

2. Calandragem de Chapas e Perfis.

Calandragem

O processo de calandragem é um processo de conformação mecânica utilizado para efetuar o curvamento de um determinado material, seja este chapas ou perfis metálicos (laminados ou trefilados).

Pela calandragem, podem ser obtidas chapas curvas com raios de curvamento pré-determinados, como: cilindros, cones, troncos de cones, assim como qualquer outra superfície de revolução (segmentos curvos, partes curvas de “virolas”). É também neste tipo de processo que se fabricam corpos de tanques, caldeiras, trocadores de calor, vasos de pressão, etc.

O curvamento pode ser efetuado de duas formas, assim como o dobramento, dividido em 2 (duas) formas:

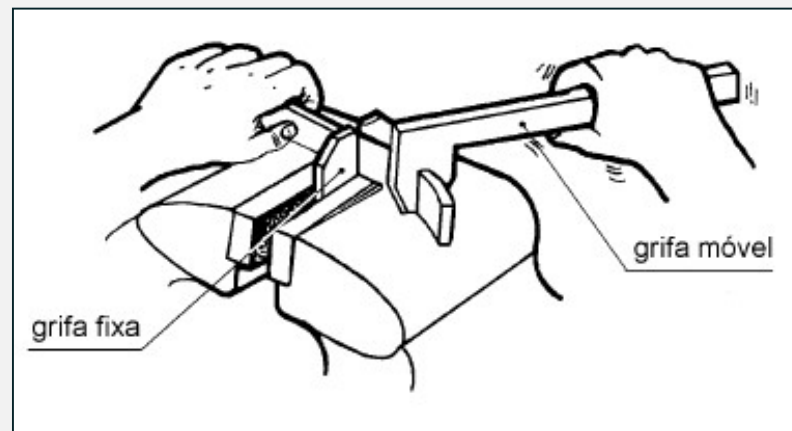
- **Curvamento Manual** – efetuado por meio manual, utilizando-se ação de uma alavanca em uma matriz previamente desenhada.
- **Curvamento Mecânico (Calandragem)** – efetuado por meio de máquinas mecânicas, chamadas de calandras.

Calandragem

Curvamento Manual.

O esforço de flexão para a operação de curvamento é feito à mão, com o auxílio de martelo, grifa e gabaritos, sempre de acordo com o raio de curvatura desejado.

Esta operação permite fazer cilindros de pequenas dimensões, suportes, flanges para tubulações, etc.

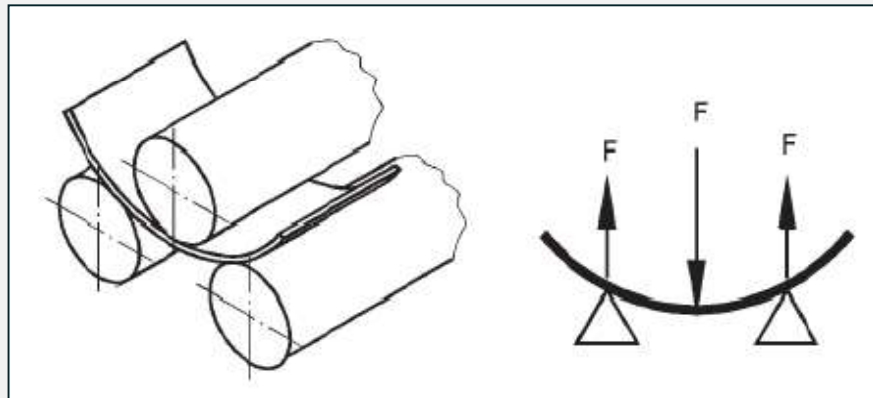


Na figura acima, vê-se o curvamento de uma barra com auxílio da grifa fixa, presa à morsa, onde são aplicados esforços gradativos para se conseguir a curvatura planejada.

Calandragem

Curvamento Mecânico (Calandragem).

