

A **direção dinâmica** ou **ativa** resulta da aplicação de um conceito de direção através do qual, o ângulo de giro aplicado ao volante pode ser aumentado ou diminuído, resultando num ângulo de esterçamento das rodas, maior ou menor que aquele aplicado pelo volante. Esta variação do ângulo é função da velocidade do veículo e da velocidade de movimentação do volante. Isto se consegue integrando um atuador eletro-mecânico no sistema, em algum ponto da coluna de direção, entre o volante e a caixa de direção.

Este atuador, controlado por um módulo de comando dedicado, possui um conjunto de engrenagens acionado por um motor elétrico, através do qual pode ser adicionado ou subtraído um ângulo àquele aplicado ao volante. Ou seja, permite realizar a superposição de ângulos. Por outro lado, a direção dinâmica permite gerar um ângulo de esterçamento independente do condutor. Nesta situação, a direção ativa funciona como um complemento do sistema de estabilidade dinâmica.

Em resumo, a direção dinâmica permite implementar o conceito de *relação de esterçamento* variável. Com base na fórmula [1], isto se consegue, como mencionado acima, modificando o ângulo de giro aplicado pelo volante.

[1] Relação de Direção ou de Esterçamento = Ângulo de giro do volante / Ângulo de esterçamento das rodas

1. Em baixa velocidade ou com o veículo parado, há uma variação acentuada do esterçamento para um dado ângulo de giro do volante, o que facilita manobras de estacionamento, por exemplo. Ou seja, há um aumento da relação de transmissão da direção

O ângulo adicionado depende também, da velocidade com que é girado o volante. Quanto mais rápida é a movimentação, maior será o ângulo adicionado àquele do volante. Isto contribui para reduzir o tempo de resposta da direção ao giro do volante.

Ou seja, em manobras de baixa velocidade ou de condução exigente em estrada sinuosa, é reduzido o ângulo necessário de giro do volante provocando mais facilmente, a viragem efetiva do veículo.

2. Por outro lado, em alta velocidade (acima de 100 km/h) a relação de transmissão da direção é reduzida se comparada com o sistema convencional. Neste caso, a direção ativa atua no sentido contrário ao ângulo de giro aplicado pelo condutor ao volante, reduzindo-o. Ou seja, um determinado ângulo de giro do volante gera um ângulo de esterçamento efetivo menor. A ação da direção ativa torna-se assim, mais indireta. Como resultado disto:

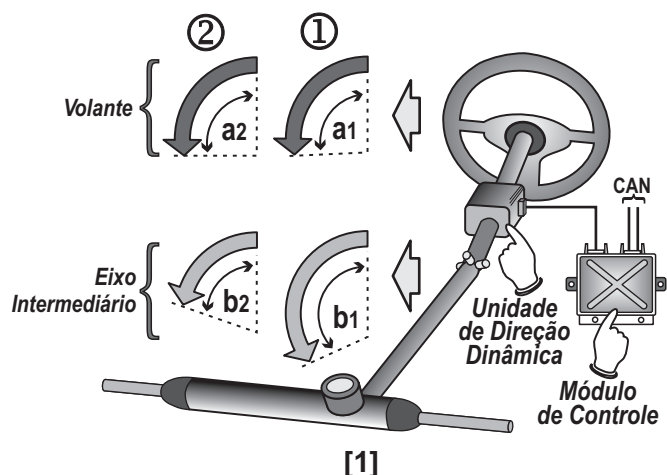
- ▶ Diminui a possibilidade de perda do controle do veículo por uma eventual movimentação brusca do volante.
- ▶ Na condição de alta velocidade, a direção ativa permite que o volante oscile levemente sem que resulte numa reação imediata de esterçamento, aumentando assim, a estabilidade e evitando a sensação de perda de controle.
- ▶ Numa eventual situação de escorregamento, o módulo de controle comanda, automaticamente, o esterçamento no sentido contrário.

Nestes casos, é a unidade de comando que decide se o ângulo deve ser alterado e em que valor.

3. Nos veículos equipados com sistema de estabilidade, este poderá agir sobre a dinâmica do veículo não só pela ação do sistema de frenagem ABS/TC, mas também, através da direção ativa com a vantagem de que esta intervenção é rápida e pouco perceptível para o condutor.

A figura [1] exemplifica os conceitos apresentados acima. A situação [1] corresponde à condição de baixa velocidade. Reparar que um determinado ângulo de giro do volante **a1** resulta num ângulo **b1** maior do eixo intermediário.

