

# MEMORIA DE CÁLCULOS HIDRÁULICOS

BCF-MC-01

**\*BANCO DE CONTRASTACION DE FLUJÓMETROS**

**Universidad del Bio Bio  
Departamento de Electricidad y Electrónica  
Escuela de Ingeniería Civil en Automatización**

Rev.	por	Emitido para	Fecha	Revisado por	Aprobado por
A	VHRA	Revisión interna	15-11-2017	KMAC	JBAI
B	VHRA	Comentarios	20-11-2017	KMAC	JBAI
0	VHRA	Construcción	23-10-2017	KMAC	JBAI
Comentarios del Cliente:					

## PRESENTACIÓN

El siguiente documento entrega los cálculos hidráulicos pertinentes al sistema de tuberías. Se aplican principios de mecánica de fluidos y se analiza el comportamiento del fluido del proyecto “Banco de Contrastación de Flujo”.

## CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Para realizar los cálculos relacionados con la pérdida de carga del sistema, es que éste se divide por tramos como se muestra en la Figura N° 1.

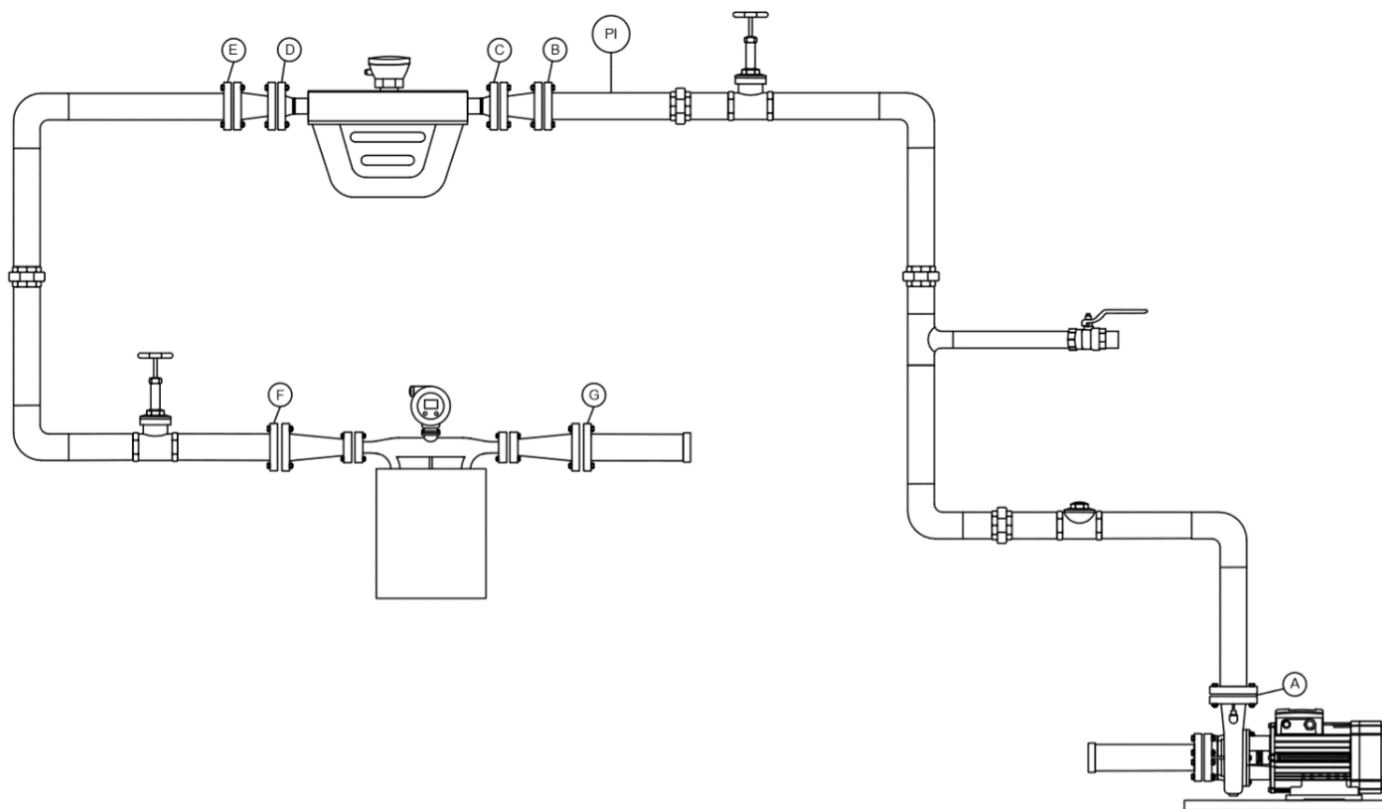


Figura N° 1 “Esquema del sistema dividido en tramos”

