

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE METAL MECÂNICA
CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA



ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Molas

Prof. Norberto Moro

FLORIANÓPOLIS - 2015

O ANALFABETO POLÍTICO

"O pior analfabeto é o analfabeto político. Ele não ouve, não fala, nem participa dos acontecimentos políticos. Ele não sabe o custo de vida, o preço do feijão, do peixe, da farinha, do aluguel, do sapato e do remédio, dependem de decisões políticas. O analfabeto político é tão burro que se orgulha e estufa o peito dizendo que odeia a política. Não sabe o imbecil que, da sua ignorância política nasce a prostituta, o menor abandonado, o assaltante e o pior de todos os bandidos, que é o político vigarista, pilantra, lacaio e corrupto das empresas nacionais e multinacionais."

Bertold Brecht

SUMÁRIO

1.	MOLAS _____	05
1.1	GENERALIDADES _____	05
1.2	MOLAS PLANAS _____	06
1.2.1	FLECHA OU DEFLEXÃO DAS MOLAS PLANAS _____	06
1.2.2	MATERIAIS _____	07
1.2.3	MOLAS FLETIDAS _____	09
1.2.4	APLICAÇÕES PARA MOLAS DE FLEXÃO PLANAS _____	09
1.2.5	EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO DAS MOLAS DE FLEXÃO _____	11
1.3	MOLAS HELICOIDAIS _____	14
1.3.1	DESENHO DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	14
1.3.2	APLICAÇÃO DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	17
1.3.3	DEFLEXÃO DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	17
1.3.4	CONSTANTE " K_0 " DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	17
1.3.5	TIPOS DAS EXTREMIDADES DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	18
1.3.7	FLAMBAGEM DAS MOLAS HELICOIDAIS _____	19
1.3.8	DICAS SOBRE MOLAS EM AUTOMÓVEIS _____	19
1.3.9	EXERCÍCIOS PRÁTICOS SOBRE MOLAS HELICOIDAIS _____	23

SIMBOLOGIA

ΔL	Deslocamento da mola plana
$\bar{\sigma}_f$	Tensão admissível ou tensão de projeto das molas planas
b	Largura das molas planas
C	Índice de curvatura das molas
d	diâmetro do fio do arame
D	diâmetro médio da mola helicoidal
D_e	diâmetro externo da mola helicoidal
D_i	diâmetro interno da mola helicoidal
e	Espessura das molas planas
E	Módulo de elasticidade longitudinal
F	Força que atua nas molas
G	Módulo de elasticidade transversal
K_0	Constante elástica das molas helicoidais ou rate da mola
K_s	Fator multiplicativo da tensão cisalhante
L_0	comprimento inicial das molas
M_f	Momento de flexão nas molas planas
N	Número de espiras ATIVAS das molas helicoidais
N_t	Número total de espiras
p	Passo da mola helicoidal
T	Torque aplicado as molas
V	Volume das molas planas
y	flecha ou deflexão das molas
σ_t	Tensão de trabalho, tensão num dado instante qualquer
$\bar{\tau}$	Tensão admissível ou tensão de projeto das molas helicoidais

1. MOLAS

1.1 GENERALIDADES

Denomina-se mola qualquer elemento de máquina capaz de sofrer notáveis deformações elásticas. As molas são usadas em máquinas para exercer forças, proporcionar flexibilidade ou ainda, para armazenar ENERGIA.

Em geral as molas podem ser classificadas como molas de fio ou arame e molas planas, embora haja algumas variações dentro desta divisão.

As molas de fio ou arame incluem duas molas helicoidais feitas de seções circulares, quadrada ou especial e são feitas para resistir a carga de tração, compressão ou torção. Dentre as molas planas, estão incluídos os feixes de mola de suspensão, as molas em lâminas e elípticas, as molas espirais para acionamento de relógios e brinquedos e as molas cônicas geralmente chamadas molas Belleville.

Alguns tipos de molas vistas abaixo:

a) **MOLAS PLANAS** - Neste caso a solicitação é a _____.

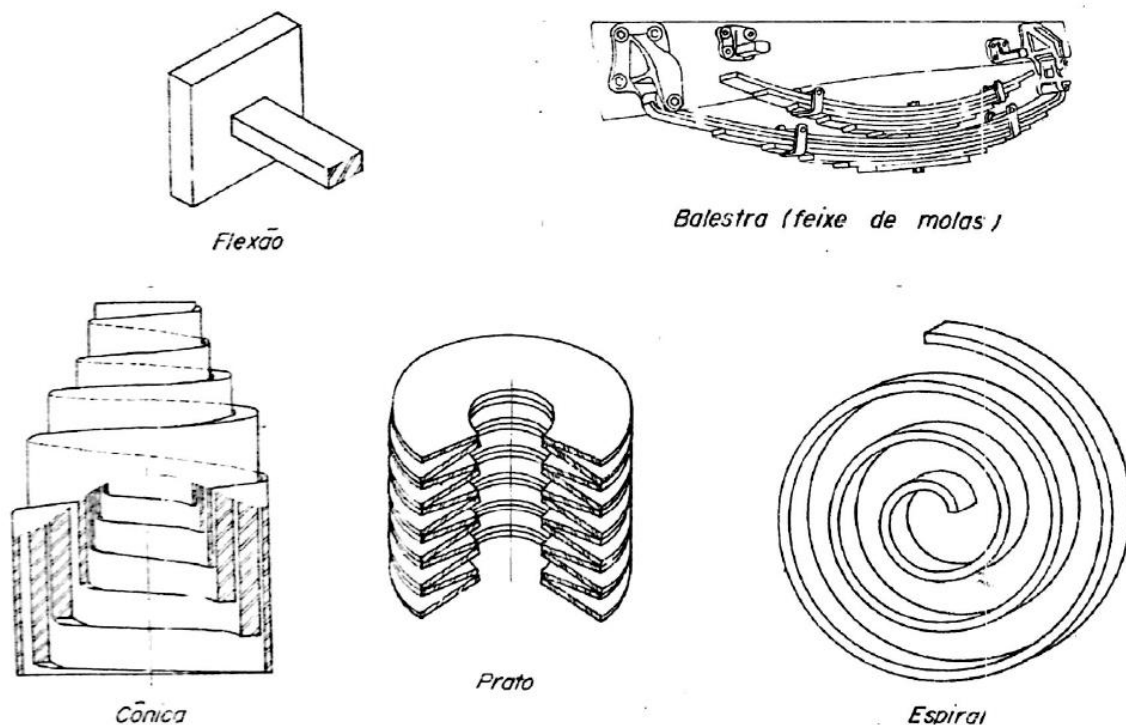


fig. 1.1

b) **MOLAS DE FIO** - neste caso a solicitação mecânica é a _____ ,
 _____ e a _____.

