

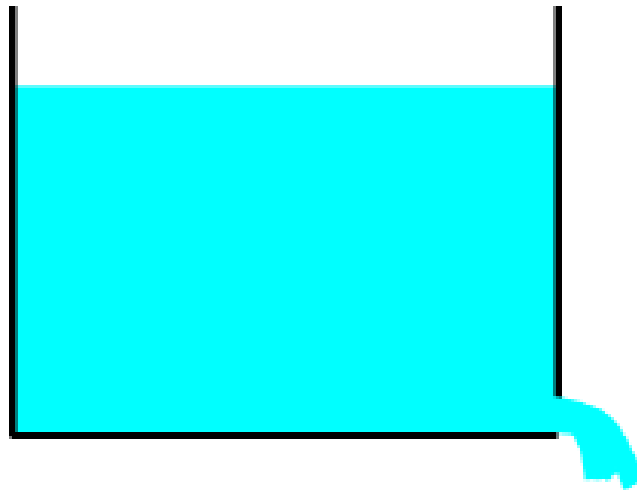
# Laboratório de Hidráulica

## Aula 2: Orifícios e Bocais

*Por Guilherme Augusto Teixeira*

# Introdução

- ▶ Um orifício é uma abertura em um reservatório
- ▶ Pode ligá-lo ao meio externo ou a uma tubulação



# Equação de energia

- ▶ Aplicando a equação de energia no topo do reservatório e na saída do orifício, temos:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + Z_s + \Delta H$$

# Equação de energia

- ▶ Considerando que o orifício fosse ideal, isto é, não houvesse perda de carga, a equação de energia seria reduzida a:

$$Z_1 = \frac{v_s^2}{2g}$$

- ▶ Isto é, toda a carga potencial (altura) do reservatório, seria convertida em carga cinética.
- ▶ Essa velocidade, portanto, é a velocidade teórica de um orifício

# Equação de energia

- ▶ Observando agora uma situação real, onde há perda de carga, avalia-se a eq. de energia:

$$Z_1 = \frac{V_s^2}{2g} + \Delta H$$

- ▶ Ou seja, parte da carga potencial foi convertida em cinética, enquanto o restante foi perdido.
- ▶ Essa velocidade é a velocidade real do escoamento e é naturalmente menor que a teórica, pois houve perdas, nesse caso.

# Coeficiente de velocidade

- ▶ A perda de carga pode ser expressa de outra forma, através de um coeficiente.
- ▶ Esse coeficiente nada mais é do que a razão entre a velocidade real e a teórica, sendo expressa da seguinte maneira:

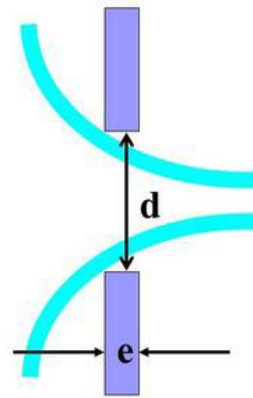
$$C_v = \frac{V_r}{V_t}$$

# Coeficiente de velocidade

- ▶ O que esse coeficiente significa? Indica o quanto a velocidade real representa em relação à teórica.
- ▶ Como assim? Por exemplo, se o  $C_v$  de um orifício é 0,6, quer dizer que a velocidade real apresenta 60% do valor da velocidade teórica
- ▶ Essa perda de velocidade se origina da mudança brusca de direção e do acúmulo de moléculas na abertura. Pode ser reduzida com uma passagem mais suave, entre outros.

# Coeficiente de contração

- ▶ Quando a água escoar por um orifício, o jato de água não se adequa perfeitamente à parede.
- ▶ Ele sofre uma pequena contração, isto é, uma variação da área:





# Coeficiente de Contração

- ▶ O Coeficiente de Contração relaciona essa área contraída do jato com a área total do orifício.
- ▶ Segue a seguinte relação:

$$C_c = \frac{A_c}{A_o}$$

- ▶ Tem o mesmo significado matemático que o  $C_v$ . Se o  $C_c$  for 0,8, indica que a área do jato representa 80% da área do orifício

# Coeficiente de Descarga

- ▶ Como houve perdas na velocidade e na área, a vazão também sofrerá uma defasagem.
- ▶ Dessa maneira, o coeficiente de descarga representa essa relação entre a nova vazão (real) e a ideal (teórica - sem perdas ou contração).
- ▶ Pode ser definida pela relação:

