

		UTE PAMPA SUL S.A.			
LEME					
USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					FOLHA

1. Considerações preliminares

O presente documento tem como objetivo apresentar um pré cálculo da resistência gasodinâmica da via dos gases da UTE Pampa Sul a ser implantada no estado do Rio Grande do Sul, em atendimento as condicionantes definidas para fins de obtenção de licenciamento ambiental do empreendimento.

Devido ao estágio inicial do empreendimento, serão adotados dados preliminares para a realização dos cálculos.

O cálculo seguirá a metodologia definida no documento Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Módulo I - 2011.

A perda de carga total será composta pela parcelas:

- Perda de carga devido ao atrito nos dutos;
- Perda de carga devido resistência localizada em acessórios;
- Perda de carga nos equipamentos - Ciclone, Trocadores de calor do segundo passo da caldeira, Pré-aquecedor de ar, Precipitador Eletrostático, Filtro de Mangas, Dessulfurizador e Chaminé.

As seguintes considerações serão adotadas:

- taxa de transferência de calor entre os dutos/equipamentos e o ambiente serão desprezível (mais conservador).
- valores típicos de perda de carga para o precipitador eletrostático e filtro de mangas. Devido a falta de informações dimensionais dos equipamentos que serão utilizados, será adotado valores usuais de perda de carga fornecidos por fabricantes e/ou usinas similares.
- valores típicos para o coeficiente de resistência localizada para os acessórios da tubulação. Devido a falta de informações serão utilizados valores disponíveis em ASHRAE Fundamentals Handbook - FITTING LOSS COEFFICIENTS.
- seção transversal e comprimento dos dutos informados pelo fabricante da caldeira. Como o empreendimento se encontra na fase inicial, serão utilizados valores de uma planta similar informado pelo fabricante.

2. Dados de entrada

Vazão de combustível (Q_carvão) =	316	t/h
Vazão de gases inform.fabricante (Q_gases_fab) =	1.391.939	Nm ³ _gases/h
Temperatura ambiente (T_amb) =	25	°C
Pressão atmosférica (P_atm) =	986,9	hPa

TRACTEBEL Engineering <small>GDF SVEZ</small>		UTE PAMPA SUL S.A.		Tractebel Energia <small>GDF SVEZ</small>	
LEME					
CLIENTE USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
PROJETO Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
TÍTULO Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					
FOLHA					

2.1 Dutos de Gases

Item	Seção do duto		Comprimento [m]	Seção do duto [m]		Temperatura [°C]
	Início	Fim		largura	altura	
1	Pré Aquecedor	PE+FM	36	4	5,2	135
2	PE+FM	Ventilador Induzido	17	4	5,2	128
3	Ventilador Induzido	FGD	35	10,8	4,36	126
4	FGD	Chaminé	25	5,1	7	60
5	Chaminé (Ø x altura)		200	5,5	200	60

Item	Seção do duto		Composição dos gases [% base úmida]					
	Início	Fim	N2	O2	H2O	NO2	CO2	SO2
1	Pré Aquecedor	PE+FM	69,7	4,9	12,6	0,0195	12	0,0958
2	PE+FM	Ventilador Induzido	70	5,5	12,2	0,0195	11,5	0,091
3	Ventilador Induzido	FGD	70	5,5	12,2	0,0195	11,5	0,091
4	FGD	Chaminé	66,2	5,3	15,6	0,0195	11,2	0,014
5	Chaminé (Ø x altura)		66,2	5,3	15,6	0,0195	11,2	0,014

Temperatura [°C]	Vscosidade cinemática (v_T) [m2/s]					
	N2	O2	H2O	NO2	CO2	SO2
0°C	1,31E-05	1,34E-05	1,11E-05	5,71E-06	7,00E-06	4,16E-06
135°C	2,68E-05	2,75E-05	2,60E-05	1,51E-05	1,52E-05	9,21E-06
128°C	2,60E-05	2,66E-05	2,51E-05	1,46E-05	1,47E-05	8,90E-06
126°C	2,58E-05	2,64E-05	2,48E-05	1,44E-05	1,46E-05	8,82E-06
60°C	1,87E-05	1,92E-05	1,69E-05	9,51E-06	1,03E-05	6,18E-06
60°C	1,87E-05	1,92E-05	1,69E-05	9,51E-06	1,03E-05	6,18E-06