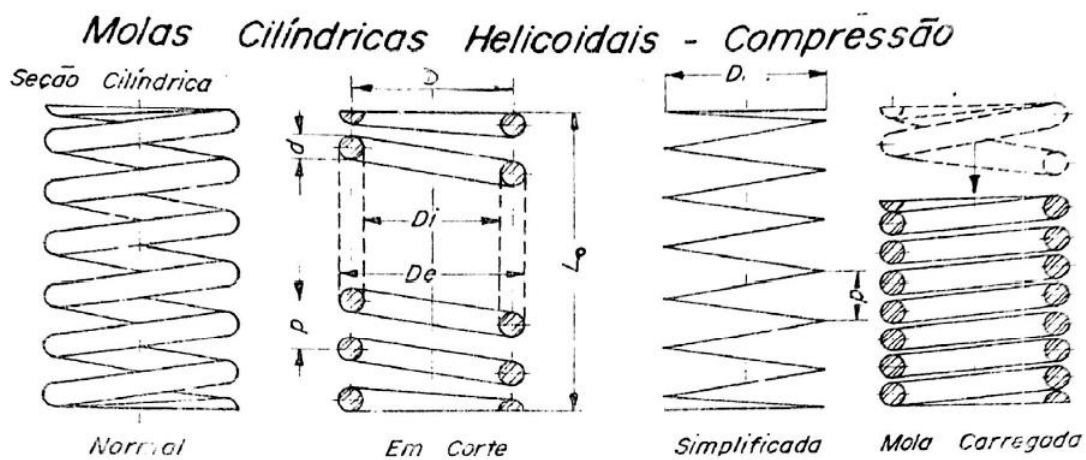


fig 1.2

1.2 MOLAS PLANAS

1.2.1 FLECHA DE UMA MOLA OU DEFLEXÃO DE UMA MOLA PLANA

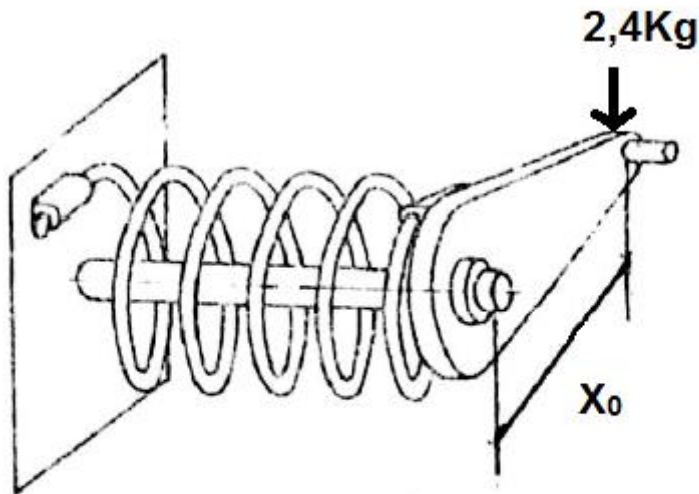
A aplicação de uma força nas extremidades de uma mola, produz um deslocamento do seu ponto de aplicação e a medida desse deslocamento recebe o nome de FLECHA "y" e lembrando aos meus caros alunos revolucionários que essa medida pode ser linear ou angular, como é o caso das molas de torção.

Dentro de certos limites, as flechas são proporcionais às solicitações. Isso equivale a dizer que existe uma relação direta entre a força "F" e as deformações, tornando possível, dessa maneira, a aplicação da regra de três simples na resolução de alguns problemas práticos como vemos abaixo:

a) Aplicou-se 20 Kgf nas extremidades de uma mola e como consequência houve uma distensão de 5 cm. Quantos quilos são necessários para alongá-la de 1,5cm ?



b) Um torque (binário ou momento torsor) de 3Kg. m, aplicado na extremidade de uma mola de torção provoca uma rotação de 15° . Para obter uma rotação de 90° qual deverá ser o momento aplicado?



Helicoidal

1.2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE MOLAS

Os aços para as molas devem apresentar:

- **Alto limite de elasticidade (grande deflexão);**
- **Grande resistência a esforços elásticos;**
- **Alto limite de fadiga.**

Em geral os aços para molas de alto teor de C (mais que 0,5% de C) e são fabricados tanto por processos de trabalho a quente, como de trabalho a frio, dependendo das dimensões e das propriedades desejadas. Em geral, o fio tratado termicamente não deve ser usado, se $D/d < 4$ ou se $d > 6$ mm. Ao enrolarem-se as espiras, induzem-se as tensões residuais com a flexão, porém estas são ortogonais às tensões de trabalho (tensões de torção) nas espiras de mola. Mui frequentemente, no processo de fabricação, estas tensões são aliviadas, após o enrolamento das espiras através de um tratamento térmico suave.

O projetista, hoje em dia, dispõe de uma grande variedade de materiais para as molas, inclusive aço ao carbono, aços-liga, aços resistentes à corrosão, assim como materiais não ferrosos, como bronze fosforoso, latão para molas, ligas de cobre-berilo e muitas ligas de níquel. A descrição dos aços mais comumente usados encontra-se na tabela 1, vista a seguir:

TABELA 1. Aços de Alto Carbono e Aços-Liga para Molas.

Material	Especificações Similares	Descrição
Corda de piano 0,80-0,95C	UNS G10850 AISI 1085 ASTM A228-51	De todos os materiais de molas para pequenos diâmetros, este é o melhor, o mais duro e o mais comumente utilizado. Possui a maior resistência à tração e pode suportar tensões mais altas sob solicitações repetidas, do que outro material. Encontra-se disponível em diâmetros de 0,12 a 3mm (0,005 a 0,125 pol.) Não pode ser utilizado em temperaturas superiores a 120°C (250°F) ou abaixo de 0°C.
Aço temperado em óleo 0,60-0,70C	UNS G10650 AISI 1065 ASTM 229-41	Este aço, para aplicações gerais, é utilizado para muitos tipos de molas helicoidais, para as quais o custo do tipo corda de piano é proibitivo e em diâmetros superiores aos disponíveis para o corda de piano. Não deve ser utilizado para solicitações de choque. Encontra-se disponível em diâmetros de 3 a 12mm (0,125 a 0,500 pol), porém podem ser obtidos com diâmetros menores ou maiores. Não pode ser utilizado em temperaturas superiores a 180°C (350°F) ou abaixo de 0°C.
Aço trabalhado a frio (encruado) 0,60-0,70C	UNS G10660 AISI 1066 ASTM A227-47	Este é o aço para molas de menor custo, para aplicações gerais, e deve ser usado apenas quando a vida, a precisão e a deflexão não são considerações muito importantes. Não devem ser utilizados em temperaturas superiores a 120°C (250°F) ou abaixo de 0°C. Encontra-se disponível em diâmetros de 0,8 a 12mm (0,031 a 0,500 pol.)
Aços cromo-vanádio	UNS G61500 AISI 6150 ASTM 231-41	Este é o aço-liga para molas de uso mais difundido, empregado quando as condições de trabalho envolvem tensões maiores do que aquelas que os aços comuns podem suportar e quando se deseja boa resistência à fadiga e boa durabilidade. Seu emprego é recomendado para solicitações de choque. É largamente utilizado em molas para válvulas de motor de avião e em temperaturas de até 220°C (475°F). Encontra-se disponível em diâmetros de 0,8 a 12mm (0,031 a 0,500 pol), recozido ou pré-revenido.
Liga de cromo-silício	UNS G92540 AISI 9254	Esta nova liga é excelente material para molas de alta tensão que sejam submetidas a solicitações de choque e devam ter uma vida longa. Durezas Rockwell de C50 a C53 são bastante comuns, e se pode utilizar este material em temperaturas de até 250° (475°F). Encontra-se disponível em diâmetros de 0,8 a 12mm (0,031 a 0,500 polegadas)

Fonte: Livro Elementos de Máquinas, Joseph Edward Shigley

ATENÇÃO CAVALÕES:

Pesquisar o conceito de:

- Resiliência de um material;
- Resistência de um Material;
- Rigidez de um Material;

1.2.3 MOLAS FLETIDAS

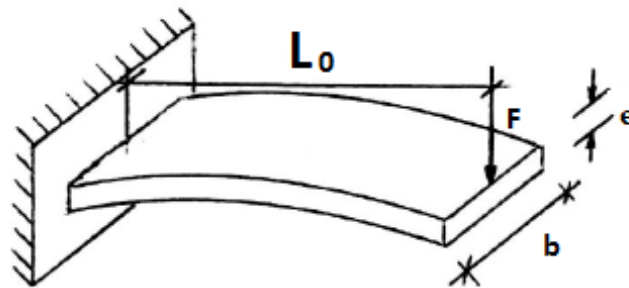


Fig 1.3

Na viga acima, vimos lá na resistência dos materiais, que as fibras superiores são tracionadas e as fibras inferiores são comprimidas e as fibras da camada central não sofrem alongamento algum e o eixo aí contido recebe o nome de eixo neutro.