Para poder corroborar los cálculos a realizar, es que se realizaron pruebas reales en el banco de contrastación con diferentes caudales, obteniendo a la vez diferentes presiones en el indicador de presión ubicado en la parte superior. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N°1 "Resumen de resultados obtenidos"

Caudal $\left[\frac{Kg}{Hora}\right]$	Caudal $\left[\frac{Litros}{minuto}\right]$	Presión [Bar]	Temperatura [°C]
38425	640	0.3	18
45354	756	0.5	18
53232	887	0.8	18
59653	994	1.2	18

Los cálculos a realizar, se harán considerando el caudal de 59653  $\left[\frac{Kg}{Hora}\right]$ , lo que equivale a 994  $\left[\frac{Litros}{minuto}\right]$ , además de las siguientes constantes.

- Viscosidad dinámica del agua ( $\eta$ ):  $1 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{m * s}\right]$
- Aceleración de gravedad (g):  $9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]$
- Densidad del agua ( $\rho$ ):  $1000 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
- Diámetro interno tubería (D): 0.075 [m]

#### Primer Tramo A-B

Para una mejor comprensión a continuación se muestra un esquema del tramo:

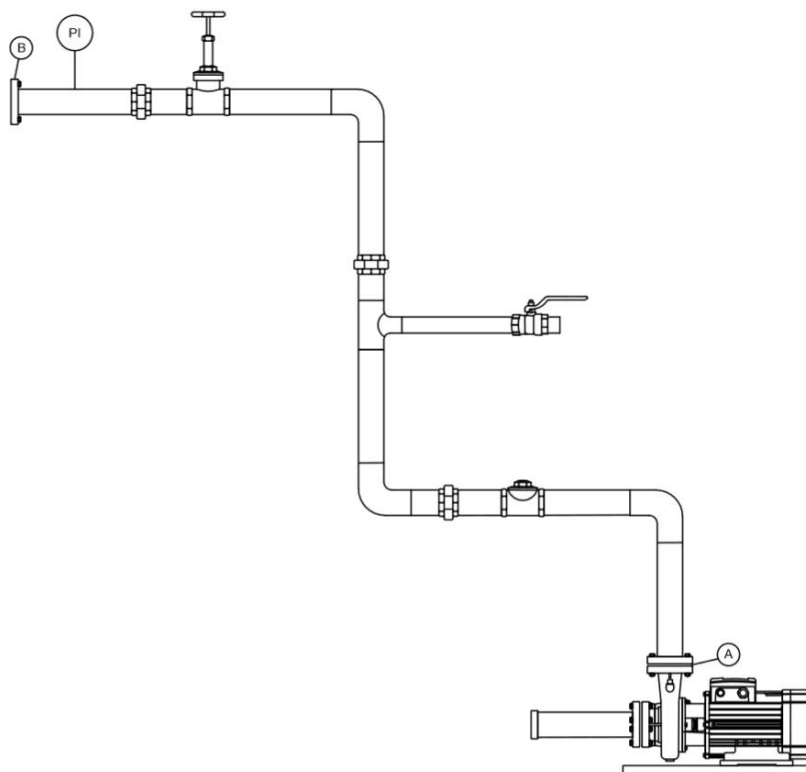


Figura N° 2 "Esquema tramo A-B"

Recordando que los cálculos se harán con un caudal de  $994 \left[ \frac{\text{Litros}}{\text{minuto}} \right]$ , el cual en la práctica fue medido por el flujómetro patrón, sin embargo éste flujo es el mismo en toda la línea y por ende es el mismo caudal que entrega la bomba. Sabiendo el caudal entregado por la bomba, es que se procede lo primero es calcular la velocidad del flujo.

- **Cálculo velocidad del flujo a la salida de la bomba**

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left[ m^3/s \right]$$

$$A = \text{área transversal de la tubería y se calcula como } A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Por lo tanto, la velocidad queda expresada como:

$$A = \frac{\pi 0.075^2}{4} = 4.4 * 10^{-3} [m^2]$$

$$V = \frac{0.0166}{4.4 * 10^{-3}} = 3.77 [m/s]$$

- **Cálculo de presión de salida de la bomba**

Para calcular la presión de salida de la bomba, se acude a la curva de datos y prestaciones del fabricante de la bomba, en donde de acuerdo al caudal elegido se puede conocer la altura manométrica correspondiente a dicho caudal. Para una mejor comprensión es que a continuación se muestra la curva de datos y prestaciones de acuerdo al modelo de la bomba y al caudal de trabajo.

