

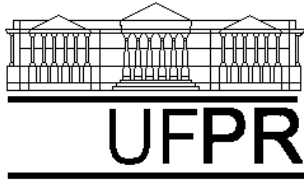
UFPR - Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
TM-258 - Laboratório de Engenharia Térmica
Data : ___ / ___ / ___

Aluno : _____

Tabela de controle de presença e entrega de relatórios

N	Data	Assinatura	Entrega de relatório	Data
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

N	Experimento	Área
1	Calibração de medidor de vazão	Medição
2	Determinação de coeficiente de descarga	Mec. dos fluidos
3	Determinação de tempo de descarga	Mec. dos fluidos
4	Determinação de fator de atrito em tubos	Mec. dos fluidos
5	Determinação de coeficiente de arrasto	Mec. dos fluidos
6	Calibração de termistors e termopares	Medição
7	Determinação de coeficiente de convecção natural em aletas	Transf. de calor
8	Determinação de coeficiente de convecção forçada em aletas	Transf. de calor
9	Teste de ventilador com rotação fixa	Máquinas de fluxo
10	Calibração de transdutor de pressão	Medição
11	Teste de bomba hidráulica com rotação variável	Máquinas de fluxo
12	Teste de cavitação em bombas	Máquinas de fluxo
13	Teste de compressor	Máquinas térmicas



Roteiro para cálculo de Incerteza de medição

A - Cálculo de incerteza de grandezas com várias medidas :

A.1 - Valor médio das medidas e desvio padrão da amostra:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

A.2 - Valor da medida e sua incerteza :

Exemplo : Medição do diâmetro de uma barra circular :

São efetuadas várias medidas em diâmetros diferentes, $i=1$ até n , e indica-se :

$$D = \bar{D} \pm U_D \quad U_D = 3 \cdot \sigma_D + B_D$$

onde:

3 : Parâmetro "t" de Student para 99,7% de confiabilidade.

B_D : Erro sistemático do instrumento, obtido com calibração comparada a um padrão rastreável

B - Cálculo da incerteza de grandeza com uma medida :

Utilizando um instrumento que seja confiável ou que tenha sido aferido contra algum tipo de padrão com menor divisão da ordem de 10% do valor da menor divisão do instrumento, podemos adotar:

Incerteza : $U_x = \frac{1}{2} \times \text{Menor divisão}$

Desvio padrão : $\sigma_x = \frac{U_x}{3}$ considerando $B_x = 0$

C - Cálculo da incerteza de grandezas dependentes :

$r = f (G_1, G_2, \dots, G_m) = \text{Grandeza dependente}$

$G_1, G_2, \dots, G_m = \text{Grandezas independentes}$

$\sigma_r = \text{Desvio-padrão da grandeza dependente}$

$\sigma_{G_i} = \text{Desvio-padrão das grandezas independentes}$

$$\sigma_r = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial r}{\partial G_i} \cdot \sigma_{G_i} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial G_1} \cdot \sigma_{G_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial G_2} \cdot \sigma_{G_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial r}{\partial G_m} \cdot \sigma_{G_m} \right)^2}$$

Exemplo : Área do círculo em função do diâmetro

$$A = f(D) = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow U_A = ? \quad \sigma_D = \text{Conhecido [m]}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial D} \cdot \sigma_D\right)^2} = \frac{\pi D}{2} \cdot \sigma_D = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{2}{D} \cdot \sigma_D = 2 \cdot A \cdot \frac{\sigma_D}{D} \quad \frac{\sigma_A}{A} = 2 \cdot \frac{\sigma_D}{D} \quad U_A = 3 \cdot \sigma_A$$

D - Ajuste de curvas - Método dos mínimos quadrados

Devido a simplicidade dos cálculos e a extensa aplicabilidade em ajustes de curvas em pontos (regressão numérica), o método dos mínimos quadrados é largamente utilizado na calibração estática de instrumentos de medição.