Assim, a **formula geral da** tensão de flexão é dada por $\sigma_f = \frac{M_f \cdot y'}{I}$,

onde " I " neste caso, vale para a seção retangular da mola plana em questão: $I = \frac{bh^3}{12}$, $y' = \frac{h}{2}$ e $M_f = F \cdot L_0$

A flecha " y " desta mola vale:

$$y = \frac{FL_0^3}{3EI}$$

A expressão geral para o cálculo das molas de flexão.

1.2.4 APLICAÇÕES PARA MOLAS DE FLEXÃO PLANAS

a) Cálculo de carga máxima "F" admissível na mola

$\bar{\sigma}_f = \frac{M_f \cdot y'}{I}$ } Aplicando esta fórmula geral da flexão na mola plana da fig. 1.3 anterior, teremos:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{F \cdot L_0 \cdot \frac{e}{2}}{\frac{b \cdot e^3}{12}} \Rightarrow \boxed{F = \frac{\bar{\sigma}_f b e^2}{6 L_0}} \quad \text{força máxima admissível na mola plana}$$

b) cálculo da fecha "y"

Vimos anteriormente que:

$y = \frac{1FL_0^3}{3EI}$, então, substituindo as dimensões na mola acima, vem:

$$y = \frac{1FL_0^3}{3E \frac{be^3}{12}} \Rightarrow \boxed{y = \frac{4FL_0^3}{Ebe^3}}$$

b=largura da mola
e= espessura

Substituindo F visto acima, vem que :

$$\boxed{y = \frac{2}{3} \cdot \frac{\bar{\sigma}_f \cdot L_0}{E \cdot e}}$$

c) O trabalho (W) armazenado por esse tipo de mola plana durante a deformação.

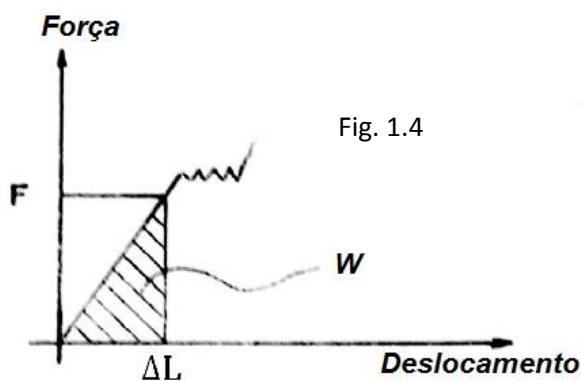


Fig. 1.4

$\Delta l = y \Rightarrow$ flecha das molas

O esforço dispendido no limite elástico de uma mola realiza um trabalho "W" que é armazenado e devolvido quando a mola readquire a forma primitiva. Este trabalho "W" armazenado é medido pela área do triângulo hachurado na figura ao lado, logo:

$$W = \frac{\Delta L \cdot F}{2} \Rightarrow \boxed{W = \frac{y \cdot F}{2}}$$

* IMPORTANTE: Os cálculos das molas podem ser de dois tipos básicos que são:

1º) Os cálculos são efetuados numa mola existente, na qual se quer, por exemplo, a carga, a flecha, o comprimento, etc.

2º) Os cálculos são efetuados no dimensionamento de uma mola em um projeto a ser realizado, onde as dimensões são escolhidas à priori, com bom senso e experiência prática, para depois verificar se a tensão de trabalho (σ_t) não vai ultrapassar a tensão admissível do material ($\bar{\sigma}_f$).

1.2.5 EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO DAS MOLAS DE FLEXÃO

1º) Escreva o formulário para as molas de flexão:

2º) Calcular a carga máxima admissível, a flecha correspondente, o trabalho acumulado, para a mola de flexão plana.

Material da mola: Aço temperado.

$$E = 21 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

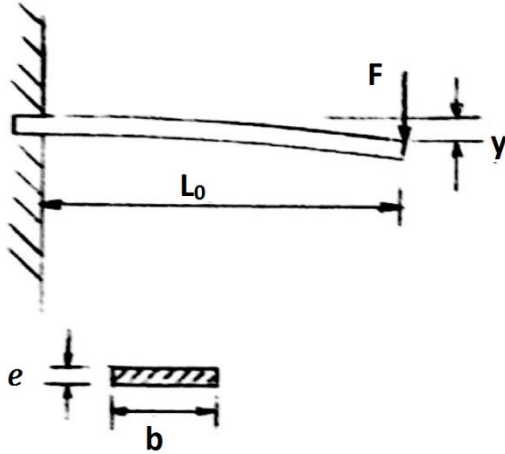
$$\bar{\sigma} = 6000 \text{ Kg / cm}^2$$

$$L_0 = 20 \text{ cm}$$

$$e = 0,5 \text{ cm}$$

$$b = 4 \text{ cm}$$

$$R: \begin{cases} F = 50 \text{ Kg} \\ W = 38 \text{ Kg} \cdot \text{cm} \\ y = 1,5 \text{ cm} \end{cases}$$



3º) Dimensionar uma mola de aço capaz de resistir uma carga máxima admissível de 0,8Kg com uma flecha de 5mm. Dispõe-se de uma fita de aço de 0,6 x 10mm. Verificar a tensão de trabalho (σ_t) com a tensão admissível de projeto.

São dados: $E = 21 \times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$

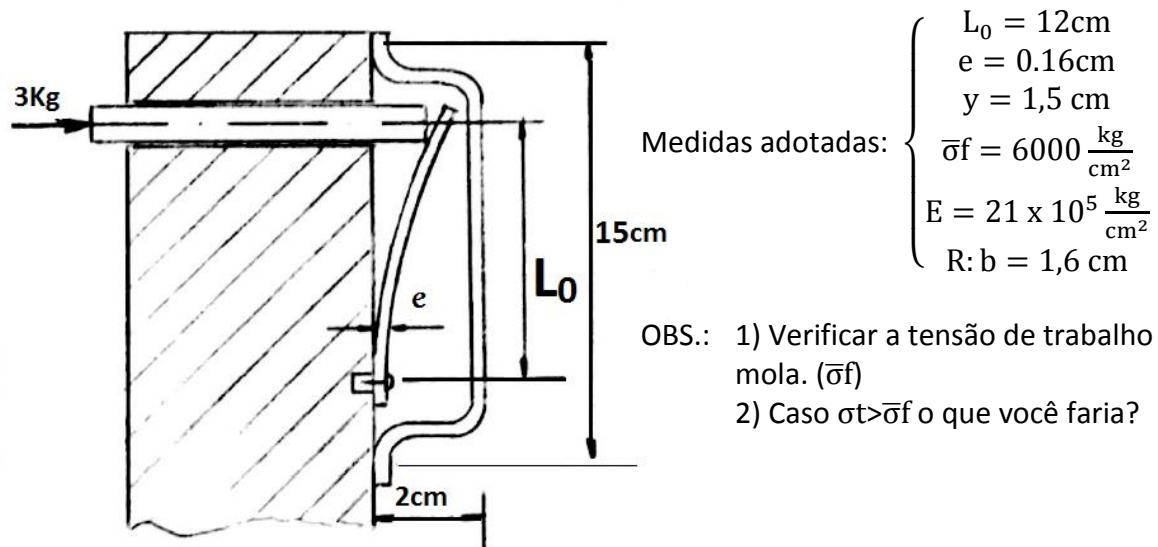
$$\bar{\sigma} = 60 \text{ Kg / mm}^2$$

$$R: \begin{cases} L_0 = 41,5 \text{ mm} \end{cases}$$

4º) Apertando-se uma fita metálica de seção retangular entre as garras de uma morsa e deixando-se um comprimento livre de 40 cm, em cuja extremidade é aplicada uma carga de 1 kg, nota-se uma flecha de 5 cm. A seção da tira é de 3 x 0,2 cm. Determinar o módulo de elasticidade normal "E" do material.

$$R \cong 2130000 \text{ Kg/cm}^2$$

5º) Dimensionar uma mola retangular à flexão para o dispositivo em figura.



