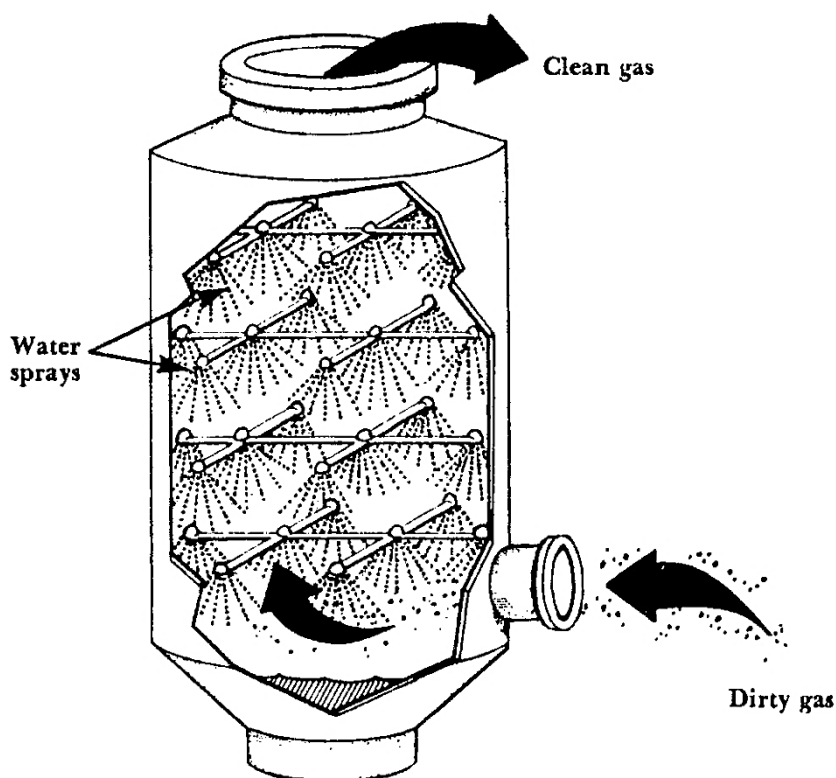


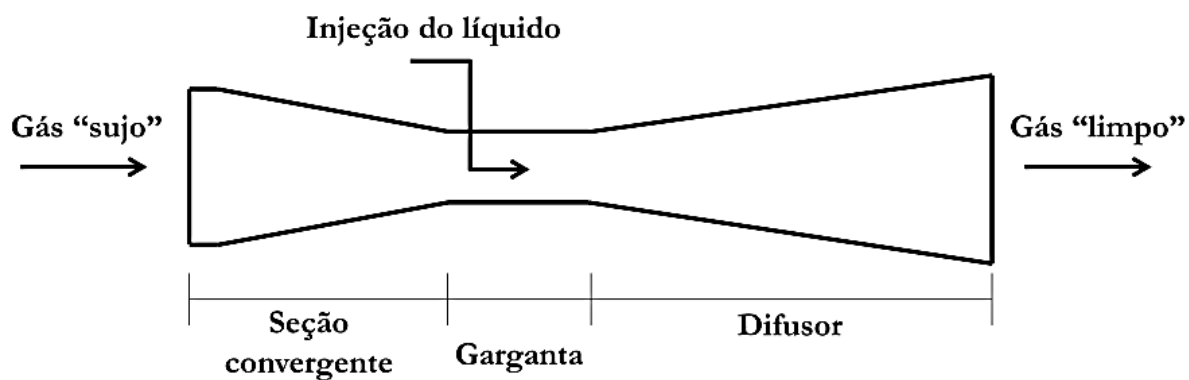
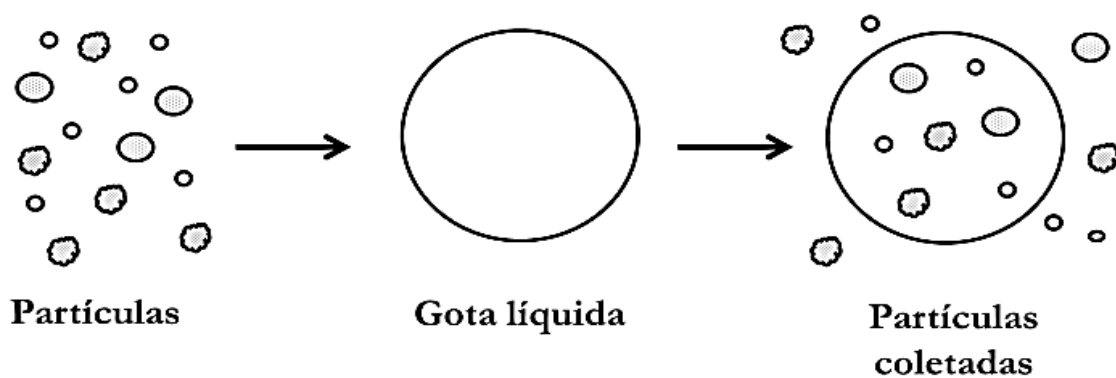
## 12 – LAVADOR VENTURI