Equacionamento:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \end{bmatrix}$$

$$A = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad B = \frac{\sum y - A \sum x}{n}$$

n - número de pontos (pares x,y) dentro da faixa de uso do instrumento (ou medidor) obtidos durante o processo de calibração.

y = A . x + B - equação linear ajustada sobre n pontos (pares x,y), obtendo-se os coeficientes A,B a partir dos pontos (pares x,y) levantados experimentalmente.

Equação da calibração:

$$V_i = A \cdot V_p + B$$

V_i - Valor indicado pelo medidor

V_p - Valor medido ou indicado pelo padrão

Equação do medidor:

$$V_g = (1/A) \cdot V_i - (B/A) \quad V_g - \text{Valor da grandeza medida}$$

V_i - Valor indicado pelo medidor em uso

Aluno : _____

Experimento 1 - Calibração de medidor de vazão

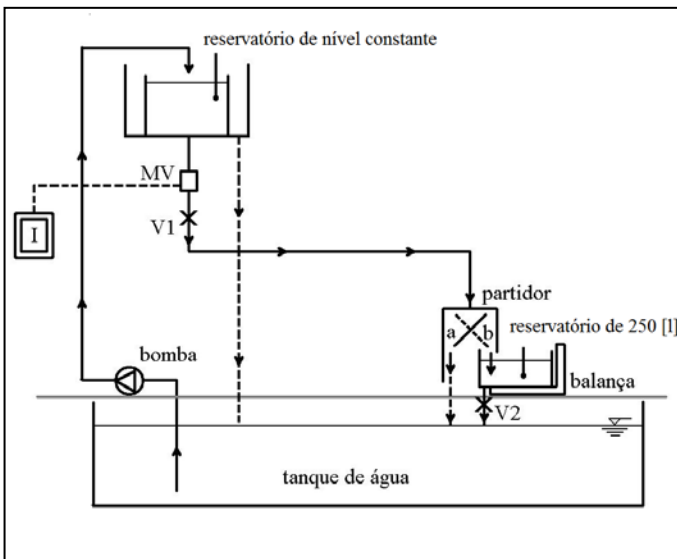
A) Objetivos:

Determinar a equação do medidor de vazão tipo tangencial

B) Equipamentos utilizados :

- Balança mecânica A.Niederhauser Escala: 0 a 250 [kg] Menor divisão: 0,1 [kg]
 $m = \text{_____} m_i \text{ - _____}$
- Medidor de vazão tipo tangencial Nivetec
 Escala: 0 a ___ [l/s] Menor divisão: ___ [l/s]
- Reservatório para água de ___ [l] de capacidade
- Partidor de vazão, bomba hidráulica, reservatório de nível constante, válvulas de controle

C) Esquema do experimento



Legenda :

- I: Painel do medidor de vazão
- MV: sensor de vazão
- V1: válvula de regulagem (manual)
- V2: válvula do reservatório

Posição do partidor:

- a: fluxo da água para o tanque (circuito fechado)
- b: fluxo para o reservatório da balança

D) Descrição / Procedimento:

O método gravimétrico de calibração consiste em medir massas de líquido que fluem, em regime permanente através do medidor a ser calibrado, para um dado reservatório sobre uma balança, em um intervalo de tempo também medido. Para que não ocorra variação de vazão quando do direcionamento do fluxo para o reservatório onde é medida a massa, utiliza-se um partidor de vazão, dispositivo semelhante a uma válvula de três vias (uma entrada / duas saídas), trabalhando em pressão atmosférica.

A vazão em massa fornecida pelo método (para cada ponto de calibração) será obtida pela divisão entre as massas medidas (inicial e final) sobre a balança, pelo intervalo de tempo transcorrido entre o início do fluxo para o reservatório e o retorno do fluxo para o circuito fechado. Ressalta-se que quando o reservatório atinge o seu nível próximo do máximo, é necessário realizar seu esvaziamento no tanque inferior, antes de reiniciar o processo para obtenção de novos pontos de calibração.

Com base nos valores de vazão obtidos pelo método gravimétrico e nos correspondentes valores indicados pelo medidor realiza-se um ajuste de reta sobre os pontos, de modo a obter uma equação de uso do medidor, na qual o valor esperado da grandeza vazão será obtido como função do valor indicado no medidor.