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t} = \frac{V_r * A_c}{V_t * A_o} = C_v * C_c$$

# Experimento

- ▶ O experimento será dividido em três ramos. São eles:
  1. Determinação do Coeficiente de Velocidade ( $C_v$ ) pelo método da trajetória (das coordenadas)
  2. Determinação do Coeficiente de Descarga ( $C_d$ ) pelo conceito de vazão.
  3. Determinação do Coeficiente de Contração ( $C_c$ ) a partir dos outros dois

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

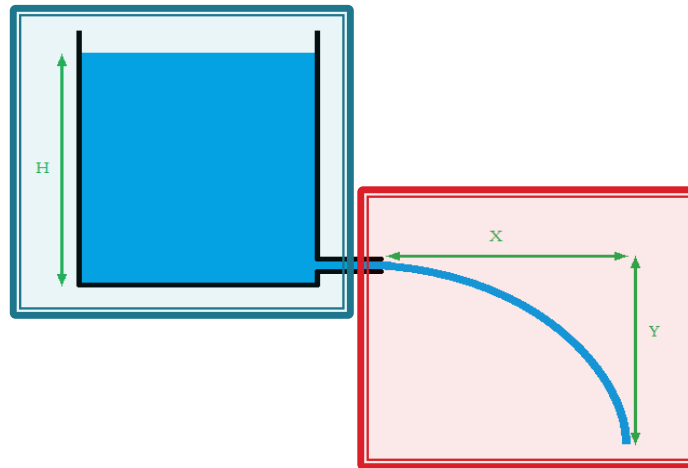
- ▶ Considerando a fórmula do Coeficiente de Velocidade, é possível calculado por:

$$C_v = \frac{V_r}{V_t}$$

- ▶ Assim, primeiramente, deve-se determinar a velocidade real e a teórica:
  - A teórica será obtida pela equação de energia
  - A real será calculada a partir dos princípios da cinemática

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ De uma maneira esquemática, observe:



- ▶ O lado em azul será usado para calcular a velocidade teórica, enquanto o em vermelho a velocidade real

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Aplicando a equação de energia para um modelo ideal (sem perdas de carga), chega-se a essa relação já calculada anteriormente:

$$Z_1 = \frac{V_s^2}{2g}$$

- ▶ Como essa é a velocidade teórica, pode-se reescrever a equação da seguinte maneira (apenas para não se perder):

$$Z_1 = \frac{V_t^2}{2g}$$

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

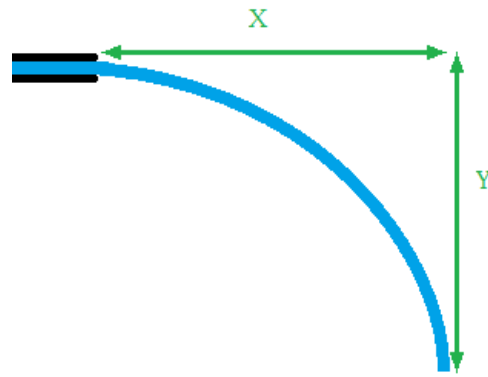
- ▶ Isolando o termo na equação, é possível obter a velocidade teórica:

$$V_t = \sqrt{2gZ_1}$$

- ▶ Isto é, o valor da velocidade teórica depende somente da gravidade  $E$  do nível de água do reservatório

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Para determinar a velocidade real, deve-se considerar a trajetória do escoamento após passar pelo acessório
- ▶ Observa-se que se trata de um lançamento horizontal, ou seja, só há velocidade inicial na horizontal e nenhuma na vertical





# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Dessa maneira, vamos dividir o lançamento nos seus dois eixos.
- ▶ No eixo  $y$ , só há a aceleração da gravidade, dessa maneira, se trata de um MRUV, descrito por:

$$y = y_0 + v_{0y}t + 0,5a_y t^2$$

- ▶ Considerando a posição inicial igual a zero e sabendo que não há velocidade inicial em  $y$  e que a aceleração é a da gravidade, a equação fica reduzida a:

$$y = 0,5gt^2$$

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Isolando-se o tempo nessa equação, é possível obter o seguinte resultado:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

- ▶ Por que o tempo é importante? Porque o tempo do movimento na vertical é o mesmo do da horizontal. Assim, pode-se utilizar essa relação para a trajetória em  $x$ .