Lavadores são usados na limpeza de correntes gasosas devido a sua capacidade de remoção tanto de poluentes gasosos como de material particulado em suspensão. A lavagem consiste em colocar em contato íntimo a corrente gasosa e um líquido atomizado, usualmente água. O termo "lavadores" é, em geral, utilizado para remoção ou coleta de material particulado. Para gases, veremos mais adiante, os processos de absorção, os absorvedores.

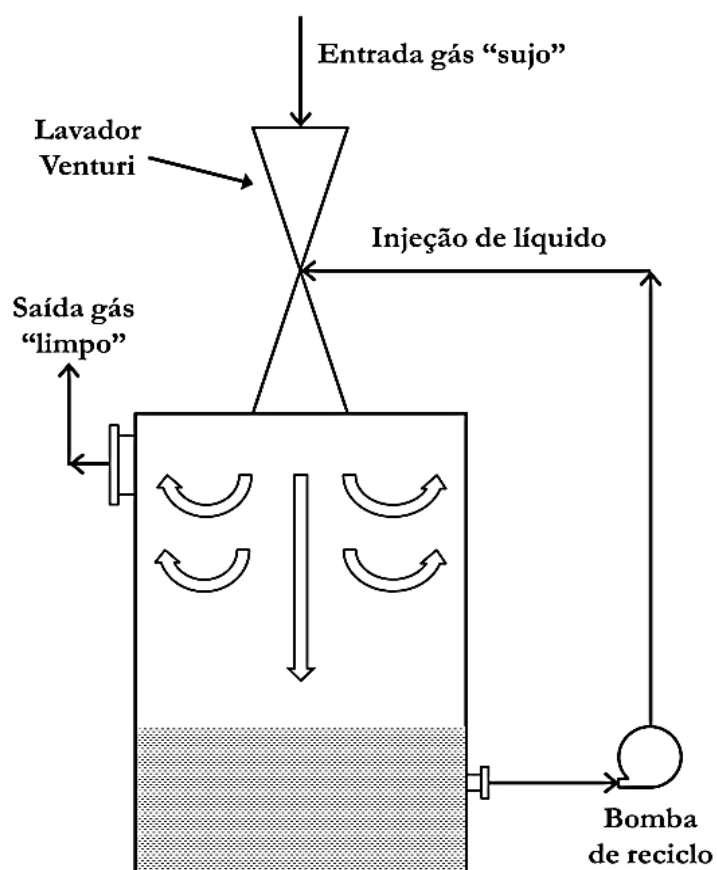
Os tipos mais difundidos de lavadores são a torre de lavagem (*spray tower*) e o lavador Venturi (*Venturi scrubber*). Nestes equipamentos, um líquido de lavagem é atomizado para a formação de uma grande quantidade de pequenas gotas que "capturam" o material particulado suspenso no gás, sendo o mecanismo de coleta dominante a impactação. Quanto maior a quantidade de gotas e menor o seu diâmetro, mais efetiva será a coleta e, portanto, mais eficiente será o equipamento.



Torre ou coluna de lavagem.



Lavador Venturi.



Os lavadores Venturi são frequentemente utilizados para controle de particulados, pois são eficientes para a remoção de partículas pequenas (0,4 a 20  $\mu\text{m}$ ). Neste equipamento, o líquido de lavagem é introduzido com pressão em sua "garganta" (*vena contracta*), através de bicos atomizadores, onde são geradas pequenas gotas. O gás "sujo" atravessa essa região do equipamento em alta velocidade (30 a 120 m/s), o que ajuda na dispersão das gotas de líquido e na captura do material particulado.

Neste equipamento, temos a necessidade de introdução de uma corrente gasosa, que é a corrente que queremos tratar, e uma corrente líquida, que é a corrente de "tratamento". Assim, o consumo de energia no lavador é considerável, pois a queda de pressão no equipamento é significativa, sendo um parâmetro importante no seu dimensionamento.