Já, a situação [2] corresponde à condição de alta velocidade. Neste caso, o ângulo de giro **a2** resulta no ângulo **b2** menor.



Por outro lado, se, ao girar o volante, as condições de condução não requerem um ângulo adicional, o atuador permanece inativo.

Nesse caso, existe uma conexão mecânica direta entre o volante e a caixa de direção como é o caso de um sistema convencional.

Desta forma, a direção dinâmica possibilita uma variação contínua da taxa de esterçamento dependente da condição de movimentação do veículo.

Reparar que nos sistemas convencionais, a relação entre o volante e as rodas permanece constante independentemente da velocidade.

A tabela da figura [2] apresenta um comparativo do desempenho típico de veículos com e sem direção dinâmica. Reparar na característica do veículo sem direção ativa que apresenta a mesma relação de esterçamento em toda a faixa de velocidade.

Já, aquele com direção ativa apresenta uma melhora na manobrabilidade em baixa velocidade (com aumento do ângulo de esterçamento para um mesmo giro do volante) e aumento de segurança na alta (com a diminuição do ângulo de esterçamento efetivo).

Ângulo do Volante	Ângulo do Atuador	Ângulo do Pinhão	Ângulo de Esterçamento	
100°		100°	6°	sem Direção Dinâmica
	+25°	125°	7,5°	com Direção Dinâmica (20 km/h)
	-25°	75°	4,5°	com Direção Dinâmica (120 km/h)

[2]

Em todas as configurações atuais, a direção dinâmica é uma funcionalidade adicionada a sistemas de *direção assistida*, seja esta elétrica ou hidráulica.

Os tipos de atuador utilizados atualmente são:

1. Engrenagem harmônica
2. Conjunto planetário/roda de coroa

Em ambos os casos, os atuadores cumprem a função de variar a relação de transmissão entre o ângulo de rotação do volante e o ângulo de rotação do eixo intermediário. Nas baixas velocidades a relação de transmissão é de incremento. Nas altas velocidades é de redução.

Nos atuadores mencionados, o ângulo adicionado ou subtraído, se consegue através de um motor elétrico controlado por um módulo de comando eletrônico dedicado.

O sistema, constituído pela **unidade de direção dinâmica** (atuador) e o **módulo de comando**, transmite às rodas, o ângulo aplicado ao volante pelo condutor mais o ângulo de superposição (de adição ou subtração) gerado pelo motor elétrico de controle.

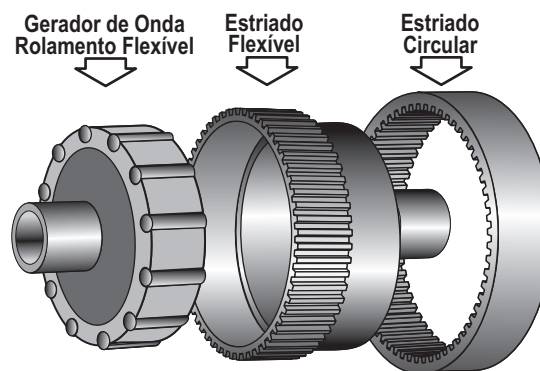
ENGRENAGEM HARMÔNICA

As características mais relevantes da engrenagem harmônica são:

- ▶ Elevada relação de transmissão
- ▶ Alta relação torque/peso
- ▶ Eliminação da folga entre engrenagens

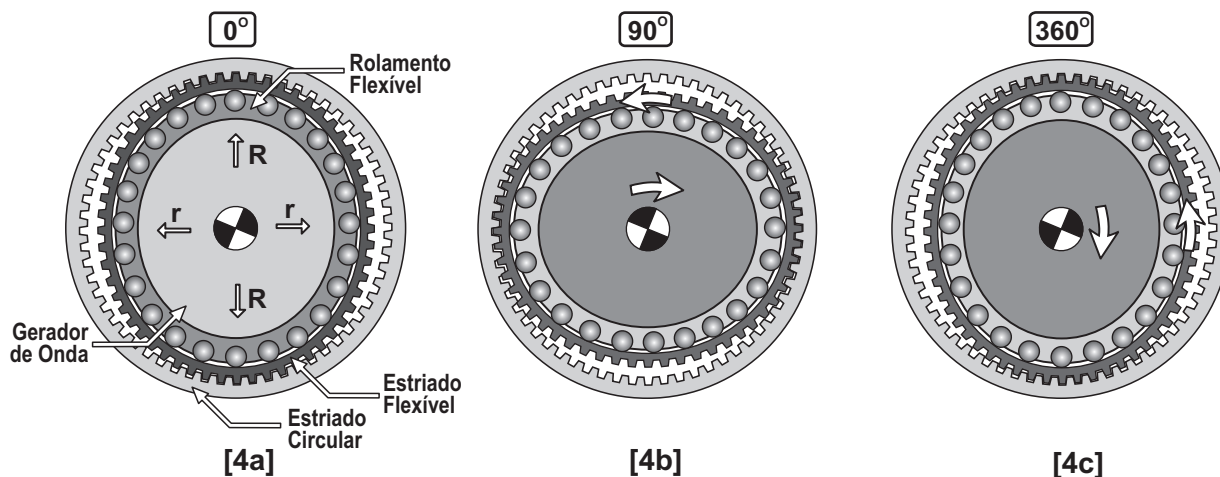
São seus componentes (fig.[3]):