1.3 MOLAS HELICOIDAIS

1.3.1 DESENHOS DAS MOLAS HELICOIDAIS

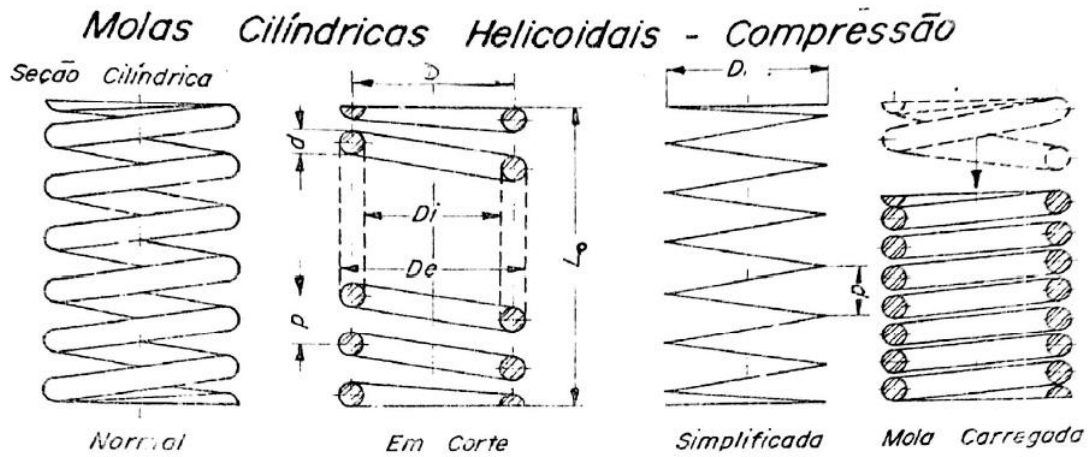


Fig. 1.5

1.3.2 APLICAÇÕES PARA MOLAS HELICOIDAIS

A figura 1.6.a. mostra uma mola helicoidal de compressão, de fio de seção circular, carregada por uma força axial " F ". Designa-se " D " o diâmetro médio da mola e " d " o diâmetro do fio.

Agora, imagine-se que a mola seja cortada em algum ponto (figura 1.6.b.), uma porção dela seja removida e que o efeito da porção removida seja substituída pelas forças internas. Então, como mostra a figura, a porção removida, deverá exercer uma força cortante direta " F " e uma torção " T " na parte remanescente da mola.

Fig. 1.6.a

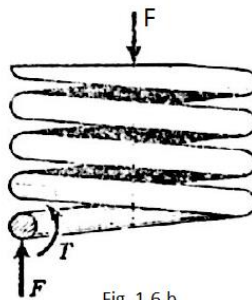
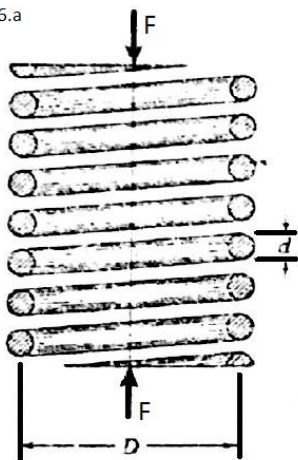


Fig. 1.6.b

Figura 1.6

(a) Mola carregada axialmente;

(b) diagrama de corpo livre, mostrando que o fio está submetido a tensões cisalhantes devidas ao cortante a à torção.

Fig. 1.6

Para visualizar o efeito da torção, imagina-se uma mangueira de jardim enrolada, cuja extremidade seja puxada em uma direção perpendicular ao plano das espiras da mangueira. A cada volta da mangueira, que é puxada para cima, esta se torce ou gira em torno de seu próprio eixo. De maneira análoga, a deformação de uma mola helicoidal cria uma torção no fio.

Usando-se a superposição de efeitos, pode-se calcular a tensão admissível no fio pela equação:

$$\bar{\tau} = \pm \frac{T_r}{I} + \frac{F}{A} \quad (a)$$

onde o termo T_r/I é a fórmula para a torção já conhecida. Substituindo-se os termos da fórmula por $T = FD/2$, $r = d/2$, $I = \pi d^4 / 32$ e $A = \pi d^2 / 4$, obtém-se

$$\bar{\tau} = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad (b)$$

O sinal positivo da Equação (a) foi mantido e, portanto, a Equação (b) exprime a tensão cisalhante na borda interna da mola.

Define-se o índice de curvatura da mola

$$C = \frac{D}{d} \quad \begin{array}{l} C = \text{Índice de curvatura da mola} \\ d = \text{Diâmetro do fio da mola} \end{array} \quad (01)$$

como sendo uma medida da curvatura da espira*. Com esta relação, a Equação (b) transforma-se em:

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} \left(1 + \frac{0,5}{C} \right) \quad (c)$$

Ou, definindo-se,

$$K_s = 1 + \frac{0,5}{C} \quad (02)$$

Tem-se

$$\bar{\tau} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$$

EQUAÇÃO GERAL

(03)

onde K_s é o fator multiplicativo da tensão cisalhante. Este fator pode ser obtido da Figura 03 para os valores usuais de "C". Para a maioria das molas helicoidais, "C" se situa na faixa de 6 a 12. A equação (03) é bastante geral e se aplica tanto para cargas estáticas, quanto para cargas dinâmicas. Indica também a tensão máxima cisalhante no fio que ocorre na borda interna da mola.

ATENÇÃO

Pode-se observar na equação geral 03, que o fator K_s , o qual representa o efeito da força cortante, cresce a medida que o índice de curvatura "C" decresce. Isso é de importância prática nas molas helicoidais pesadas, tais como as usadas nos vagões de estradas de ferro.

* Observe-se que o índice de curvatura é uma medida do encurvamento da mola, ou seja, um índice baixo implica numa forte curvatura. Demonstre matematicamente isto:

Muitos autores apresentam a equação da tensão como: $\bar{\tau} = K \frac{8FD}{\pi d^3}$ (04),

onde "K" é chamado fator de correção de Wahl¹.

A Figura 1.7 abaixo apresenta os valores dos fatores de correção da tensão para molas helicoidais de seção circular, de compressão ou de tração.