## Dimensionamento e Desempenho

A equação mais utilizada para estimar-se a eficiência de coleta foi proposta por Johnstone:

$$E_i = 1 - \exp \left[ -K \left( \frac{\dot{V}_L}{\dot{V}_G} \right) \sqrt{\Psi} \right]$$

$E_i$  = eficiência;

$K$  = constante empírica (1000  $\text{ft}^3/\text{galão}$ );

$\dot{V}_L$  = vazão do líquido (galão/s);

$\dot{V}_G$  = vazão de gás (1000  $\text{ft}^3/\text{s}$ );

$\Psi$  = parâmetro de impactação inercial (adimensional).

Usualmente:  $0,10 \leq K \leq 0,20$

O termo  $\Psi$  é definido:

$$\Psi = \frac{d_p^2 \rho_p V C_s}{9 \mu d_g}$$

$d_p$  = diâmetro da partícula (m);  
 $\rho_p$  = densidade da partícula ( $\text{kg/m}^3$ );  
 $V$  = velocidade do gás na garganta (m/s);  
 $C_s$  = fator de escorregamento (adimensional);  
 $\mu$  = viscosidade do gás ( $\text{Kg/m.s}$ );  
 $d_g$  = diâmetro da gota (m).

Para a estimativa de  $C_s$  podemos usar:

$$C_s = 1 + \frac{2}{Pd_p} [6,32 + 2,01 \text{EXP}(-0,1095Pd_p)]$$

$P$  = pressão (cmHg);  
 $d_p$  = diâmetro da partícula ( $\mu\text{m}$ ).

O diâmetro da gota ( $\mu\text{m}$ ) pode ser estimado pela equação de Nukijama-Tanasawa, para água:

$$d_g = \frac{16300}{V} + 1,45(R)^{1,5}$$

$V$  = velocidade do gás (ft/s);  
 $R$  = razão líquido/gás (galão/1000ft<sup>3</sup>);  
 $d_g$  = diâmetro da gota ( $\mu\text{m}$ ).

## Queda de Pressão

Pode-se estimar a queda de pressão no lavador pela expressão:

$$\Delta P = 5 \times 10^{-5} V^2 R$$

$\Delta P$  = queda de pressão (inH<sub>2</sub>O);  
 $V$  = velocidade do gás (ft/s);  
 $R$  = razão líquido/gás (galão/1000ft<sup>3</sup>).

## Recomendações para Dimensionamento

A velocidade do gás no interior da garganta:

$$30 \leq V \leq 120 \text{ m/s}$$

A razão líquido/gás:  $6 \leq R \leq 10 \text{ galão}/1000 \text{ ft}^3$

Queda de pressão para o gás:

$$50 \text{ cmH}_2\text{O} \leq \Delta P \leq 200 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Queda de pressão para o líquido:

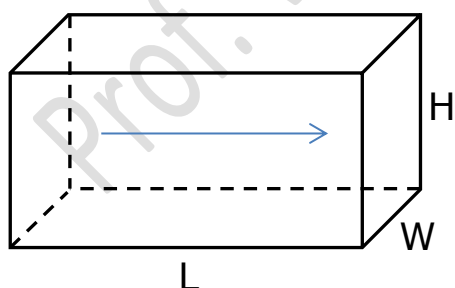
$$350 \text{ cmH}_2\text{O} \leq \Delta P \leq 1.400 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Seção convergente: inclinação ( $\alpha$ ) entre  $20^\circ$  e  $30^\circ$

Difusor: inclinação ( $\beta$ ) entre  $7^\circ$  e  $10^\circ$



Para garganta de seção retangular:



$$H \leq 0,5W$$

$$2Dh \leq L \leq 3Dh$$

$Dh$  = Diâmetro hidráulico da garganta

**Ex.** - Dimensionar e calcular a eficiência global de um lavador Venturi para remoção do particulado em suspensão em uma corrente gasosa. Dados:

Vazão de gás (ar) =  $6.000 \text{ m}^3/\text{h} = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

Temperatura =  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P = 1 \text{ atm}$ ;

Densidade das partículas =  $2.500 \text{ kg/m}^3$ .