A máquina usada para curvar mecanicamente materiais metálicos, chama-se calandra. Na calandra são curvados chapas, perfis e tubos. As peças podem ser curvadas de acordo com o raio desejado, formando arcos ou lombadas, ou diametralmente (curvamento total), formando um anel, quais chamamos comumente de virola.



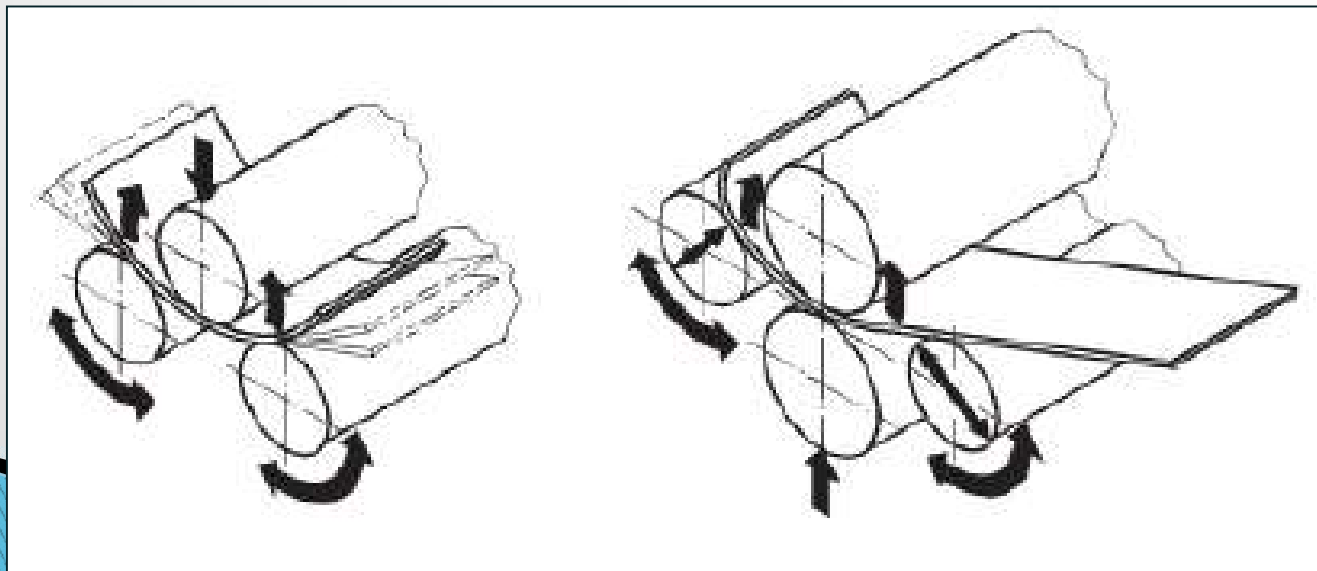
As calandras são divididas em 2 (dois) tipos básicos: **calandras manuais** e **calandras mecânicas**. As calandras manuais são utilizadas para efetuar o curvamento de chapas finas, até 1,8 mm. Já as calandras mecânicas são utilizadas para curvamento de chapas e perfis com espessuras grossas, de 2,5 mm a espessuras acima de 60 mm.

Calandragem

Calandras

As calandras ainda podem ser divididas mais uma vez quanto ao tipo de equipamento para com o material a conformar. São divididas em 2 (dois) modelos básicos: **calandras de chapas** e **calandras de perfis**.

As calandras de chapas, ainda podem ter uma subdivisão em relação a configuração dos rolos de conformação, sendo: calandras de **3 rolos (tipo piramidal ou tipo de passo)** e **calandras de 4 rolos**.