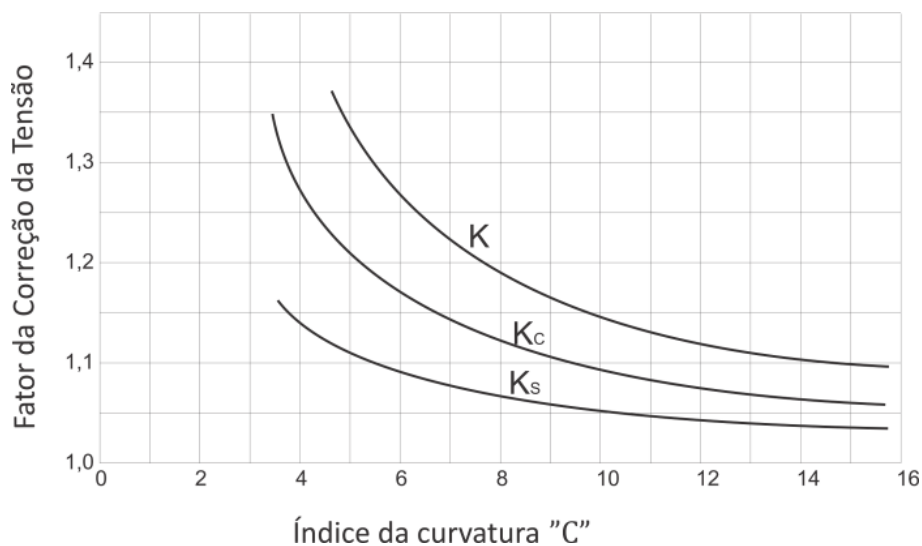


Fig.1.7

¹ Ver WAHL, A.M. Mechanical springs. 2.ed., Nova Iorque, McGraw-Hill Book Company, 1963.

Este fator inclui o efeito da força cortante, bem como outro efeito devido à curvatura. Como mostra a figura 1.8, a curvatura do fio aumenta a tensão atuante na borda interna, mas diminui apenas ligeiramente a tensão na borda externa.

O valor "K" pode ser obtido da equação.

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} \quad (05)$$

ou da Fig. 1.7.

Figura 1.8

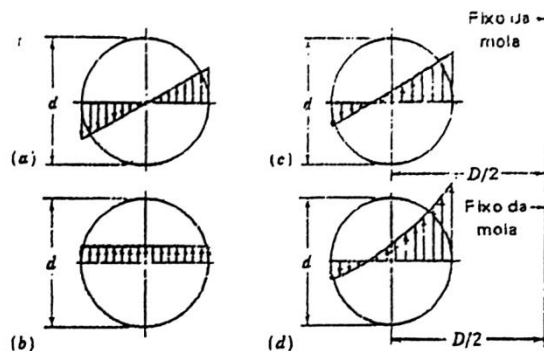


Figura 1.8: Superposição de tensões em molas helicoidais. (a) Tensão devida à torção pura; (b) tensão devida à força cortante; (c) tensão resultante devida à torção e ao cortante; (d) tensão resultante devida à torção, ao cortante e ao efeito da curvatura.

Definindo-se $K = K_c K_s$, onde K_c é o efeito isolado da curvatura, tem-se

$$K_c = \frac{K}{K_s} \quad (06)$$

Resultados experimentais revelam que a tensão de cisalhamento devido ao efeito da curvatura se localiza principalmente na parte interior da mola. As molas submetidas a apenas uma solicitação estática sofrem um escoamento localizado nas bordas interiores, aliviando-se assim as tensões. Assim, para solicitações estáticas, pode-se desprezar o efeito da curvatura e usar a Equação (03). Para solicitações dinâmicas, K_c é usado como um fator de redução da resistência à fadiga; portanto, a Equação (03) indica a tensão correta, mesmo quando o efeito da fadiga está presente. Assim, não se fará uso da Equação (04) nesta apostila.

Os valores de K_c devem ser obtidos, utilizando-se as equações, se "C" for pequeno; podem-se obter outros valores diretamente da Figura 1.7.

O uso de seções quadradas ou retangulares para o fio da mola não é recomendável, a não ser que haja limitações no espaço disponível. Os fios de seções especiais não são feitos em grandes quantidades, como os de seção circular e, por isso, não se beneficiam dos melhoramentos havidos, podendo não ser tão resistentes quanto as molas fabricadas com fios de seção circular. Quando as limitações de espaço são severas, deve-se sempre considerar o uso de molas montadas uma dentro da outra. Este tipo de mola pode oferecer vantagens econômicas, assim como de resistência, sobre as molas de fio de seção especial.

1.3.3 DEFLEXÃO DAS MOLAS HELICOIDAIS

A deflexão de uma Mola Helicoidal devida a uma força axial é dada por:

$$y = \frac{8F \cdot D^3 \cdot N}{d^4 \cdot G} = \frac{8F \cdot C^3 \cdot N}{d \cdot G}$$

Onde: N = Número de espiras Ativas
G = Módulo de elasticidade transversal

1.3.4 CONSTATANTE "K₀" DAS MOLAS HELICOIDAIS

Para as Molas em geral a constante "K₀" das Molas é definida como o Esforço "F" necessário para produzir uma deflexão unitária de 1mm ou seja da Lei de Hooke, ou seja:

$K_0 = \frac{F}{y}$ [Kg/mm] , substituindo a deflexão "y" nesta equação teremos:

$$K_0 = \frac{F}{y} = \frac{F}{\frac{8F D^3 N}{d^4 \cdot G}} \rightarrow K_0 = \frac{d^4 G}{8 D^3 N}$$

1.3.5 TIPOS DAS EXTREMIDADES DAS MOLAS HELICOIDAIS

Devem-se especificar os tipos de extremidades da seguinte maneira: (1) extremidades em ponta; (2) extremidades em ponta e retificadas; (3) extremidades em esquadro; ou (4) extremidades em esquadro e retificadas (Fig. 1.9). O tipo de extremidade usada influi no número de espiras inativas da mola, que deve ser subtraído do número total de espiras, para obter-se o número de espiras ativas. Não existe uma regra direta e segura, porém quando se subtrai o número de espiras inativas do número total de espiras, como é especificado a seguir, tem-se aproximadamente o número de espiras ativas:

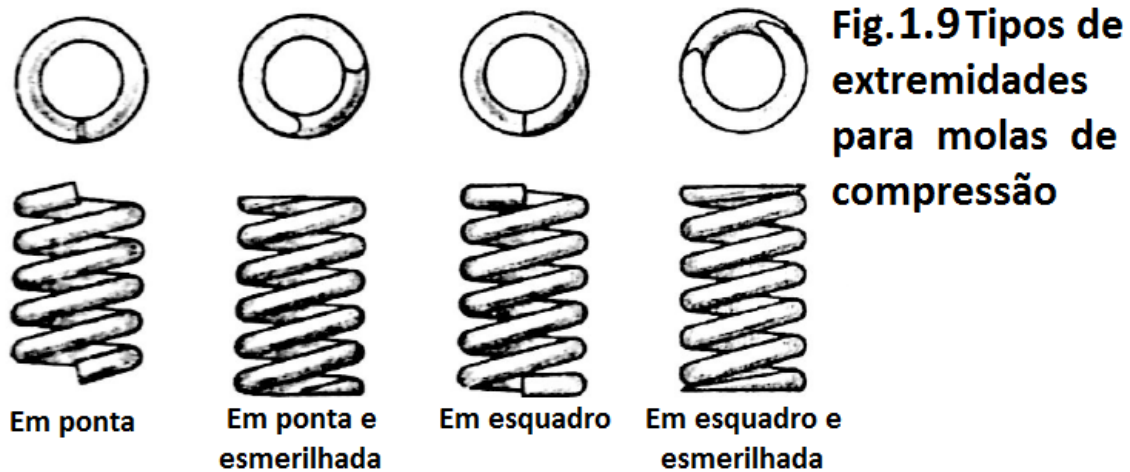
Extremidades em ponta - subtrair meia espira.

Extremidades em ponta e retificada - subtraís uma espira.

Extremidades em esquadro - subtrair uma espira.

Extremidades em esquadro e retificadas - subtrair duas espiras.

