





CAT. :	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO</b>	Nº DOC.:	<b>MC-5000-962-TOC-001</b>
INSTALAÇÃO:		FOLHA	2 de 9
TÍTULO DO DOCUMENTO:	<b>Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor</b>		

## SUMÁRIO

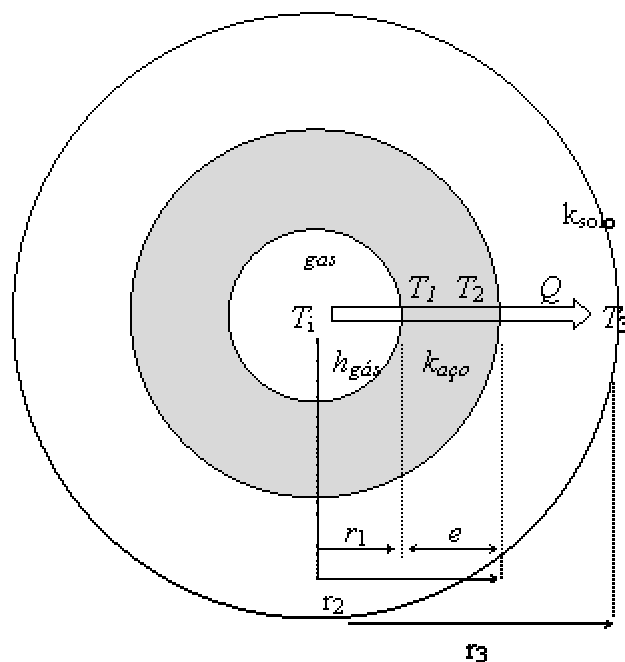
1.	OBJETIVO.....	3
2.	TRANSFERENCIA DE CALOR EM UM CILINDRO COMMPOSTO.....	3
3.	CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA.....	5
4.	RESULTADOS.....	7
5.	BIBLIOGRAFIA.....	7

## 1 – OBJETIVO

Justificar o valor do Coeficiente Global de Transferência de Calor Utilizado no modelo termohidráulico para a capacidade a instalada de 30 MMm³/d. Este documento apresenta a metodologia de cálculo baseado na literatura de Transferência de Calor . (ref.01)

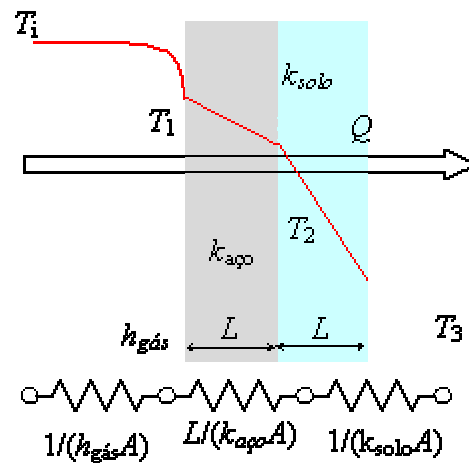
## 2 – TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM UM CILINDRO COMPOSTO

Considerando o calculo da transferência de calor envolvendo convecção forçada e condução num cilindro composto de mais de um material, onde um fluido escoa pelo cilindro interno.



**Figura 2.1** Distribuição de Temperatura num cilindro composto

### Condução e Convecção



**Figura 2.2** Analogia à eletricidade para o perfil de Temperatura num cilindro composto

Admitindo regime permanente, o fluxo de calor é constante desde a região interna até uma distância considerável do cilindro externo, onde a temperatura mantém-se igual a  $T_e$ . Assim tem-se



CAT. :	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO</b>	Nº DOC.:	<b>MC-5000-962-TOC-001</b>
INSTALAÇÃO:		FOLHA	5 de 9
TÍTULO DO DOCUMENTO:	<b>Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor</b>		

$$T_i - T_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot h_i} (q/L)$$

$$T_1 - T_2 = \frac{\ln \cdot (r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot K_a} (q/L)$$

$$T_2 - T_3 = \frac{\ln \cdot (r_3 / r_2)}{2 \cdot \pi \cdot K_b} (q/L)$$

(2.1)

Somando estas equações obtemos,

$$\frac{q}{L} = U(T_i - T_e)$$

(2.2)

Com o coeficiente global de transferência de calor U, dado pela expressão,

$$U = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{h_{gás}} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{K_{aço}} + \frac{\ln(r_3 / r_2)}{K_{solo}}}$$

(2.3)

No sistema SI, a unidade de U é W/m-K

A equação Eq. (1.3) Não está escrita em função da área. Na realidade, sendo o regime permanente, o fluxo de calor, q , é o mesmo para qualquer área cilíndrica, o que justifica a forma escolhida para a Eq.(1.3) Todavia, podemos reescrever esta equação em função de uma área particular; como aquela do cilindro interno. Temos então,