E) Dados experimentais / Cálculos :

N	massa inicial	massa final	intervalo de tempo	massa efetiva	massa corrigida	vazão em massa	Q _p - Vazão padrão	Q _i - Vazão indicada
pto.	m _i [kg]	m _f [kg]	dt [s]	m _e = m _i - m _f [kg]	m _c [kg]	$\dot{m} = m_c/dt$ [kg/s]	Q _p = 1,002. \dot{m} [l/s]	[l/s]
01	-	-	-	-	-	-	0	0
02								
03								
04								
05								
06								
07								
08								
09								
10								
11								

N	Q _p - Vazão padrão	Q _i - Vazão indicada	Q _p x Q _i	(Q _p) ²	A	B
pto.	[l/s]	[l/s]	-	-		
01	0	0	0	0		
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
	Σx=	Σy=	Σxy=	Σ(x ²)=		

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$B = \frac{\sum y - A \sum x}{n}$$

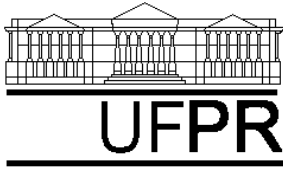
Ao se realizar os cálculos utilizar: ρ = 998 [kg/m³] ou v = 1,002 [lit/kg]

Q_i = _____ Q_p _____

Equação de calibração

Q = _____ Q_i _____

Equação do instrumento



UFPR - Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
TM-258 - Laboratório de Engenharia Térmica
Data : ___ / ___ / ___

Aluno : _____

Experimento 2 - Determinação de coeficiente de descarga em reservatórios

A) Definição de coeficiente de descarga:

O coeficiente de descarga é definido como sendo a relação entre a velocidade média real e a velocidade teórica máxima do escoamento de um fluido em uma determinada abertura ou passagem. Empregando-se a equação de Bernoulli e a equação da conservação da massa, mostra-se que o coeficiente de descarga pode ser medido utilizando a seguinte relação:

$$C_d = \frac{\bar{V}}{V_{\text{máx}}} = \frac{\bar{V}}{\sqrt{2g\Delta h}} = \frac{Q}{A\sqrt{2g\Delta h}}$$

sendo C_d o valor do coeficiente de descarga (adimensional), Q a vazão de entrada no reservatório [m^3/s], g a aceleração local da gravidade [m/s^2] e Δh a altura da coluna de água até o centro do orifício de descarga [m].

B) Objetivos:

No presente experimento, será determinado o coeficiente de descarga de vários formatos de orifícios próximos ao fundo de um reservatório, em diversas condições de altura de carga estática no reservatório.

C) Equipamentos:

- Medidor de vazão tipo tangencial Nivetec
Escala: 0 a ___ [l/s] Menor divisão: ___ [l/s] $Q = \text{_____} Q_i \text{ - _____}$
- Reservatório de acrílico com várias saídas para atmosfera (jato d'água)
- Bomba hidráulica, reservatório de nível constante.
- Válvulas de controle e de abertura / fechamento

D) Procedimento experimental:

O experimento consiste em medir o diâmetro do orifício de saída, a altura da coluna da água (escoamento no reservatório em regime permanente) e a vazão de água no circuito.

Serão realizados quatro pontos em regime permanente para cada orifício, correspondendo a pares vazão/altura da coluna.

E) Dados experimentais:

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14				Diâm. furo [mm]: ϕ 20				Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR			
N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d	N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d	N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Dimensões do furo [mm]: ϕ 23 CA											
N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d	N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d	N	Q_i [l/s]	Δh [mm]	C_d
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

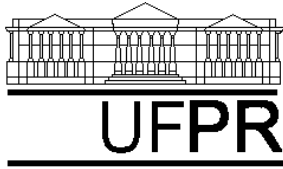
F) Cálculos :

F.1) Valores por ponto

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14				Diâm. furo [mm]: ϕ 20				Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR			
N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %	N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %	N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CA											
N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %	N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %	N	C_d	U_{Cd}	U/C_d %
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F.2) Valores médios