1. **Gerador de onda.** É um conjunto formado por um disco de aço de forma elíptica, circundado por um rolamento flexível o qual adota, também, a forma elíptica.
2. **Estriado flexível.** É um copo de aço de parede fina com dentes maquinados na superfície externa, arredor da abertura do copo. O grande diâmetro do copo (em relação à espessura da parede) lhe outorga a necessária flexibilidade mantendo a rigidez torcional. O gerador de onda é instalado dentro do estriado flexível que assume assim, a forma oval. Em funcionamento, o copo estriado vai se deformando assim que o conjunto *disco/rolamento flexível* gira dentro dele. No entanto, o stress resultante da onda de deformação à qual é submetido, é bem inferior ao limite máximo suportado pelo material.
3. **Estriado circular.** É um anel de aço rígido com dentes internos dentro do qual é encaixado o conjunto *gerador de onda/estriado flexível*. Os dentes do estriado flexível engrenam com os correspondentes do estriado circular, nos pontos extremos do eixo maior (**R-R**) da elipse (ver figura [4] na página seguinte). Em função dos dentes terem certa altura, o contato se dá, não só em dois pontos, mas, entre os dentes em torno dos extremos do eixo maior da elipse. Na realidade, até 30% dos dentes em torno do eixo maior, estão engrenados constantemente. Ao mesmo tempo, em torno do eixo menor (**r-r**) não há contato entre o estriado circular e o flexível. Na aplicação prática deste princípio, o estriado flexível possui **2 dentes a menos** que o estriado circular.



[3]

A figura [4a] apresenta um corte da engrenagem harmônica com a disposição interna dos elementos.



Funcionamento

Ao girar, o gerador de onda aplica ao estriado flexível um perfil elíptico ou oval, que se movimenta de forma circular. Como resultado, os pontos de engrenamento entre os estriados flexível e circular (extremos do eixo maior R-R da elipse) vão se deslocando de forma rotativa. Ao mesmo tempo, se produz o desengrenamento dos dentes em torno do eixo menor r-r da elipse do gerador de onda.

Sendo que o estriado flexível possui 2 dentes a menos que o estriado circular e, em função do total desengrenamento possibilitado pela forma elíptica do gerador de onda, cada revolução completa deste provoca o deslocamento de 2 dentes do estriado flexível com relação ao estriado circular, supondo este último estacionário (fixo). Este deslocamento é no sentido contrário ao de rotação do gerador de onda.

Se o gerador de onda gira no sentido horário (como indicado nas figuras [4b] e [4c]), o estriado flexível o faz no anti-horário e vice-versa. Desta forma, a engrenagem harmônica funciona como um redutor de rotação. Como resultado do deslocamento de somente 2 dentes, a cada revolução do gerador de onda, o estriado flexível se movimenta com velocidade de rotação consideravelmente menor. Nesta configuração, o gerador de onda funciona como elemento de entrada e o estriado flexível como elemento de saída.

A relação de redução depende do número de dentes do estriado circular supondo que em todas as aplicações o estriado flexível possui 2 dentes a menos.

Assim, se o estriado circular possui 102 dentes, o flexível tem 100. Neste caso, portanto, serão necessários 50 giros do gerador de onda para que o estriado flexível complete uma rotação completa. Em função de serem opostos os sentidos de rotação, a relação de redução resulta negativa e igual a -50:1.

Para esta configuração de engrenagem harmônica, portanto, a relação de redução pode ser calculada dividindo o número de dentes do estriado flexível por 2. Mais detalhes no item “Configurações”, a seguir.