Temperatura	Densidade (rho_T) [kg/m3]					
	N2	O2	H2O	NO2	CO2	SO2
0°C	1,250	1,428	0,804	2,053	1,964	2,858
135°C	0,836	0,955	0,538	1,374	1,314	1,913
128°C	0,851	0,972	0,547	1,398	1,337	1,946
126°C	0,855	0,977	0,550	1,405	1,344	1,956
60°C	1,025	1,171	0,659	1,683	1,610	2,343
60°C	1,025	1,171	0,659	1,683	1,610	2,343

CARVÃO	
Produto	Concentração massica base úmida
Carbono	28,65%
Hidrogenio	1,93%
Nitrogênio	0,55%
Oxigênio	6,03%
Enxofre	1,48%
H ₂ O	17,80%
Cinzas	43,57%
Soma	100%

		UTE PAMPA SUL S.A.			
LEME					
USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases			FOLHA		

3. Cálculo do volume de gases de combustão

Para o cálculo do volume teórico dos gases da combustão completa, com excesso de ar ($\alpha > 1$), por unidade de massa de combustível:

$$V_g = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}$$

Para Combustíveis sólidos e líquidos pode-se adotar as seguintes equações conforme (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Módulo I)

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C^t + 0,375 \cdot S^t)$$

$$V_{H_2O} = 0,111H^t + 0,0124W^t + 0,0161 \cdot \alpha \cdot V_{ar}^0$$

$$V_{N_2} = 0,008N^t + 0,79 \cdot \alpha \cdot V_{ar}^0$$

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)V_{ar}^0$$

Onde:

- Ct = porcentagem de carbono na massa de trabalho do combustível
- St = porcentagem de enxofre na massa de trabalho do combustível
- Ht = porcentagem de hidrogênio na massa de trabalho do combustível
- Wt = porcentagem de umidade na massa de trabalho do combustível
- Nt = porcentagem de nitrogênio na massa de trabalho do combustível
- V0_ar = volume de ar teoricamente necessário para a combustão (m3 ar/kg combustível)
- α = excesso de ar (>1)

$$V0_ar = 2,907 \text{ Nm}_3_ar/kg_combustível$$

$$L_ar = 4,152 \text{ kg_ar/kg_combustível}$$

$$\alpha = 1,3099$$

$$V_RO = 0,005 \text{ Nm}_3_RO/kg_combustível$$

$$V_H_2O = 0,066 \text{ Nm}_3_H_2O/kg_combustível$$

$$V_N_2 = 3,009 \text{ Nm}_3_N_2/kg_combustível$$

$$V_O_2 = 0,189 \text{ Nm}_3_O_2/kg_combustível$$

$$V_g = 3,27 \text{ Nm}_3_gases/kg_combustível$$

$$\text{Vazão de gases inform.fabricante (Q_gases_fab)} = 1.391.939 \text{ Nm}_3_gases/h$$

(conforme informação da DEC - General Description Proposal)

$$\text{Vazão de gases calculada(Q_gases_calc)} = 1.031.394 \text{ Nm}_3_gases/h$$

O volume teórico dos gases da combustão completa (Vg) é uma aproximação do valor real e deve ser usado quando não se tem o valor medido ou quando não for possível calcular o valor correto. Portanto, o valor informado pelo fabricante será utilizado nos cálculos. Nota-se que o valor informado pelo fabricante e o valor calculado são muito próximos.