Calandragem



Calandragem

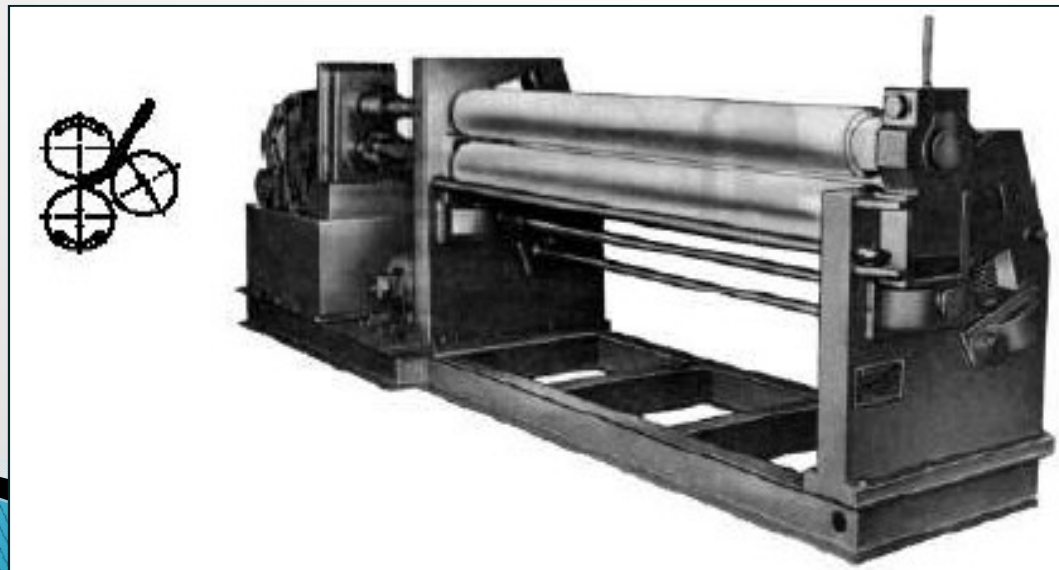


Calandragem

Calandras de Passo

Nas **Calandras de Passo**, conforme mostradas na figura a seguir, a folga entre os rolos que estão alinhados é ajustável para várias espessuras, e o rolo de trabalho pode se deslocar para obtenção de diferentes diâmetros, sendo que o diâmetro mínimo que pode ser obtido é igual ao diâmetro do rolo superior acrescido de 50 mm.

Este tipo de calandra é adequado para grandes volumes de produção de peças de diâmetros/raios menores, e são mais precisas que as calandras piramidais.

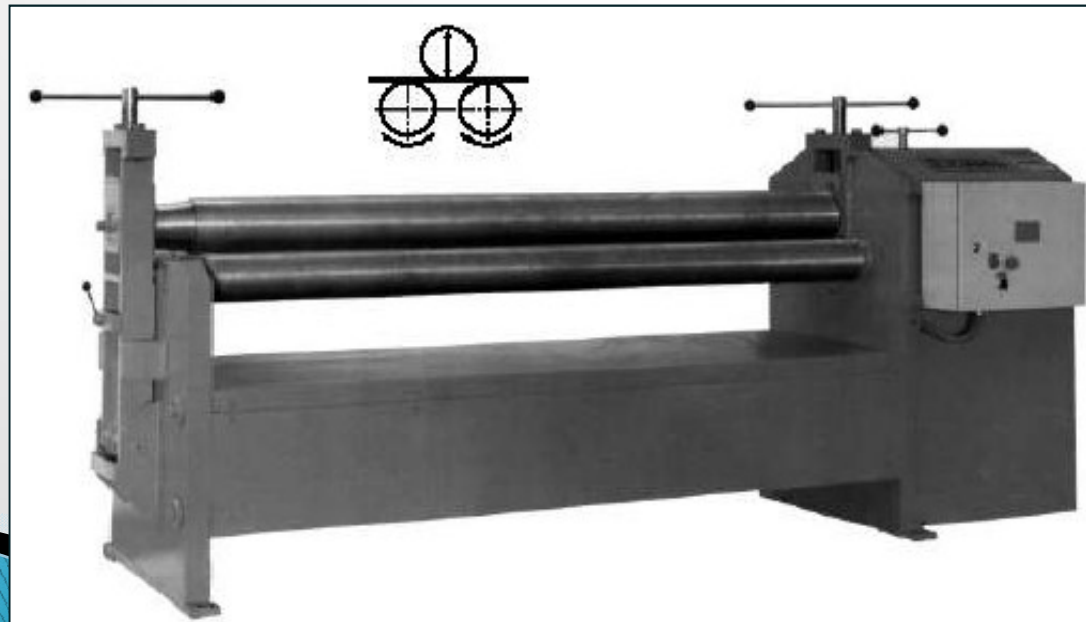


Calandragem

Calandras Piramidal.