Configurações

Além de funcionar como redutor de rotação, a engrenagem harmônica possibilita outras configurações de funcionamento, dependendo de qual o componente que atua como elemento fixo, qual o elemento de entrada e qual o de saída. De certa forma, as possíveis configurações resultam similares àquelas de um conjunto planetário. Para a análise a seguir, são definidas as seguintes relações:

[2] $RD = \text{Relação de Dentes} = dEC / (dEC - dEF)$ com: $dEC = \text{número de dentes do estriado circular}$
 $dEF = \text{número de dentes do estriado flexível}$

[3] $RT = \text{Relação de Transmissão} = \text{Rotação de Entrada} / \text{Rotação de Saída}$

As figuras a seguir ilustram algumas das possíveis configurações, entre as quais, a de redutor de rotação já analisada.

Figura [5a]: *Estriado circular: fixo.* Gerador de onda: **entrada**. Estriado flexível: **saída**. Nesta configuração a engrenagem harmônica atua como redutor de rotação com alta relação de transmissão.

Relação de transmissão: $RT = -RD$ (sentido de rotação oposto)

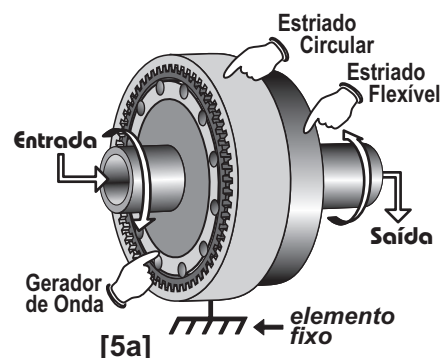
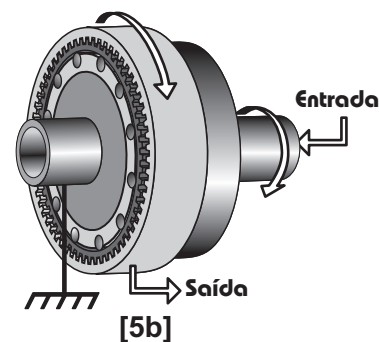


Figura [5b]: Gerador de onda: **fixo**. Estriado flexível: **entrada**. Estriado circular: **saída**. Nesta configuração a engrenagem harmônica atua como redutor de rotação com baixa relação de transmissão; praticamente, 1:1.



Relação de transmissão: $RT = (RD + 1) / RD$ (mesmo sentido de rotação)

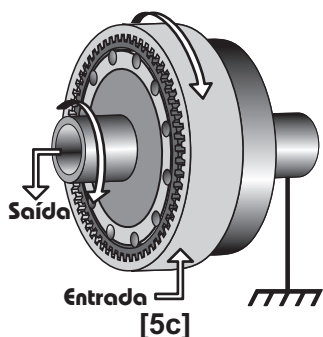
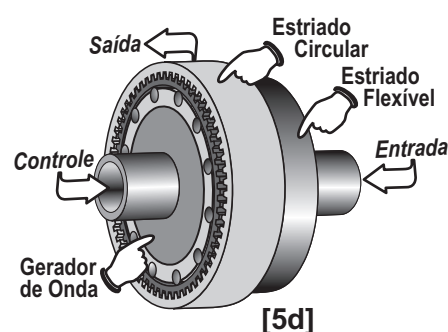


Figura [5c]: Estriado flexível: **fixo**. Estriado circular: **entrada**. Gerador de onda: **saída**. Nesta configuração a engrenagem harmônica atua como incrementador de rotação.

Relação de transmissão: $RT = 1 / (RD + 1)$ (mesmo sentido de rotação)

Figura [5d]: Esta configuração permite obter várias funções diferenciais através da combinação de velocidades e sentidos de rotação dos 3 componentes básicos da engrenagem harmônica.

Uma das funcionalidades destas funções diferenciais é a de **superposição** (adição ou subtração) de velocidades e ângulos de rotação. Ou seja, permite implementar mecanismos com **relação de transmissão variável** entre a entrada e a saída.



Como exemplo será analisada a configuração utilizada nos atuadores dos sistemas de direção dinâmica. Neste caso, o estriado flexível é o elemento de **entrada**, o estriado circular é o elemento de **saída** e o gerador de onda opera como elemento de **controle**. Em todos os casos, este último é acionado por um motor elétrico.

A relação de transmissão considerada para este exemplo é a que existe entre o estriado flexível e o circular que, como será visto a seguir, pode ser variada em função da velocidade e sentido de rotação do gerador de onda.