TRACTEBEL Engineering <small>GDF SVEZ</small>		UTE PAMPA SUL S.A.		Tractebel Energia <small>GDF SVEZ</small>	
LEME					
USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					
TÍTULO					

4. Perda de pressão devido ao atrito nos dutos

$\Delta P_{atr} = \lambda_{atr} \cdot \frac{l}{d_l} \cdot \frac{\rho_0 \cdot \omega_0^2}{2} \cdot (1 + \beta \cdot T)$		
<i>Para canais de forma irregular</i>	<i>Número de Reynolds</i>	<i>Viscosidade cinemática de uma mistura gasosa</i>
$d_l = \frac{4 \cdot \text{Área}}{\text{Perímetro}}$	$Re = \frac{\omega_T \cdot d_l}{\nu_T}$	$\nu_T = \frac{100}{\sum \frac{r_i}{\nu_i}}$

<i>Coefficiente de atrito (Re < 100.000)</i>	<i>Coefficiente de atrito (Re > 100.000)</i>	<i>Coefficiente de atrito rugosidade (Re > 100.000)</i>
$\lambda_{atr} = \frac{A}{Re}$	$\lambda_{atr} = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$	$\lambda_{atr} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_l} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$

Onde:

- ΔP_{atr} = perda da pressão devida ao atrito [Pa];
- λ_{atr} = coeficiente de atrito;
- l = comprimento do canal [m]
- d_l = diâmetro equivalente do canal [m]
- ω_0 = velocidade dos gases à temperatura de 0°C [m/s];
- ρ_0 = densidade dos gases à temperatura de 0°C [kg/m³]
- $\beta = 1/273$ coeficiente de expansão térmica [1/K]
- T = temperatura dos gases [°C]
- Área = área da secção transversal do canal [m²]
- Perímetro = perímetro do canal [m]
- A = coeficiente de forma do canal - Anexo I.A (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Módulo I)
- Δ = altura média de saliência de rugosidade [m] - Anexo I.B (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Módulo I)
- ω_T = velocidade dos gases a temperatura T [m/s]
- ν_T = viscosidade cinemática dos gases a temperatura T [m²/s]
- r_i = porcentagem volumétrica do i-gésimo gás em produtos de combustão
- ν_i = viscosidade cinemática do i-gésimo gás [m²/s]

Item	Trecho do duto		Área [m ²]	Perímetro o	d_l [m]	v_T (T=0°C)	rho_T (T=0°C)
	Início	Fim					
1	Pré Aquecedor	PE+FM	20,8	18,4	4,52	1,34814E-05	1,53
2	PE+FM	Ventilador Induzido	20,8	18,4	4,52	1,34904E-05	1,52
3	Ventilador Induzido	FGD	47,1	30,3	6,21	1,34904E-05	1,52
4	FGD	Chaminé	35,7	24,2	5,90	1,41909E-05	1,60
5		Chaminé	23,8	17,3	5,50	1,41909E-05	1,60

Item	Trecho do duto		ω_T (T=0°C)	Re [-]	λ_{atr} [-]	ΔP_{atr} [Pa]
	Início	Fim				
1	Pré Aquecedor	PE+FM	18,6	6,23E+06	8,62E-03	27
2	PE+FM	Ventilador Induzido	18,6	6,23E+06	8,62E-03	13
3	Ventilador Induzido	FGD	8,2	3,78E+06	9,30E-03	4
4	FGD	Chaminé	10,8	4,50E+06	9,05E-03	4
5		Chaminé	16,3	6,31E+06	1,53E-02	144
Total						192

TRACTEBEL Engineering <small>GDF SVEZ</small>		UTE PAMPA SUL S.A.		Tractebel Energia <small>GDF SVEZ</small>	
LEME					
CLIENTE USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
PROJETO Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
TÍTULO Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					FOLHA

5. Perda de pressão localizada - Acessórios

A perda de pressão localizada é decorrente do escoamento dos gases através trechos curvos, "dampers" de vedação e regulagem, dispositivos divisores e concentradores de fluxo, pontos de variação de seção como nas entradas e saídas de equipamentos conectados na rede (precipitador eletrostático + filtro de mangas, dessulfurizador, ventilador induzido, chaminé) e todos os demais acessórios que provocam perturbação no escoamento.