Distribuição granulométrica do pó:

Faixa de diâmetros ( $\mu\text{m}$ )		$x_i$ (%)
0	2	10
2	5	20
5	8	20
8	15	20
15	20	17
20	50	13
Total =		100

Densidade do ar =  $1,132 \text{ kg/m}^3$

Viscosidade do ar =  $1,897 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$

1 galão = 3,78 litro

1  $\text{ft}^3$  = 28,32 litro

1 m = 3,28 ft

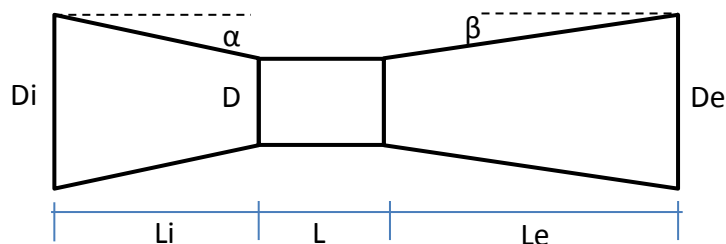
A velocidade do gás na garganta:  $30 \text{ m/s}$

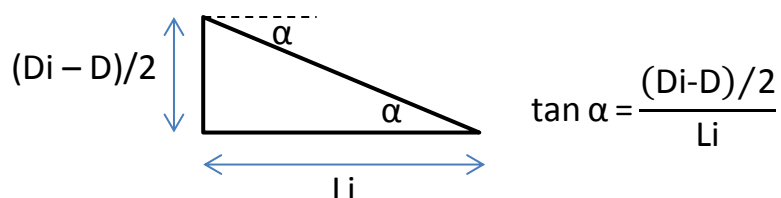
Área da garganta =  $1,67/30 = 0,05567 \text{ m}^2$

Diâmetro da garganta =  $0,266 \text{ m} = 26,6 \text{ cm}$

Comprimento da garganta =  $2 \times 26,6 = 53,2 \text{ cm}$

Tamanho do lavador:





Adotar:  $\alpha = 30^\circ$  e  $\beta = 10^\circ$ .

Para a seção de entrada, assumir velocidade do gás de 10 m/s:

Área da seção convergente =  $1,67/10 = 0,167 \text{ m}^2$

$D_i = 0,46 \text{ m} = 46 \text{ cm}$

$D_e = 46 \text{ cm}$  (vamos assumir mesmo diâmetro)

$L_i = 17 \text{ cm}$

$L_e = 55 \text{ cm}$

Tamanho total =  $17 + 53,2 + 55 = 125,2 \text{ cm} = 1,25 \text{ m}$

Cálculo das eficiências (Eq. de Johnstone)

$E_i = 1 - \exp \left[ -K \left( \frac{\dot{V}_L}{\dot{V}_G} \right) \sqrt{\Psi} \right]$	$\Psi = \frac{d_p^2 \rho_p V C_s}{9 \mu d_g}$	$d_g = \frac{16300}{V} + 1,45(R)^{1,5}$
---	---	---

Diâmetro da gota

Adotar  $R = 6 \text{ galão}/1000 \text{ ft}^3$

$V = 30 \text{ m/s} = 98,4 \text{ ft/s}$

$$d_g = \frac{16300}{98,4} + 1,45(6)^{1,5} = 187 \text{ } \mu\text{m}$$

dp(m)	xi (%)	Cs	Pó coletado			Residual		
			$\psi$	Ei	xi*Ei	Pi = 1-Ei	xi*Pi	xi (%)
1,0E-06	10	1,17	1,8	0,551	0,055	0,449	4,49	74,17
3,5E-06	20	1,05	19,6	0,930	0,186	0,070	1,41	23,24
6,5E-06	20	1,03	66,0	0,992	0,198	0,008	0,15	2,52
1,2E-05	20	1,01	204,5	1,000	0,200	0,000	0,00	0,06
1,8E-05	17	1,01	471,2	1,000	0,170	0,000	0,00	0,00
3,5E-05	13	1,00	1.876,0	1,000	0,130	0,000	0,00	0,00
Total=	100,0			Total=	93,9%	Total=	6,06	100,00

Eficiência global = 93,9%

Cálculo da queda de pressão (Eq. de Theodore):

$$\Delta P = 5 \times 10^{-5} V^2 R = 5 \times 10^{-5} \times 98,4^2 \times 6 = 2,9 \text{ polH}_2\text{O}$$

$$\Delta P = 2,9 \text{ polH}_2\text{O} = 7,4 \text{ cmH}_2\text{O}$$

A queda de pressão está abaixo do limite recomendado, dessa maneira, se for desejável, pode-se aumentar a velocidade do gás na garganta.

**Consumo de água:** são 6 galões de água para cada 1.000 ft<sup>3</sup> de gás, ou seja, 22,7 litros de água para cada 28,32 m<sup>3</sup> de gás.

Para uma vazão de gás de 6.000 m<sup>3</sup>/h, teremos 4.810 litros de água por hora.

$$\text{Vazão de água} = 4,81 \text{ m}^3/\text{h}$$