No projeto e no dimensionamento de molas, é usual desprezarem-se os efeitos da excentricidade do carregamento devido ao tipo de extremidade usada. Costumam-se também desprezar os efeitos das tensões residuais causadas por tratamento térmico ou encruamento. No entanto, estes dois fatores são levados em conta através de um aumento no fator segurança.



É uma prática normal, na fabricação de molas de compressão, aproximá-las de seu comprimento sólido², esta prática induz a uma tensão residual em sentido oposto ao da tensão de trabalho e tem o efeito de aumentar a resistência da mola.

1.3.6 FLAMBAGEM DAS MOLAS HELICOIDAIS

Sendo "L" o comprimento livre da Mola e "D" o diâmetro médio, haverá possibilidade de Flambagem na Mola, se:

$$L_0 > 4D$$

As Molas Helicoidais devem ser projetadas de modo a ficar afastado o perigo de Flambagem. Se não for possível obedecer a Equação acima, as Molas deverão ser guiadas ou seja, montadas sobre uma haste ou barra dentro de um tubo. Neste caso porém, o atrito entre as Molas e as guias deve ser objeto de estudo cuidadoso pois se muda a relação "Deflexão-Carga" e se diminui o limite de resistência a Fadiga da Mola.

1.3.7 DICAS SOBRE MOLAS EM AUTOMÓVEIS

a) Quando trocar as molas?

Basicamente devemos trocar as molas de um veículo sob duas condições:

- Se houver quebra;
- Quando a mola apresentar anormalidades que possam comprometer o bom funcionamento da suspensão ou a segurança do usuário.

² Comprimento da mola totalmente comprimida (mola fechada). Posição de Deflexão Máxima, com as Espiras tocando-se.

b) A quebra (ou ruptura) da mola

Toda mola é projetada e construída de acordo com o desenho original do fabricante do veículo. A sua durabilidade depende de alguns fatores:

- Utilizar o veículo com sobrecarga constante;
- Trafegar regularmente por estradas ruins;
- Danificação prematura da pintura da mola, dando origem a focos de corrosão.

Constatando a ocorrência de quebra, substitua imediatamente a mola. A troca deve ser efetuada sempre aos pares, pois as molas são montadas dentro de uma mesma faixa de carga, visando não desequilibrar o veículo.

c) As anormalidades que comprometem a suspensão

Cedimento ou perda de carga

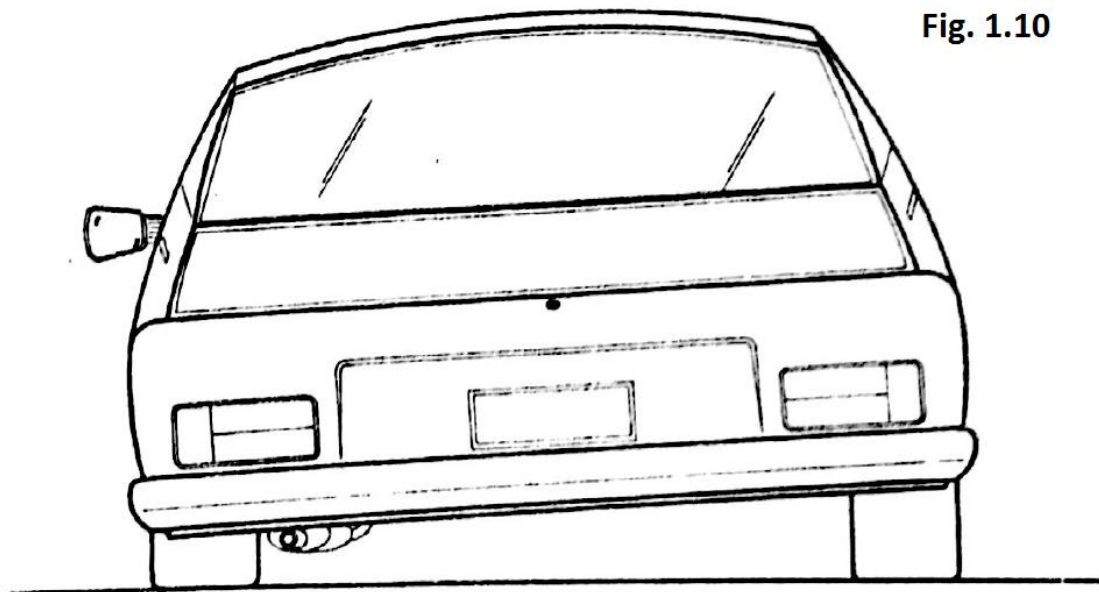
Como todo componente sujeito a um trabalho mecânico, a mola pode apresentar alterações em relação às suas especificações originais. Estas alterações se devem à fadiga do material face ao trabalho realizado. Esta fadiga vai se traduzir num progressivo cedimento da mola a qual vai perdendo a capacidade de suportar carga imposta pelo veículo. Este fato pode ocorrer com maior ou menor intensidade dependendo principalmente do tipo de veículo pois em determinados automóveis, a tensão de trabalho da mola é bem maior que em outros.

d) O Cedimento pode ocorrer:

Numa mola isolada;
Nas molas de um mesmo eixo;
Em todas as molas ao mesmo tempo.

O cedimento de uma mola isoladamente é constatado com facilidade pois o veículo fica "torto", conforme a figura abaixo:

Fig. 1.10



O cedimento das molas de um mesmo eixo (ou de todo o veículo), já é de visualização mais difícil. pois os pontos de referência nem sempre são precisos. Porém, os efeitos deste cedimento podem ser perfeitamente sentidos, por exemplo:

- O veículo apresenta dificuldade para transpor obstáculos, raspando com facilidade no solo.
- Alteração significativa da cambagem das rodas;
- Perda de conforto devido a diminuição do curso da suspensão;
- Danificação dos batentes de borracha.

e) Flambagem da mola (entortamento) devido ao cedimento de uma única espira

Trata-se de uma anormalidade que pode ocorrer devido a uma concentração muito grande de esforços numa região localizada da mola, provocando o cedimento de uma única espira.

Como consequência a mola entorta (FLAMBA) dando origem a ruídos, atritando e danificando outros componentes da suspensão, podendo inclusive quebrar.

Este problema, ainda que raro, é facilmente constatado através de um simples exame visual.