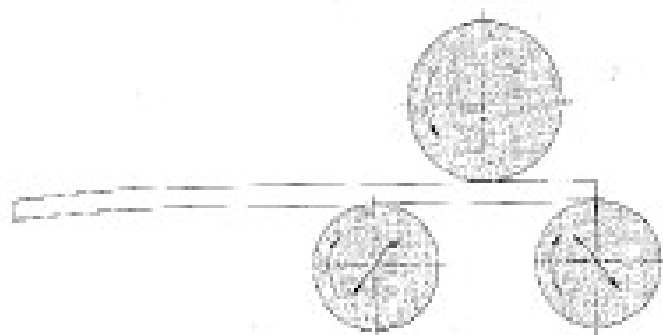
A Calandra Piramidal, conforme mostrado na figura a seguir, o rolo superior pode ser ajustado para exercer maior ou menor pressão, obtendo-se peças de diâmetros/raios menores ou maiores. O diâmetro/raio mínimo obtido é de cerca de duas vezes o diâmetro do rolo superior para os aços inoxidáveis e de uma vez e meia para os aços carbono.

O diâmetro máximo da peça é limitado pela estabilidade da peça dobrada.

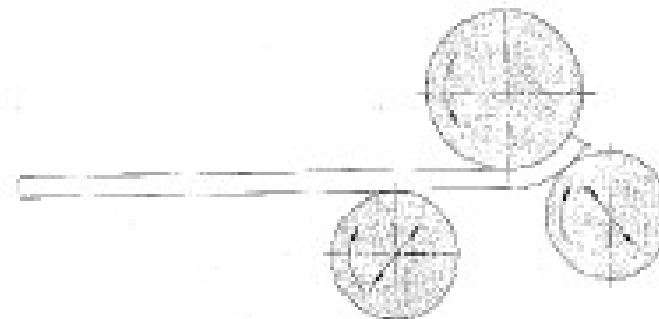


Calandragem

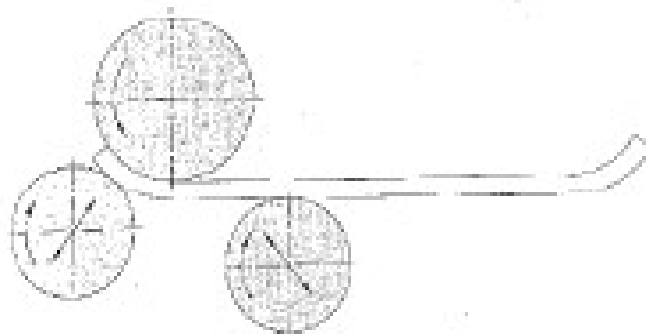
Fases da Conformação, de uma Calandra 3 Rolos