Em função do estado de funcionamento do motor elétrico que controla a velocidade e sentido de rotação do gerador de onda, podem se apresentar as seguintes situações:

1. **Motor elétrico desligado.** O gerador de onda **GO** gira livre, acompanhando o estriado flexível. O estriado flexível **EF** (entrada), juntamente com o gerador de onda **GO**, e o circular **EC** (saída) giram com a mesma velocidade. A relação de transmissão é 1:1.
2. **Motor elétrico funcionando.** Dependendo do sentido de giro e velocidade de rotação do gerador de onda, será a movimentação relativa entre o estriado flexível e o circular.
 - a) Gerador de onda **GO** e estriado flexível **EF** girando em sentidos opostos. Neste caso, o estriado circular **EC** (saída) e o flexível **EF** (entrada) giram no mesmo sentido. Verifica-se um incremento de velocidade do estriado circular com relação à do estriado flexível. Aplicando a fórmula [4] surge que esse aumento de rotação resulta proporcional à velocidade de rotação do gerador de onda **rotGO**.

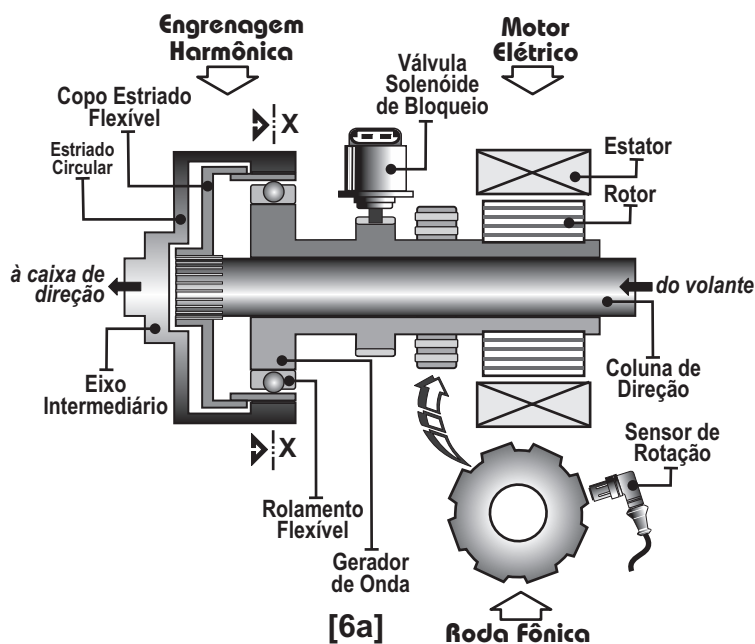
$$[4] \text{ rotEC} = \text{rotEF} + \text{rotGO}/RT \quad \text{com} \quad \begin{aligned} RT &= \text{Relação de transmissão entre GO e EF} \\ \text{rotEC} &= \text{Velocidade de rotação do estriado circular} \\ \text{rotEF} &= \text{Velocidade de rotação do estriado flexível} \\ \text{rotGO} &= \text{Velocidade de rotação do gerador de onda} \end{aligned}$$

- b) Gerador de onda **GO** e estriado flexível **EF** (entrada) girando no mesmo sentido. Neste caso, a relação **RT** é negativa. Assim, com base na fórmula [4], surgem as seguintes situações:
 - ▶ Na condição de **rotGO/RT** menor que **rotEF**, o estriado circular **EC** (saída) gira no mesmo sentido que **EF** (entrada), mas, com velocidade menor. A velocidade diminui com o aumento de **rotGO** (supondo que **rotEF** permanece constante) até se anular (**EC** fica estacionário) quando **rotGO = rotEF**.
 - ▶ Na condição de **rotGO/RT** maior que **rotEF**, o estriado circular **EC** gira em sentido oposto ao do estriado flexível **EF**. A velocidade do estriado circular **EC** aumenta com o aumento de **rotGO** supondo que **rotEF** não varia.

DIREÇÃO DINÂMICA COM ENGRENAGEM HARMÔNICA

O elemento principal deste sistema é um atuador eletromecânico que utiliza uma **engrenagem harmônica** como dispositivo de superposição de ângulos.

Como exemplo será utilizado o sistema fabricado pela ZF o qual pode ser instalado na coluna de direção ou na caixa de direção. São seus componentes (fig.[6]):

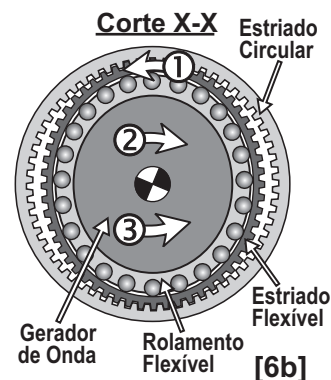


1. **Engrenagem harmônica.** Funciona como elemento de superposição de ângulos. O estriado flexível é o elemento de **entrada** (solidário ao volante), o estriado circular é o elemento de **saída** (ligado ao eixo intermediário ou ao pinhão) e o gerador de onda opera como elemento de **controle** acionado por um motor elétrico. Nesta aplicação, o estriado circular possui 2 dentes a mais (102) que o flexível (100). Isto resulta numa relação de transmissão de 50:1 entre o gerador de onda e o estriado flexível. Ou seja, são necessárias 50 rotações do gerador de onda para adicionar um giro completo do volante.

