomba injetora. Descreveremos aquele montado nos reguladores do tipo RSV (todos os tipos têm construção similar).

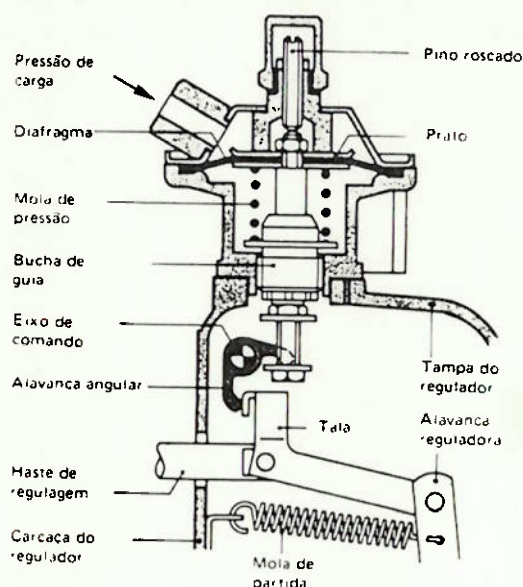


Figura 6.8 - Limitador de Fumaça (LDA)

A descrição do LDA pode ser acompanhada pela Figura 6.8. Entre a carcaça e a tampa temos o diafragma. De um de seus lados temos uma conexão com a pressão de carga do turbo-compressor e do outro, uma mola que se apoia numa bucha de guia rosca. Assim, a carga inicial sobre a mola pode ser ajustada por meio desta bucha. Preso ao diafragma através do prato temos um pino em cuja extremidade inferior há um parafuso com contraporca. A cabeça deste parafuso transmite o movimento do pino (e portanto, do diafragma) à haste de regulação através de uma alavanca angular. Ajustes podem ser feitos através do pino rosado, na parte superior do LDA.

Desta forma, sempre que o diafragma receber pressão de carga, o pino se move em direção contrária à força da mola, permi

tindo que a haste de regulagem se mova em direção a débito máximo. Diminuindo a pressão de carga, haverá um retorno do diafragma pela ação da mola e a haste de regulagem é puxada em direção a "stop".

Para que a haste de regulagem alcance a posição de partida, a alavanca angular é deslocada lateralmente (Figura 6.9).

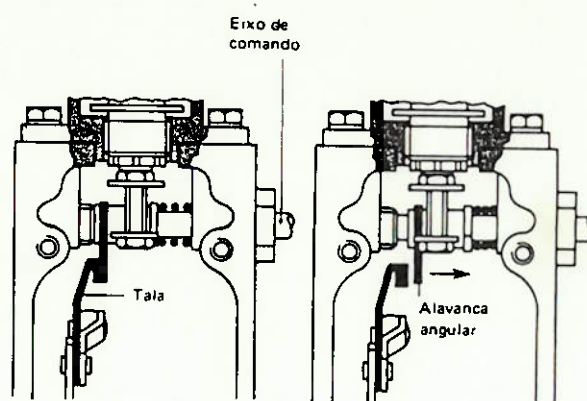


Figura 6.9 - Posição de Partida do LDA

Este deslocamento da alavanca é obtido por meio de um cabo flexível, sistema de alavancas de acionamento manual ou por acionamento eletromagnético (eletro-ímã que atua durante a partida).

#### 6.3.7 - Batente barométrico (ADA)

Quando temos um veículo transitando por uma região onde podem ocorrer acentuadas diferenças de altitude, devemos providenciar uma correção no volume de combustível injetado devido à deficiência do enchimento de ar dos cilindros do motor em altitudes elevadas. Esta correção é feita pelo batente barométrico "ADA", empregado em reguladores do tipo RQ e RQV.