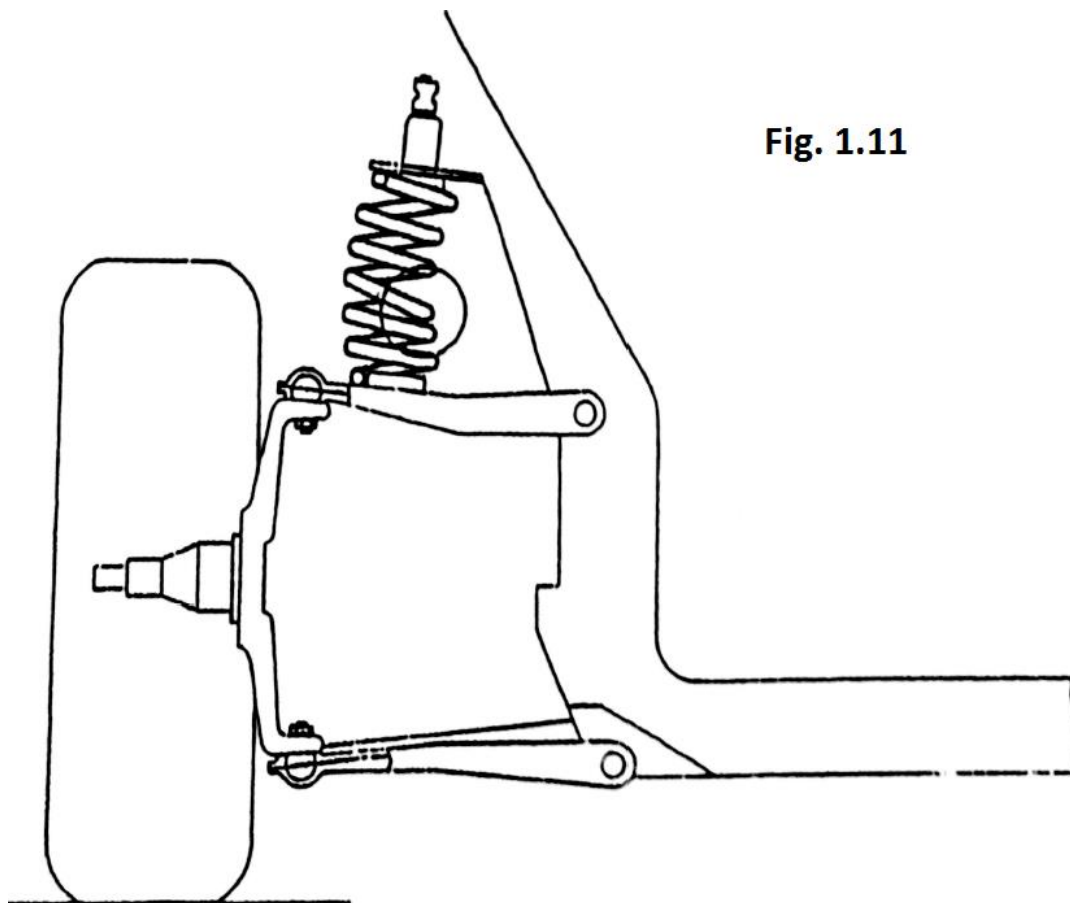


Fig. 1.11

Mola com cedimento localizado numa única espira.

f) Corrosão

Em veículos que trafegam por estradas não pavimentadas, o impacto de pedras contra a mola pode danificar a pintura dando origem a ferrugem.

Uma mola com focos acentuados de corrosão, representa um risco para a segurança do veículo, pois pode sofrer fratura brusca, devido à concentração de tensões nos pontos corroídos.

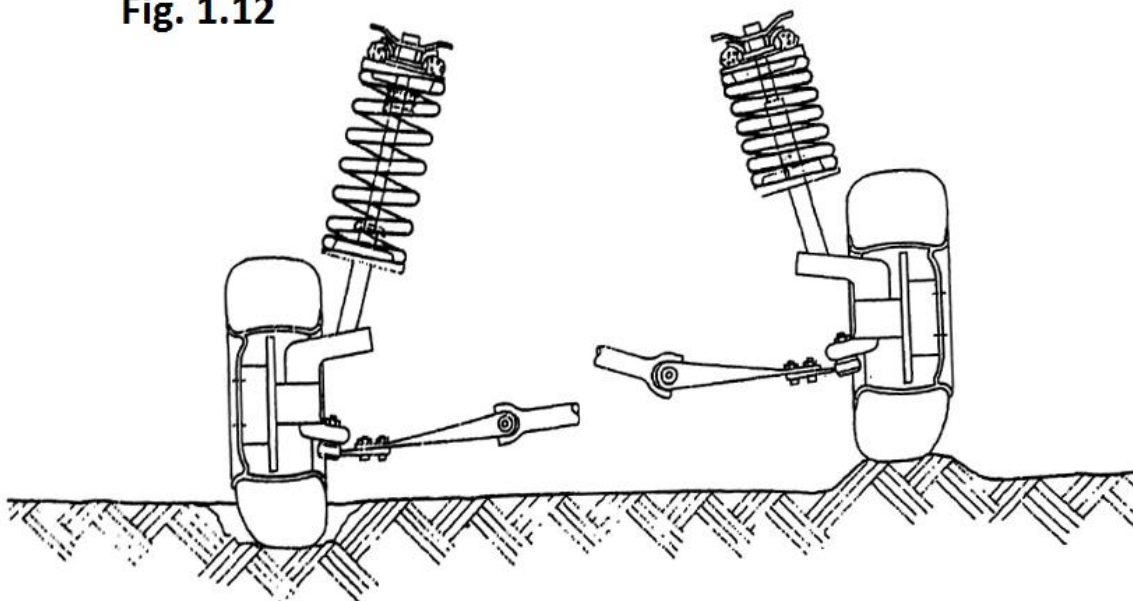
g) Recomendações básicas na hora da troca

- Utilizar sempre a mola específica de cada modelo de automóvel, conforme catálogo de aplicação;
- Não aceitar conselhos de falsos especialistas, o uso de uma mola não adequada pode comprometer todo o funcionamento da suspensão
- Trocar as molas sempre em pares e verificar se as faixas de identificação são exatamente as mesmas nas duas molas

- Utilizar ferramentas adequadas que proporcionem plena segurança. Lembrar que há molas que quando comprimidas armazenam energia superior a 1000 Kgf e um acidente nestas condições pode ter seríssimas consequências.
- Jamais cortar espiras com a finalidade de rebaixar a suspensão, pois este procedimento aumenta a "RATE" da mola, comprometendo o conforto.

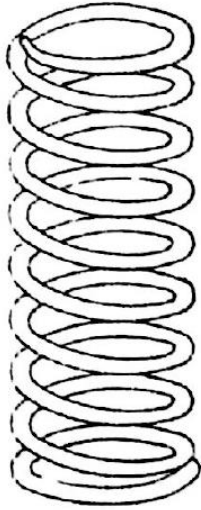
Numa linguagem mais simples, pense em um carro trafegando numa velocidade razoável, sobre uma estrada totalmente esburacada. É lógico que grande parte dos componentes do veículo está sofrendo com isso, mas é a mola que está absorvendo a maior parcela de todos os impactos sofridos, garantindo conforto e segurança.

Fig. 1.12



1.3.9 EXERCÍCIOS PRÁTICOS SOBRE MOLAS HELICOIDAIS

1º) Enumere as fórmulas básicas para o Dimensionamento das Molas Helicoidais:



2º) Uma Mola Helicoidal de compressão é feita de Fio de Diâmetro igual a 1,19mm , com resistência ao escoamento por Torção de 744MPa. Seu diâmetro externo é de 12,70mm e tem 14 espiras ativas. Obs.: 1Pa = 1N/mm² e Mega = 10⁶ (Fator pelo qual a unidade é multiplicada).

(a) Achar a carga estática máxima correspondente à tensão de escoamento do material.

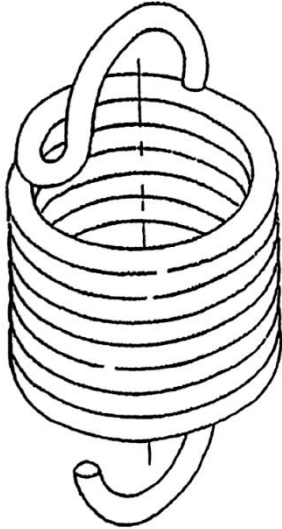
(b) Qual a deflexão causada pela carga em (a) ? $G = 79227 \text{ N/mm}^2$

(c) Calcule a constante da mola.

(d) Se a mola tem uma espira inativa em cada extremidade, qual é a sua altura real?