2. **Motor elétrico.** É um motor DC sem escovas, solidário ao eixo do gerador de onda. No eixo está instalada a roda fônica de sensoriamento da rotação do gerador de onda.

3. **Solenóide de bloqueio.** Na condição de desativado, uma mola interna estende o pino que trava a engrenagem instalada no eixo do motor elétrico impedindo a rotação do gerador de onda. Ao ligar o motor do veículo, o módulo energiza o solenóide de bloqueio o que provoca a retração do pino destravando assim, o eixo do motor. Desta forma, fica liberada a ação do atuador da direção dinâmica.

4. **Módulo de controle.** Através da rede CAN se comunica com a UC de estabilidade ESC.



■ **Funcionamento**

Ao movimentar o volante, o ângulo de giro aplicado se transmite ao eixo intermediário ou à caixa de direção, com a relação de transmissão determinada pela engrenagem harmônica. Dependendo da velocidade do veículo e da movimentação do volante, o motor elétrico é acionado gerando a superposição de ângulos. Num sentido de rotação do motor elétrico são somados os ângulos de giro do gerador de onda e do estriado flexível solidário ao volante. No outro sentido, há subtração de ângulos.

Lembrar que no caso do exemplo são necessárias 25 rotações do gerador de onda para adicionar ou subtrair meio giro do volante.

Por exemplo, para o sentido 1 de giro do volante, aplicado ao estriado flexível, como indicado na figura [6b]:

- ▶ Com o gerador de onda girando no sentido 2 há soma de ângulos (superposição positiva), ou seja, aumento do ângulo de esterçamento. Este é o comportamento do sistema em velocidades médias e baixa.
- ▶ Com o gerador de onda girando no sentido 3 há subtração de ângulos (superposição negativa), ou seja, diminuição do ângulo de esterçamento. Este é o comportamento do sistema em velocidades altas. Nesta situação, um determinado ângulo de giro aplicado ao volante gera um ângulo de esterçamento das rodas menor que o mesmo ângulo aplicado ao volante em baixa velocidade.



Como auxílio à visualização do apontado acima, ver exemplo da figura [4].

- ▶ Como complemento ao sistema de estabilidade dinâmica, o sistema atua também, de forma autônoma (sem intervenção do condutor) no caso de tendência rotacional em torno do eixo vertical do veículo como, por exemplo, nos casos de frenagem em piso com diferentes graus de atrito ou em curvas acentuadas em alta velocidade. Nestas situações, a direção ativa corrige em até +/- 4 ou 5 graus, o ângulo de esterçamento no sentido de compensar o momento de rotação gerado em torno do eixo vertical do veículo.

DIREÇÃO DINÂMICA COM CONJUNTO PLANETÁRIO

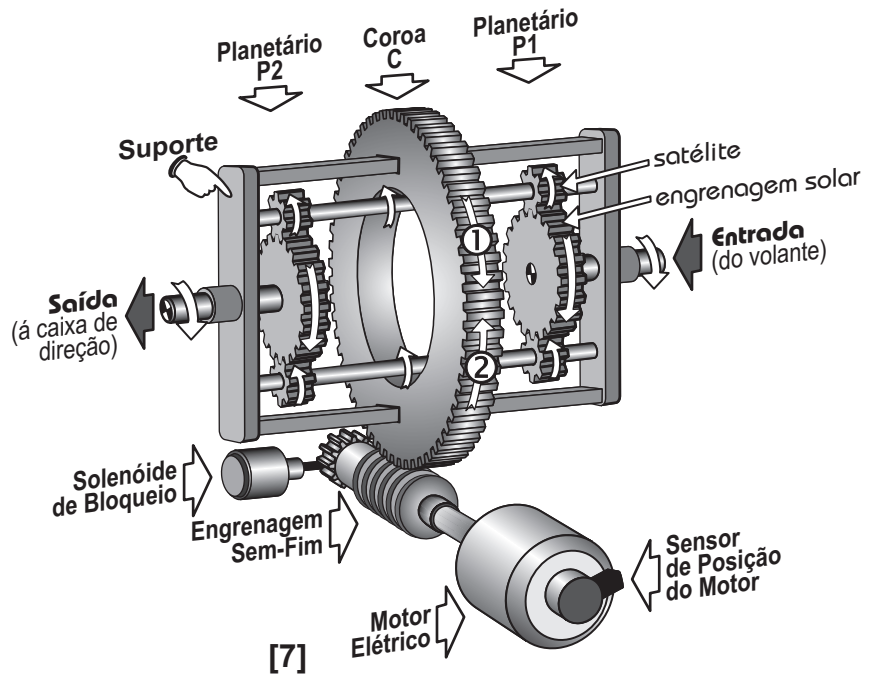
O elemento principal deste sistema é um atuador eletromecânico que utiliza um conjunto planetário como dispositivo de superposição de ângulos (fig.[7]). São seus componentes:

1. **Conjunto planetário de dois estágios.** Os dois conjuntos planetários, P1 e P2, com seus satélites conectados por eixos, estão instalados no suporte solidário à roda de coroa C.

O suporte forma, com seus satélites, a conexão mecânica entre a engrenagem solar de entrada e a engrenagem solar de saída.

Com o motor elétrico desligado (engrenagem sem-fim parada), o suporte e a roda de coroa permanecem estacionários em posição fixa.

Nesta condição, o ângulo de giro aplicado no eixo de entrada se transmite, através da ação dos satélites, à saída, com a relação de transmissão dos conjuntos planetários P1 e P2.



Em função dos satélites serem de diâmetros diferentes (os do planetário P1 são de diâmetro maior que os do P2) existe, entre o volante e o pinhão, uma relação de redução de ângulo de giro. Por exemplo, de 1:0,75.

2. **Motor elétrico.** É um motor DC sem escovas com sensor de posição na parte posterior. Aciona, através de uma engrenagem sem-fim, a roda de coroa a que por sua vez, movimentada o suporte do conjunto planetário.
3. **Solenóide de bloqueio.** Na condição de desativado, uma mola interna estende o pino que trava a engrenagem sem-fim o que impede a movimentação do suporte. Ao ligar o motor do veículo, o módulo energiza o solenóide de bloqueio o que provoca a retração do pino destravando assim, a engrenagem sem-fim. Desta forma, fica liberada a ação do atuador da direção dinâmica.
4. **Módulo de controle.** O sentido de rotação, a velocidade e o tempo de acionamento do motor DC são controlados pelo módulo de controle a partir da informação recebida do sensor de posição localizado na parte posterior do motor. Por sua vez, com esses valores, o módulo calcula a posição do volante. Isto contribui para a segurança já que resulta redundante em função de já existir no sistema de "direção assistida" do veículo, o sensor de posição do volante.

■ **Funcionamento**

Ao movimentar o volante, o ângulo de giro aplicado se transmite ao eixo intermediário ou à caixa de direção, com a relação de transmissão do conjunto planetário. Dependendo da velocidade do veículo e de movimentação do volante, o motor elétrico é acionado gerando a superposição de ângulos. Num sentido de giro da engrenagem sem-fim há soma dos ângulos de giro da roda de coroa e do volante. No outro sentido, há subtração de ângulos.

Por exemplo, para o sentido de giro do eixo de entrada indicado na figura:

- ▶ Com a roda de coroa girando no sentido [1] há soma de ângulos (superposição positiva), ou seja, aumento do ângulo de esterçamento. Este é o comportamento do sistema em velocidades médias e baixa.
- ▶ Com a roda de coroa girando no sentido [2] há subtração de ângulos (superposição negativa), ou seja, diminuição do ângulo de esterçamento. Este é o comportamento do sistema em velocidades altas. Nesta situação, um determinado ângulo de giro aplicado ao volante gera um ângulo de esterçamento das rodas menor que o mesmo ângulo aplicado ao volante em baixa velocidade.
- ▶ Como complemento ao sistema de estabilidade dinâmica, o sistema atua também, de forma autônoma (sem intervenção do condutor) no caso de tendência rotacional em torno do eixo vertical do veículo (sobresterçamento) como, por exemplo, nos casos de frenagem em piso com diferentes graus de atrito ou em curvas acentuadas em alta velocidade. Nestas situações a direção ativa corrige em até +/- 4 ou 5 graus, o ângulo de esterçamento no sentido de compensar o momento de rotação gerado.