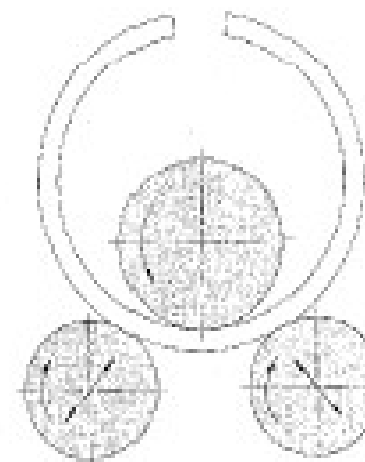
Fase 1



Fase 2



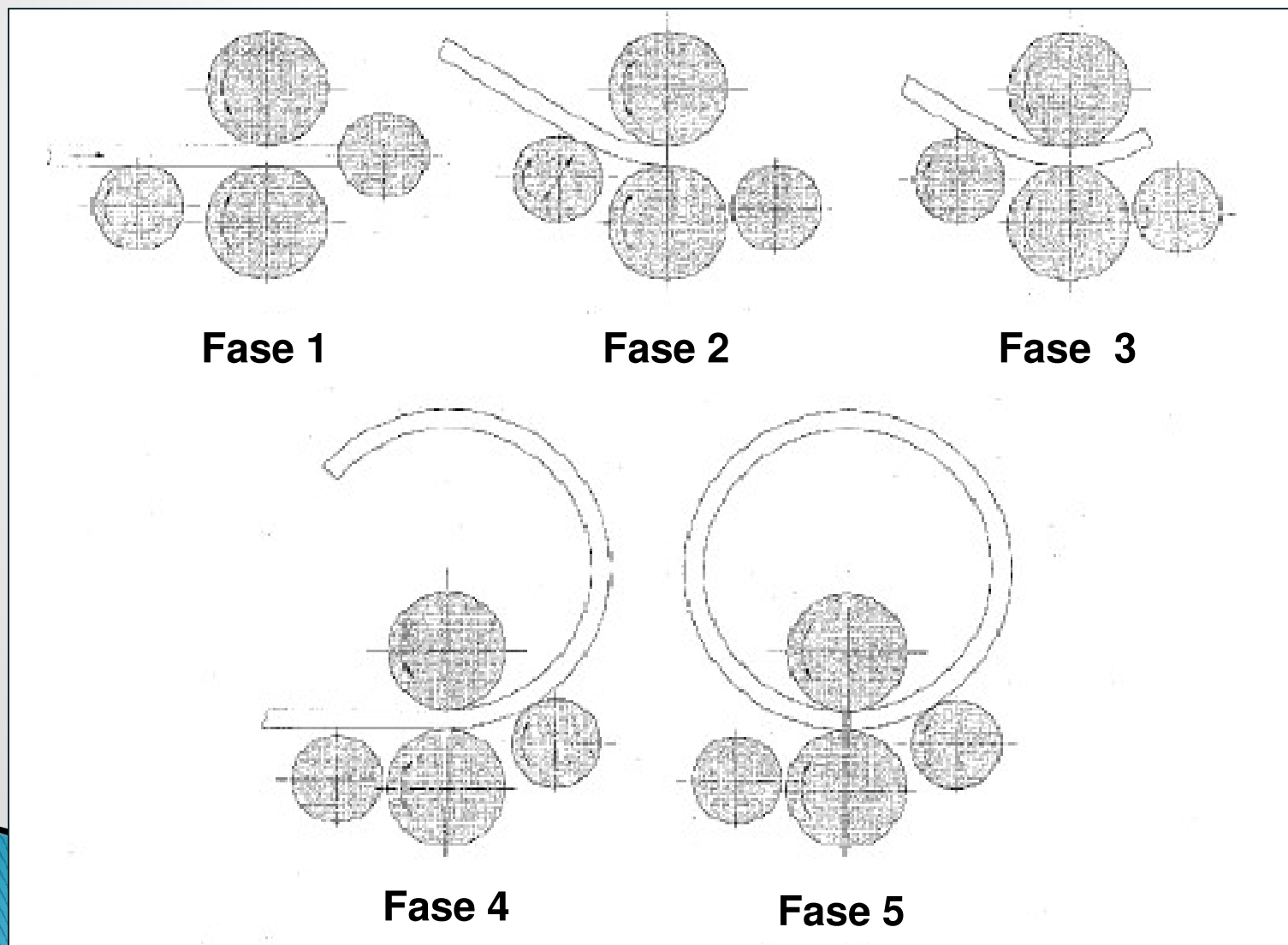
Fase 3



Fase 4

Calandragem

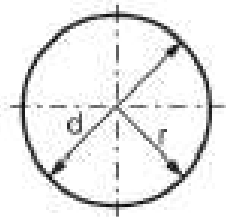
Fases da Conformação, de uma Calandra 3 Rolos