CAT. :	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO</b>	Nº DOC.:	<b>MC-5000-962-TOC-001</b>
INSTALAÇÃO:		FOLHA	6 de 9
TÍTULO DO DOCUMENTO:	<b>Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor</b>		

$$\frac{q}{L} = U_A \cdot A_i \cdot (T_i - T_e)$$

(2.4)

e

$$U_A = \frac{1}{\frac{1}{h_{gás}} + \frac{r_1 \cdot \ln(r_2 / r_1)}{K_{aço}} + \frac{r_1 \cdot \ln(r_3 / r_2)}{K_{solo}}}$$

(2.5)

Onde  $A_i = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L$ . Neste caso, a unidade de  $U_A$  é  $W/m^2 \cdot K$ .

### 3 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA ( $h_{gás}$ )

O coeficiente local de calor em convecção é função das propriedades físicas do fluido que escoar sobre a superfície sólida assim como das características do escoamento.

$\rho_f$  densidade ( $kg/m^3$ )

$\mu_f$  viscosidade ( $kg/m \cdot s$ )

$k_f$  condutividade ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

$c_f$  calor específico ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )

$v$  velocidade ( $m/s$ )

$L, d$  dimensão característica ( $m$ )

Com estes parâmetros formam-se as variáveis adimensionais. A propriedade do escoamento considerada é a velocidade (média para escoamento interno, ou a da corrente, no caso de escoamento externo). Coeficientes de troca de calor para essas situações têm sido apresentados sob forma de correlações através de grupos



CAT. :	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO</b>	Nº DOC.:	<b>MC-5000-962-TOC-001</b>
INSTALAÇÃO:		FOLHA	7 de 9
TÍTULO DO DOCUMENTO:	<b>Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor</b>		

adimensionais obtidos a partir de variáveis mencionadas. Apresentamos abaixo três importantes parâmetros definidos em problemas de convecção forçada:

#### **Número de Reynolds.**

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

(2.6)

**Número de Prandtl.** Representa a razão entre as difusividades de quantidade de movimento ( $\nu = \mu/\rho$ ) e de calor ( $\alpha = k/c_p$ ). É uma propriedade do fluido (função da temperatura e pressão) cujo valor pode ser encontrado em tabelas,

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot c_p}{k}$$

(2.7)

**Número de Nusselt.** Uma combinação do coeficiente de troca de calor,  $h$ , o comprimento relevante do escoamento,  $L$ , e a condutividade térmica do fluido,  $K$ .

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$$

(2.8)

Uma vez que o escoamento turbulento é consideravelmente mais complexo do que o laminar, o número de Nusselt é obtido a partir de expressões empíricas. Existe um grande número de expressões, frequentemente associadas a condições particulares, seja para as propriedades do fluido, geometria, ou do escoamento.

Duas das mais consagradas expressões da literatura são:

a equação de **Coldburn**,

$$Nu = 0,0023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3}$$



CAT. :	<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO</b>	Nº DOC.:	<b>MC-5000-962-TOC-001</b>
INSTALAÇÃO:		FOLHA	8 de 9
TÍTULO DO DOCUMENTO:	<b>Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor</b>		

(2.9)

E de *Dittus-Boelter*,

$$Nu = 0,0023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

(2.10)

Onde  $n = 0,4$  para aquecimento e  $n = 0,3$  para resfriamento.

#### 4 – RESULTADOS

A tabela -01 contém alguns dados que foram especificados e os valores calculados das variáveis .

Parâmetros	valor	unidade	Variáveis Calculadas	valor	unidade
Diametro Interno	0,790	m	Reynolds	32000000	---
Diametro Externo	0,813	m	Prandtl	0,734	---
raio de enterramento do duto	1,000	m	Nusselt (eq. Colburn)	2464,365	---
Densidade relativa do gás	0,635	---	Coeficiente Global U	<b>2,210</b>	<b>W/m²·k</b>
Calor específico do gás	2230,000	J/Kg-K	Coeficiente Global U	<b>1,900</b>	<b>kcal/hm²·°C</b>
Viscosidade do gás	0,012	cp			
Condutividade térmica do gás	0,034	W/m-K			
Condutividade térmica do aço	61,000	W/m-K			
Condutividade térmica do solo	0,520	W/m-K			

Tabela 01 – Parâmetros conhecidos e variáveis calculadas





CAT. : **MEMÓRIA DE CÁLCULO**

Nº DOC.: **MC-5000-962-TOC-001**

INSTALAÇÃO:

FOLHA

9 de 9

TÍTULO DO  
DOCUMENTO:

**Metodologia de cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor**

## **5 – BIBLIOGRAFIA**

1) Incropera, F.P, De Witt, P.D., **Fundamentos de Transferência de calor**, Livros Técnicos e Científicos Editora, 4 Ed.