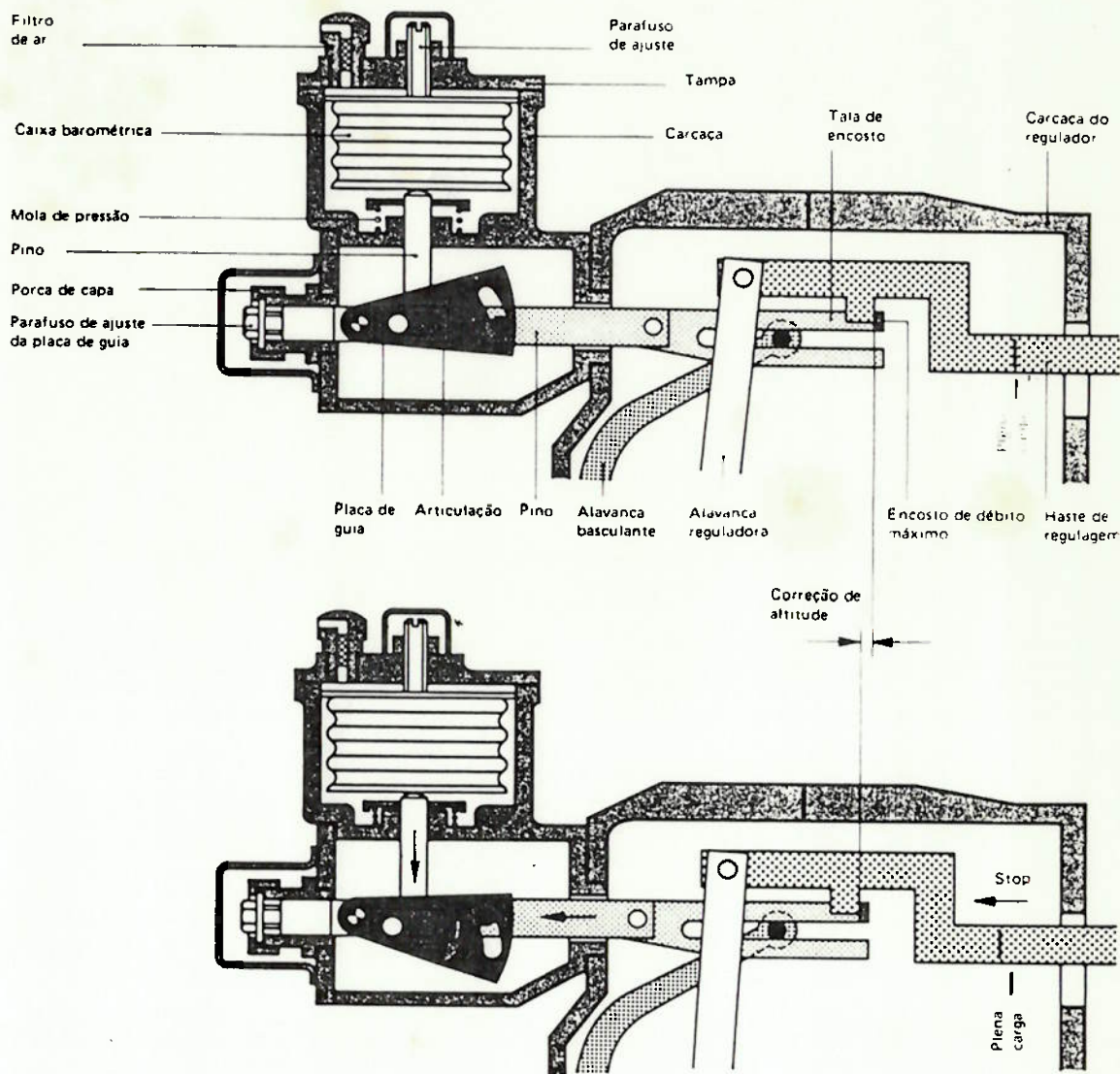


Figura 6.10 - Batente Barométrico "ADA"

Neste batente temos uma caixa barométrica, montada verticalmente, que pode ser ajustada a uma determinada altitude por meio de um parafuso de ajuste e de um pino que se acha sob a força de uma mola. Ao diminuir a pressão atmosférica, ocorre

um aumento no comprimento da caixa barométrica. Este aumento ' de comprimento é transmitido à placa de guia através do pino e da articulação. Assim, a placa de guia atua sobre o pino que se acha ligado à tala de encosto, puxando a haste de regulação em direção a "stop". O parafuso de ajuste da placa de guia per mite, ainda, o ajuste do débito máximo.

BIBLIOGRAFIA

- ARMSTRONG, L.V. "THE DIESEL ENGINE"  
The Macmillan Company, New York, 1959
- BOSCH "APOSTILAS TÉCNICAS - EQUIPAMENTO DE  
INJEÇÃO PARA MOTORES DIESEL
- BURMAN, Paul G. "FUEL INJECTION AND CONTROLS"  
Simmons - Boardman Publishing Corp.  
New York, 1962
- DUBBEL "MANUAL DA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS"  
Hemus Livraria Editora Ltda, São Paulo, 1979
- HELDT, P.M. "HIGH SPEED COMBUSTION ENGINES"  
Chilton Company Publishers, Philadelphia,  
1956
- MALEEV, V.L. "INTERNAL - COMBUSTION ENGINES"  
McGraw Hill Book Company Inc., New York,  
1945
- MORRISON, L.H. "DIESEL ENGINES - A COMPLETE DIESEL HOME  
STUDY COURSE"  
Diesel Publications Inc., New York, 1944
- OBERT, Edward F. "MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA"  
Editora Globo, Porto Alegre, 1971
- PETROVSKY, N. "MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES"  
MIR Publishers, Moscow, 1967