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ No eixo  $x$ , não há nenhuma aceleração, isto é, trata-se de um MRU, onde a velocidade permanece constante.
- ▶ Pode ser descrito pela seguinte equação:

$$x = x_0 + v_x t$$

- ▶ Considerando a posição inicial como zero e sabendo que a velocidade é aquela em que o escoamento deixou o orifício (velocidade real), pode-se reduzir a equação a:

$$x = V_r t$$

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Substituindo o tempo obtido pela equação em  $y$ , tem-se:

$$x = V_r \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

- ▶ Isolando-se agora a velocidade real, pode-se encontrar o seu valor:

$$V_r = x \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Tendo as duas velocidades, é possível obter o coeficiente de velocidade:

$$C_v = \frac{V_r}{V_t} = \frac{x \sqrt{\frac{g}{2y}}}{\sqrt{2gZ_1}}$$

$$C_v = \frac{x}{2\sqrt{Z_1 y}}$$

# Ramo 1: Determinação do $C_v$

- ▶ Para reconstruir a trajetória de cada escoamento graficamente, primeiramente deve-se obter o  $C_v$ .
- ▶ Com o seu valor, deve-se voltar à equação anterior e deixar o  $y$  em função de  $x$ :

$$y = \frac{1}{Z_1} * \left( \frac{x}{2C_v} \right)^2$$

- ▶ Atribuindo valores para  $x$  para cada altitude ( $Z_1$ ), é possível obter resultados para  $y$ , construindo assim uma trajetória para cada.

Dica: faça a dispersão no Excel! Clique com o botão direito no eixo  $y$ . Em seguida, em formatar eixo. Ali tem um opção: “colocar valores em ordem inversa”. Então o gráfico fica bonito! Lembrando que a gravidade nesse caso é positiva, pois estamos considerando o eixo  $y$  crescendo para baixo

# Ramo 2: Determinação do $C_d$

- ▶ Considerando a fórmula do Coeficiente de Descarga, é possível calculá-lo por:

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

- ▶ Assim, deve-se calcular a vazão real e a teórica:
  - A teórica será obtida a partir da velocidade teórica
  - A real será calculada pelo conceito de vazão

# Ramo 2: Determinação do $C_d$

- ▶ Para determinar a vazão teórica, basta utilizar a fórmula básica de vazão:

$$Q_t = A_o V_t$$

- ▶ Como a velocidade teórica já foi calculada e o diâmetro do orifício é conhecido, basta aplicar a fórmula.



## Ramo 2: Determinação do $C_d$

- ▶ Para a determinação da vazão real, não é plausível utilizar a mesma relação, pois é difícil a determinação da área contraída.
- ▶ Assim, deve-se buscar uma alternativa, utilizando o conceito de vazão, que significa a passagem de um certo volume em um determinado tempo:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

## Ramo 2: Determinação do $C_d$

- ▶ Dessa maneira, o experimento consiste em encher uma proveta até um determinado volume e cronometrar o tempo decorrido.
- ▶ Como isso é passível de erros, serão feitas três medições, realizando uma média entre as três para determinar a vazão real:

$$Q_r = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} = \frac{1}{3} \left( \frac{Vol_1}{t_1} + \frac{Vol_2}{t_2} + \frac{Vol_3}{t_3} \right)$$

- ▶ Caso haja um discrepante, é recomendável ignorá-lo e fazer mais uma medição.

## Ramo 2: Determinação do $C_d$

- ▶ Com o cálculo de ambos, é possível determinar enfim o coeficiente de descarga

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

# Ramo 3: Determinação do $C_c$

- ▶ O coeficiente de contração é descrito por:

$$C_c = \frac{A_c}{A_o}$$

- ▶ Como já foi citado, é difícil a determinação da área contraída. Por isso, o coeficiente será calculado de outro modo, usando o  $C_d$  e o  $C_v$  já obtidos.

# Ramo 3: Determinação do $C_c$

- ▶ Sabendo que:

$$C_d = C_v * C_c$$

- ▶ Pode-se isolar o coeficiente de contração e obter:

$$C_c = \frac{C_d}{C_v}$$

# Considerações finais

- ▶ Não se esqueçam de converter as unidades para o Sistema Internacional.
- ▶ Às vezes, o  $Z_1$  é descrito como H, ou simplesmente h. O importante é entender a situação, que isto representa o nível de água do reservatório.
- ▶ Assistam à vídeo aula que ensina a reconstruir a trajetória dos esguichos