Os coeficientes de perda de carga localizados serão definidos conforme ASHRAE FUNDAMENTALS CHAPTER 32 DUCT DESIGN FITTING LOSS COEFFICIENTS.

$$\Delta P_L = K \cdot \frac{\rho_0 \cdot \omega_0^2}{2} \cdot (1 + \beta \cdot T)$$

Onde:

ΔP_L = perda da pressão localizada em acessórios [Pa];

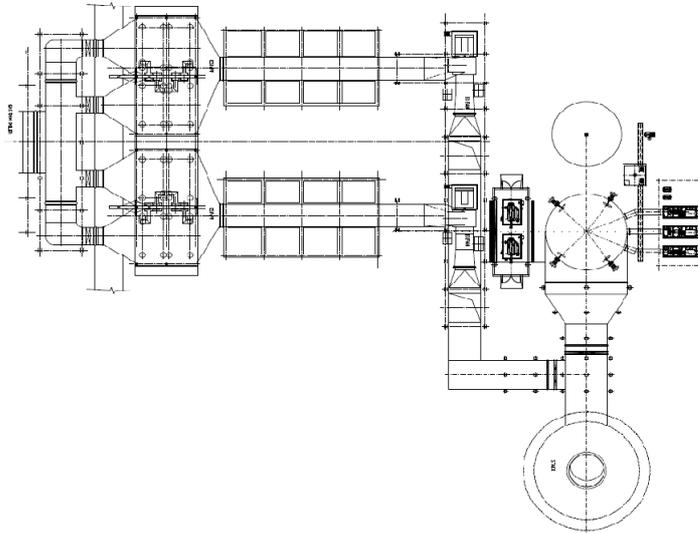
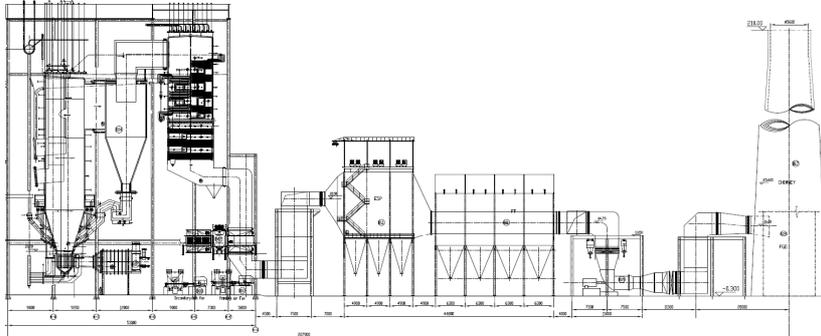
K = coeficiente de resistência localizada - obtido em publicações

Item	Seção do duto		Curvas 90°			Damper		
	Início	Fim	Qtde	K	ΔP_L [Pa]	Qtde	K	ΔP_L [Pa]
1	Pré Aquecedor	PE+FM	5	0,12	237,09	2	0,18	142,26
2	PE+FM	Ventilador Induzido	2	0,12	92,64	2	0,18	138,96
3	Ventilador Induzido	FGD	0		0,00	2	0,18	26,98
4	FGD	Chaminé	1	0,12	13,76	2	0,18	41,28
5		Chaminé	0		0,00	0		0,00

Item	Seção do duto		Total [Pa]
	Início	Fim	
1	Pré Aquecedor	PE+FM	379
2	PE+FM	Ventilador Induzido	232
3	Ventilador Induzido	FGD	27
4	FGD	Chaminé	55
5		Chaminé	0
Total			693

LEME

CLIENTE	USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL	CLIENTE Nº	PS2-MC-LM-02-M03-001	
PROJETO	Projeto Básico Ambiental	LEME Nº	P.006851-MC-M23-LE001	REV. b
TÍTULO	Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases			FOLHA



TRACTEBEL Engineering <small>GDF SVEZ</small>		UTE PAMPA SUL S.A.		Tractebel Energia <small>GDF SVEZ</small>	
LEME					
CLIENTE USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
PROJETO Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
TÍTULO Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					
FOLHA					