Calandragem

Cálculos do Desenvolvimento Básico

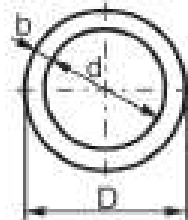
CÍRCULO



$$U = 2 \pi r$$

$$U = \pi d$$

COROA CIRCULAR

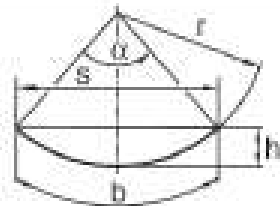


$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$b = \frac{D - d}{2}$$

$$U = 2 \pi r$$

SEGMENTO CIRCULAR



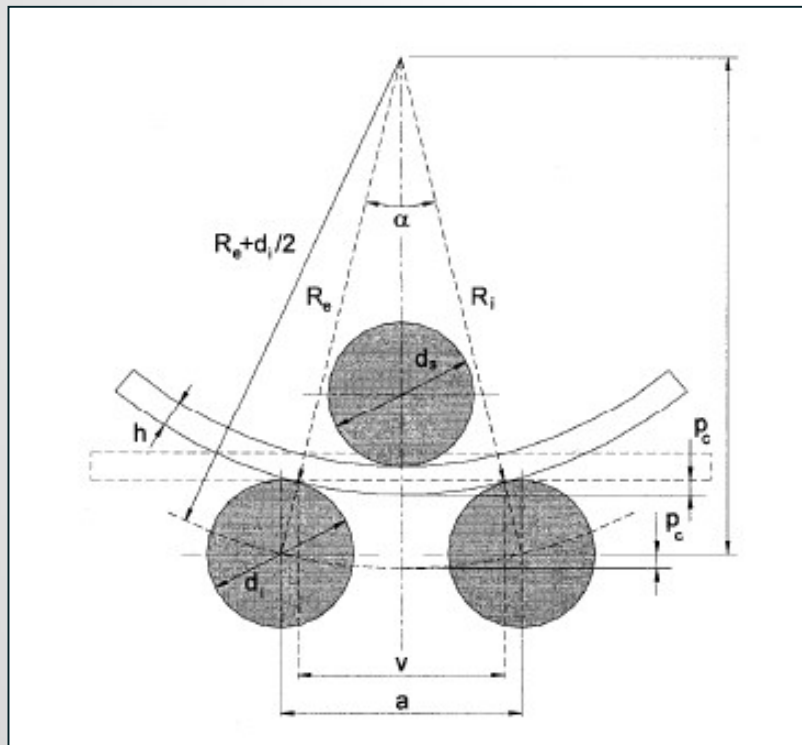
$$s = 2 r \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8 h}$$

$$h = r \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{s}{2} \tan \frac{\alpha}{4}$$

Calandragem

Cálculo Geométrico de uma Peça Calandrada.



Relação entre a distância de contacto, v , e o entre-eixo, a

$$\left[(R_i + h) + \frac{d_i}{2} \right] \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2}$$

$$(R_i + h) \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} = \frac{v}{2}$$

$$v = \frac{R_e}{R_e + d_i/2} a$$

Profundidade de calandragem

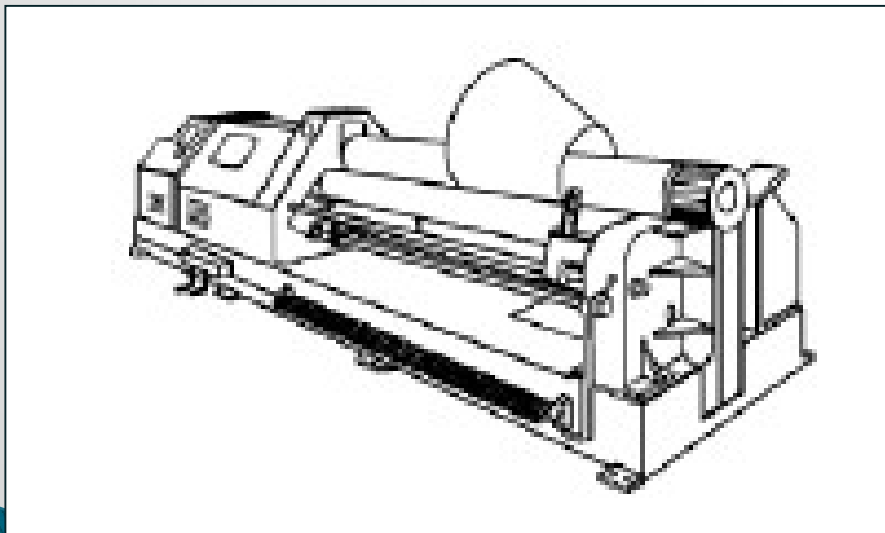
$$p_c = - \left(A - \frac{d_i}{2} - R_e \right) = R_e + \frac{d_i}{2} - \left(\frac{a}{2} \frac{1}{\tan(\alpha/2)} \right)$$