3º) Uma mola helicoidal de tração, feita de aço temperado em óleo de 3,4mm , com diâmetro externo de 22mm, tem 8 espiras ativas. Calcular a tensão e a deflexão causadas por uma carga estática de 270N

$G = 72227 \text{ N/mm}^2$



4º) Projetar uma mola helicoidal com Diâmetro médio de 12,7cm e uma constante de 71,2 Kg/cm. A carga axial é de 876 Kg e a tensão de cisalhamento permissível é de 2816Kg/cm². Módulo da Elasticidade Transversal vale $8,1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$. Verificar a tensão de Trabalho.

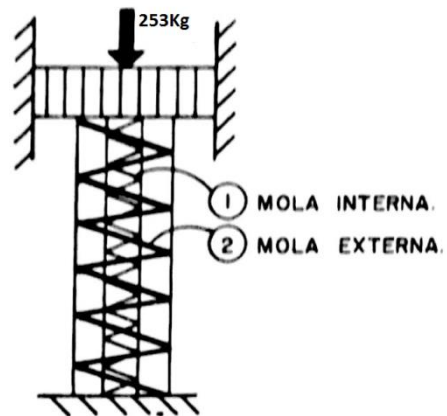
5º) Duas molas Helicoidais são colocadas uma dentro da outra. O Comprimento livre de ambas é o mesmo e suportam um esforço máximo de 253Kg. As Molas tem as seguintes características:

	Mola Ext.	Mola Int.
Número de espiras ativas	6	10
Diâmetro do Arame	1,27 cm	0,635 cm
Diâmetro médio da mola	8,89 cm	5,715 cm

$$G = 8,1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

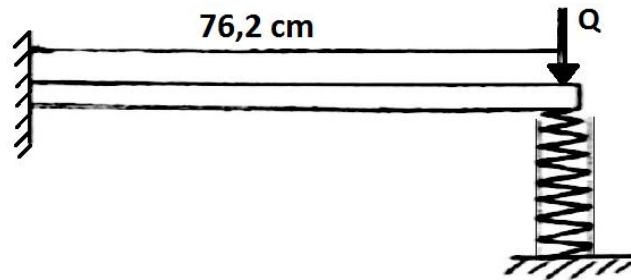
Calcule, caro jovem:

- (a) O esforço máximo suportado por cada Mola;
- (b) A Deflexão Total de cada Mola;
- (c) A Tensão Máxima desenvolvida na Mola Externa.



6º) A extremidade livre de uma viga, em Balanço Horizontal, de Resistência e Seção Constante está em contato com uma Mola Helicoidal com extremidade em ponta como mostra a Figura. A largura da viga em sua extremidade fixa é de 61cm, seu comprimento é de 76,2cm e sua espessura é de 1,27cm.

A Mola Helicoidal tem 10 espiras ativas e é constituída de um arame de 1,27cm de diâmetro, sendo o seu diâmetro externo de 10,16cm. Admita $G=8,1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ para o aço de ambas as peças e $E = 21 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$.



Calcule:

- Qual a força Q , gradualmente aplicada à extremidade da viga necessária para causar uma deflexão de 3,81 cm ?
- Qual a Tensão de Flexão na seção da viga a 38,1cm da extremidade fixa ?
- Qual a energia absorvida pela Mola Plana ?

7º) Determinar o número de Espiras necessárias e a Deflexão permissível em uma Mola Helicoidal feita de um arame de aço de "0,16 cm" de diâmetro, admitindo um índice de Mola igual a 6 e uma tensão permissível ao cisalhamento de 3520 Kg/cm². A constante de Mola é de 1,78Kg/cm e G vale $8,1 \times 10^5$ Kg/cm².

8º) Uma Mola Helicoidal de constante igual a 17,8 Kg.cm fica fechada quando comprimida de 3,175cm. A Tensão de cisalhamento permissível é de 3520Kg/cm² e o índice de Mola é 8; as extremidades são em esquadro e esmerilhadas e $G = 8,1 \times 10^5$ Kg/cm². Determinar o diâmetro de arame, o diâmetro médio da Mola e o seu comprimento quando fechado.

9º) Duas molas espirais de compressão são montadas uma dentro da outra, formando uma "mola dupla concêntrica". A Mola exterior terá diâmetro interno igual a 38mm, diâmetro do arame de 3,05mm e tem 10 espiras ativas. A Mola interna tem diâmetro externo de 31,75, diâmetro do arame de 2,31mm e 13 espiras ativas.

(a) Calcular a constante de cada mola, $G = 79227 \text{ N/mm}^2$

(b) Que força é necessária para defletir o conjunto de 25mm, considerando que ambas molas tem o mesmo comprimento livre.

(c) Qual das molas resiste à maior tensão? Calcular a tensão, usando o resultado (b)

10º) Para o sistema ao lado calcule:

(a) As constantes elásticas para ambas as molas;

(b) Os seus números de espiras ativas;

(c) Os seus diâmetros admissíveis médios e do arame;

(d) Se as molas tem extremidade em esquadro e retificadas qual é o seu número total de espiras?

(e) As molas sofrerão flambagem? Caso afirmativo, que solução você proporia para evitar a flambagem?

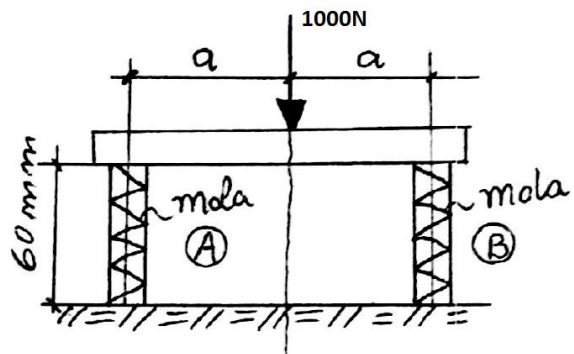
São dados:

1) $G = 79229 \text{ N/mm}^2$

2) Índice de curvatura é 8

3) A Flecha exigida é de 1,5 cm

4) $\tau_e = 810 \text{ N/mm}^2$ e $S_g = 3$

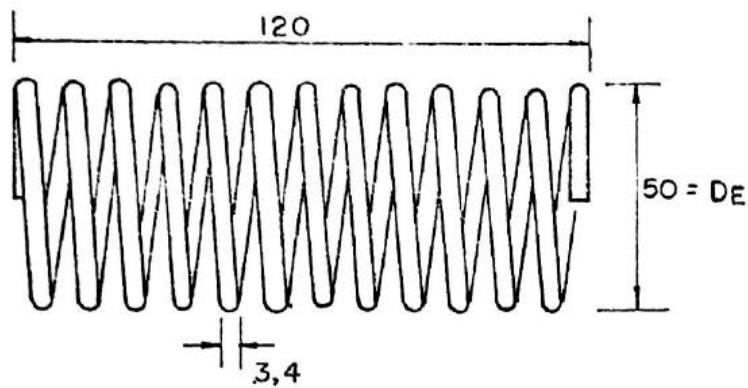


11º) A mola helicoidal de compressão mostrada na figura abaixo é feita de aço para mola, com resistência ao escoamento por torção de 640 N/mm^2 e $G=7,9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$.

(a) Calcular a constante da mola;

(b) Qual a força necessária para fechar a mola até o seu comprimento sólido?

(c) Após comprimir-se a mola até o seu comprimento sólido e remover-se a força solicitante, a mola voltará ao seu comprimento original? Explicar, OK!



Referências Bibliográficas

SHIGLEY, Joseph Edward, Elementos de Máquinas I, Livros Técnicos e Científicos.

Pro-Tec, Molas

Timoshenko S. Resistência dos Materiais - Ao Livro Técnico S.A. - RJ

DIAS, Acyres, Apostila UFSC, espec. Proc. Ind.

FABRINI S.A., Indústrias C. Catálogo, AV Marginal,56, Via Anchieta KM-CP 5084. São Bernardo do Campo