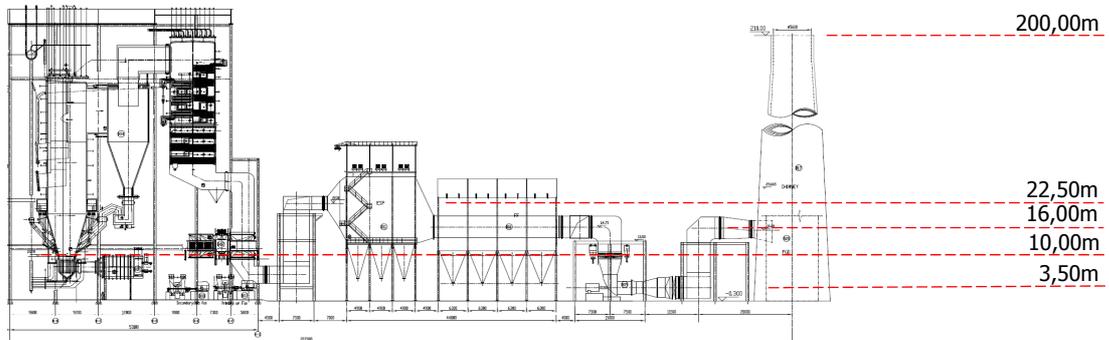
6. Perda de pressão geométrica (potencial)

Para calcular a perda de geométrica, quando há movimentação dos gases por canais verticais e inclinados e quando existem diferenças de densidade do ar e dos gases, em função das diferenças de temperatura:

$$\Delta P_g = g \cdot \Delta H \cdot (\rho_{ar} - \rho_g) \quad \rho_{ar}(T) = \frac{\rho_0}{1 + \beta \cdot T} \cdot \frac{P_{atm}}{1013,25}$$

Onde:

- ΔP_g = perda de pressão geométrica [Pa];
- g = aceleração da gravidade [m/s²] $g = 9,81\text{m/s}^2$
- ΔH = diferença de níveis de canais [m]
- ρ_{0_ar} = densidade do ar na temperatura $T=0$ [kg/m³] $\rho_{0_ar} = 1,295\text{kg/m}^3$
- ρ_{ar} = densidade do ar ambiente [kg/m³]
- ρ_{gases} = densidade dos gases de combustão [kg/m³]
- P_{atm} = pressão atmosférica [hPa]



Item	Seção do duto		ΔH [m]	T [°C]	$\rho_{ar}(T)$ [kg/m ³]	$\rho_{gases}(T)$ [kg/m ³]	ΔP_g
	Início	Fim					
1	Pré Aquecedor	PE+FM	12,5	135		0,997	122
2	PE+FM	Ventilador Induzido	-18,5	128		1,009	-183
3	Ventilador Induzido	FGD	0	126		1,014	0
4	FGD	Chaminé	12,5	55		1,299	159
5		Chaminé	184	53	1,156	1,307	-274

7. Perda de pressão nos equipamentos

Item	Equipamento	Perda de pressão - Fornecedor [Pa]
6	Ciclone	
7	Super Aquecedores	5000
8	Economizador e PréAquecedor	
9	Precipitador Eletrostático +Filtro Mangas	2400
10	Dessulfurizador (FGD)	1500

TRACTEBEL Engineering <small>GDF SVEZ</small>		UTE PAMPA SUL S.A.		Tractebel Energia <small>GDF SVEZ</small>	
LEME					
CLIENTE USINA TERMELÉTRICA PAMPA SUL			CLIENTE Nº PS2-MC-LM-02-M03-001		
PROJETO Projeto Básico Ambiental			LEME Nº P.006851-MC-M23-LE001		REV. b
TÍTULO Cálculo da Resistência Gasodinâmica da Via dos Gases					FOLHA

8. Perda de pressão Total

Item		ΔP [Pa]
1	Pré Aquecedor PE+FM	529
2	PE+FM Ventilador Induzido	61
3	Ventilador Induzido FGD	31
4	FGD Chaminé	219
5	Chaminé	-130
6	Ciclone	
7	Super Aquecedores	5000
8	Economizador e PréAquecedor	
9	Precipitador Eletrostático +Filtro Mangas	2400
10	Dessulfurizador (FGD)	1500
Total		9609