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14		Diâm. furo [mm]: ϕ 20		Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR	
$C_{d\text{médio}}$	σ_{Cd}	$C_{d\text{médio}}$	σ_{Cd}	$C_{d\text{médio}}$	σ_{Cd}
Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CA					
$C_{d\text{médio}}$	σ_{Cd}				



Aluno : _____

Experimento 3 - Determinação de tempo de descarga em reservatórios

A) Definição de tempo de descarga:

Tempo de descarga é o tempo necessário para que ocorra o esvaziamento de um dado reservatório de água entre dois níveis especificados. O tempo de descarga é obtido analiticamente através da integração da equação da conservação da massa em regime transiente, entre os tempos $t = 0$ e $t = t_{des}$, resultando na equação:

$$t_{des} = \frac{2LW}{CdA\sqrt{2g}}(\sqrt{h_i} - \sqrt{h_f})$$

onde: h_i é a altura inicial da coluna de água, h_f é a altura final da coluna de água, L é a largura do reservatório, W é o comprimento do reservatório, Cd é o coeficiente de descarga médio do orifício, A é a área do orifício [m^2] e g é a aceleração local da gravidade ($9,79 [m/s^2]$).

B) Objetivos:

No presente experimento será comparado o tempo medido de descarga entre dois níveis também medidos de um reservatório com o valor teórico de tempo de descarga deste mesmo reservatório entre os níveis considerados.

C) Equipamentos:

- Reservatório de acrílico com largura L ($L=188 [mm]$) e comprimento W ($W=388 [mm]$)
- Bomba hidráulica, reservatório de nível constante
- Válvulas de controle e de abertura/fechamento

D) Procedimento experimental:

Para cada ponto experimental estabelece-se a mesma altura estática inicial, h_i , com vazão de entrada e de saída igual a zero. Inicia-se a contagem de tempo no mesmo instante em que se permite a descarga do reservatório através do orifício considerado.

Ao final de um determinado tempo medido faz-se a leitura da altura estática final, h_f . Repete-se o procedimento acima para mais 3 pontos experimentais para cada orifício.

E) Dados coletados:

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14				Diâm. furo [mm]: ϕ 20				Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR			
N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]	N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]	N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CA											
N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]	N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]	N	h_i [mm]	h_f [mm]	t_{med} [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F) Cálculos:

F.1) Diferença entre tempos medidos e calculados:

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14				Diâm. furo [mm]: ϕ 20				Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR			
N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]	N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]	N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CA											
N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]	N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]	N	t_{med} [s]	t_{des} [s]	Δt [s]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

F.2) Incerteza do tempo calculado para cada ponto:

Diâm. do furo [mm]: ϕ 14				Diâm. furo [mm]: ϕ 20				Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CR			
N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]	N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]	N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
Diâm. do furo [mm]: ϕ 23 CA											
N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]	N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]	N	t_{des} [s]	$U-t_{des}$ [s]	$\frac{U-t_{des}}{t_{des}}$ [%]
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			

Observações :

- Adotar como valor da aceleração da gravidade, $g = 9,79 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- Considerar que as grandezas a) área do furo A e b) Dimensões L e W do reservatório possuem incertezas muito menores que as demais grandezas medidas e portanto não serão consideradas suas influências na incerteza do tempo de descarga teórico, $U-t_{des}$.
- Adotar as incertezas das medidas de h_i e h_f respectivamente 2 e 5 [mm] associadas ao processo de obtenção das medidas destas grandezas. Estas incertezas serão utilizadas no cálculo da incerteza do tempo de descarga teórico, $U-t_{des}$.

G) Relatório:

1) Gráfico de t_{des} versus t_{med} , mostrando todos os tipos de orifícios empregados e a incerteza experimental, e comparando com um reta de 45° de inclinação.

2) Gráfico da diferença absoluta entre os valores medidos e calculados para o tempo de descarga (Δt) versus t_{med} , para todos os tipos de orifícios empregados, conforme a relação a seguir: $\Delta t = t_{med} - t_{des}$