$$p_c = \left(R_e + \frac{d_i}{2} \right) \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

Calandragem

Calandragem de Cônica.

Quando se quer produzir um cone, cujos raios de curvatura são diferentes, recorre-se a um tipo especial de calandra. Trata-se de uma calandra do tipo piramidal, porém seu cilindro inferiores se deslocam inclinados entre si, no sentido vertical, conforme pode ser observado nas figuras a seguir.



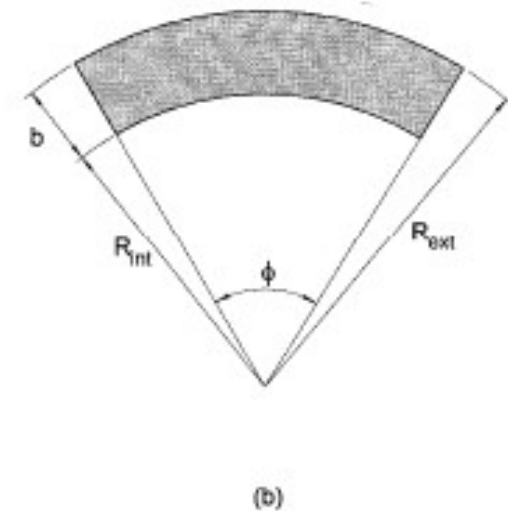
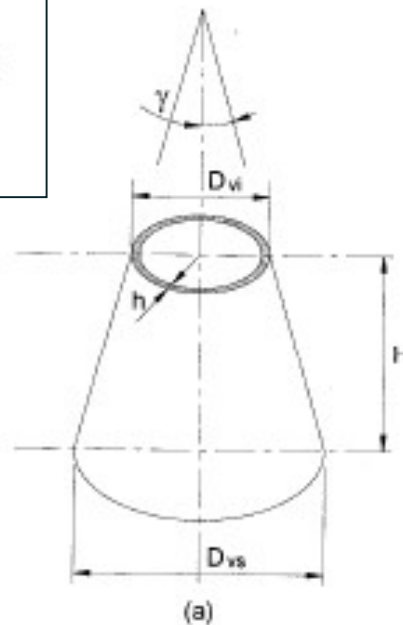
Calandragem

Cálculo Geométrico de uma Peça Calandrada Cônica.

Determinação da geometria e das dimensões da estampa plana

$$\phi = \frac{2\pi R_{vi}}{R_{int}} = \frac{2\pi R_{vs}}{R_{ext}} \quad R_{ext} = R_{int} + b = R_{int} + \frac{H}{\cos \gamma}$$

$$\frac{R_{vi}}{R_{int}} = \frac{R_{vs}}{R_{ext}} \quad R_{ext} = \frac{R_{vs}}{R_{vi} - R_{vs}} b = R_{int} + b$$



Calandragem

Cálculo da Inclinação do Rolo para Formatação de Peça Calandrada Cônica.

Cálculo do ângulo de inclinação dos rolos

$$\text{sen } \theta = \frac{p_{cl} - p_{cs}}{b} = \frac{p_{cl} - p_{cs}}{H} \cos \gamma$$