A DIREÇÃO DINÂMICA E O CONTROLE ELETRÔNICO DE ESTABILIDADE

Trabalhando em conjunto com o sistema de estabilidade ESC e sensores associados, a direção dinâmica é ativada em situações críticas de condução quando dá assistência no controle da estabilidade veicular, através do ajuste controlado do ângulo de esterçamento. Desta forma:

- ▶ A estabilidade geral do veículo é melhorada com a simultânea ação corretiva da frenagem (ABS) e esterçamento das rodas. Isto é mais significativo para velocidades superiores a 100 km/h quando é aproveitada a vantagem de rápida reação da direção ativa.
- ▶ Uma outra vantagem é que nas situações menos críticas de condução, as ações corretivas de frenagem são reduzidas ou até, eliminadas.

O sistema de estabilidade utiliza a função da direção dinâmica tanto nas situações de sobreesterçamento como nas de subesterçamento, assim como nas de frenagem sobre superfícies com diferentes coeficientes de atrito.

■ Direção Ativa Integral

Estes sistemas incorporam a funcionalidade de esterçamento das rodas traseiras como complemento à direção dinâmica, o que ajuda na condução e estabilidade do veículo. São as características mais relevantes:

- ▶ Um círculo de viragem do veículo reduzido com um número menor de giros do volante, ajuda nas manobras de estacionamento e na condução em estradas sinuosas.
- ▶ Com as informações de velocidade do veículo e ângulo do volante, entre outras, o módulo de controle calcula o ângulo de esterçamento com precisão.
 - Com velocidade inferior a 60 km/h, as rodas dianteiras e traseiras esterçam em direções opostas o que reduz o círculo de viragem.
 - Com velocidade superior a 60 km/h, as rodas dianteiras e traseiras esterçam na mesma direção para assegurar uma maior estabilidade.
 - Permite controlar o movimento rotacional em torno do eixo vertical assim como as forças de aceleração lateral, de forma separada e adequada a cada situação, o que favorece a estabilidade.

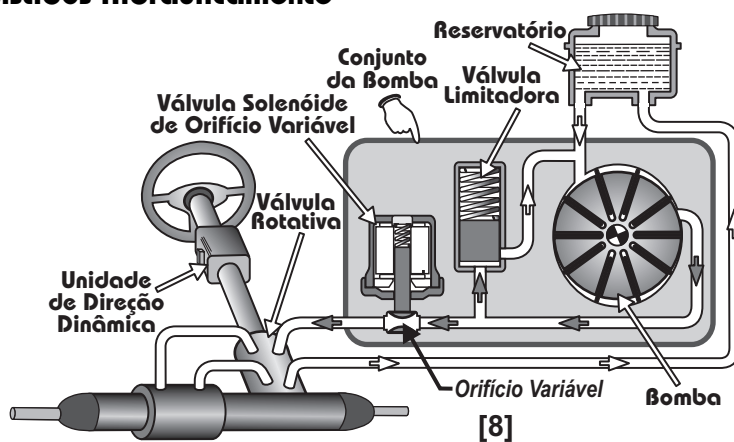
■ Fluxo por Demanda em Sistemas Assistidos Hidraulicamente

Nos sistemas com direção assistida hidraulicamente, e para atender às solicitações da direção dinâmica perante rápidas movimentações do volante, a bomba deve ser de alto desempenho (alto fluxo).

Neste caso, uma bomba convencional produziria esse alto fluxo de fluido permanentemente mesmo não sendo necessário na maior parte das situações.

Isto, em função de serem pouco freqüentes as movimentações rápidas do volante.

Por esta razão, os sistemas de direção dinâmica adotam bombas que fornecem volume de fluido por demanda utilizando controle em malha fechada.



As vantagens são: ▶ *Redução da temperatura do fluido em função da recirculação dentro da própria bomba e não através de todo o circuito hidráulico.*

- ▶ *Redução do consumo de combustível em função da menor solicitação a que é submetida a bomba. Entre 25% e 30% de redução no consumo de potência.*

Uma válvula solenóide regula o fluxo modulando uma restrição (orifício de seção variável) na linha de saída da bomba (fig.[8]). A UC da direção dinâmica controla a válvula com um sinal de ciclo de trabalho variável.

- ▶ Quando o alto fluxo não é necessário, a válvula diminui a seção do orifício o que resulta no aumento de pressão na entrada da mesma. Ao atingir a pressão determinada pela válvula limitadora, esta abre permitindo a recirculação do fluido dentro da própria bomba.
- ▶ Quando necessário o alto fluxo, a válvula aumenta a seção do orifício o que resulta no fechamento da válvula limitadora, permitindo que todo o volume de fluido seja direcionado para a válvula rotativa da direção hidráulica.