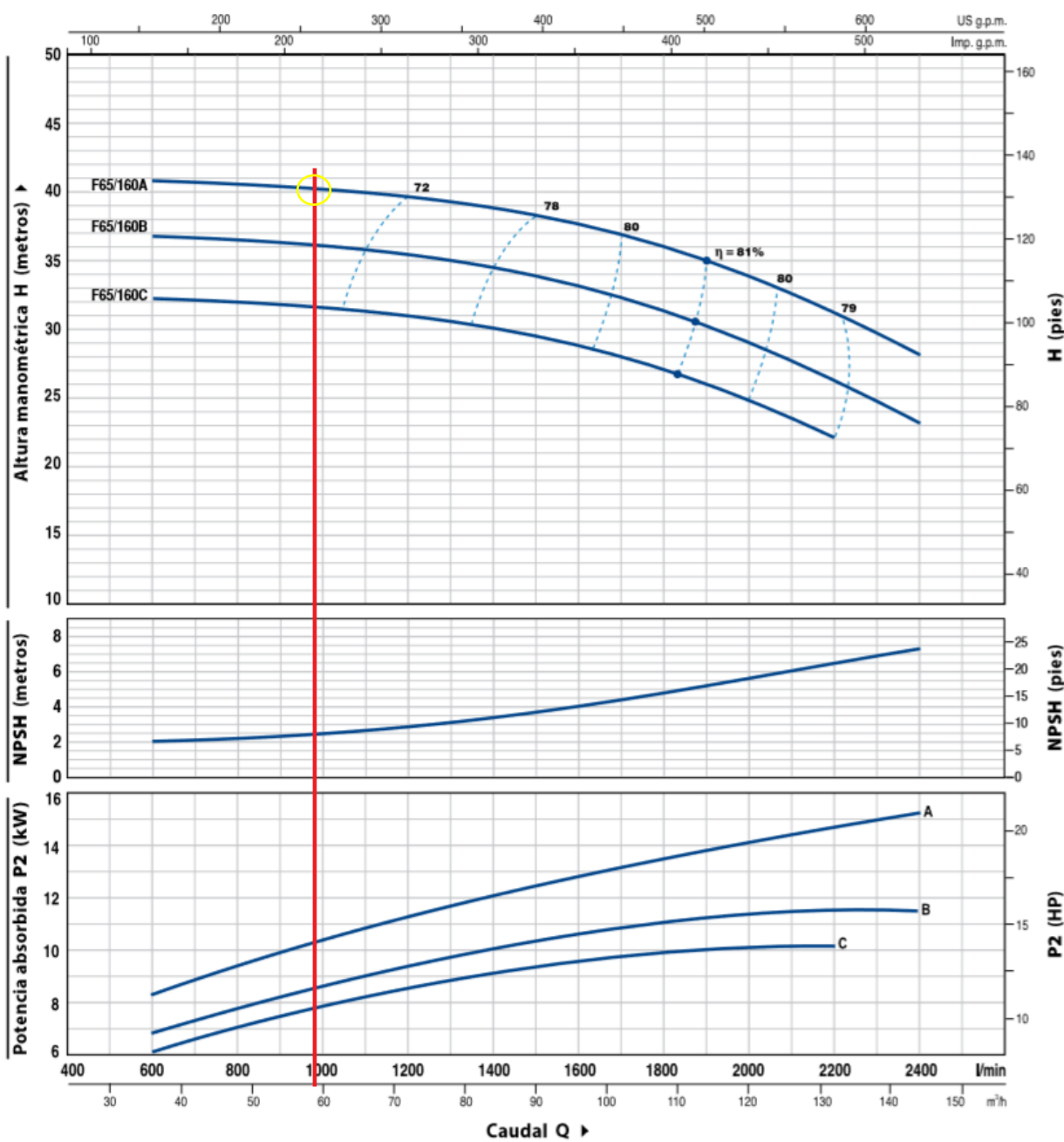


Figura N°3 "Curva de prestaciones bomba F65/160A"

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la línea roja representa el caudal de trabajo y corresponde aproximadamente a una altura manométrica de 40 [m].

La presión con la que la bomba entrega el flujo de  $994 \frac{\text{Litros}}{\text{minuto}}$  se calcula como:

$$P_{\text{Bomba}} = H_{\text{manométrica}} * \rho * g$$

Reemplazando se obtiene:

$$P_{Bomba} = 40 * 1000 * 9.8 = 392000 [Pa]$$

Por lo tanto, la presión de la bomba expresada en bar queda como:

$$P_{Bomba} = 3.92 [Bar]$$

- **Cálculo N° de Reynolds**

$$N_R = \frac{\rho D v}{\eta}$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se obtiene:

$$N_R = \frac{1000 * 0.075 * 3.77}{1 * 10^{-3}} = 282750$$

De acuerdo al número obtenido, el flujo que sale desde la bomba, es del tipo turbulento.

- **Cálculo de Pérdidas**

Sabiendo que el flujo es turbulento, se procede a calcular las pérdidas ocupando la ecuación D' Arcy.

$$H_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

En donde el factor de fricción  $f$  viene dado de acuerdo a la rugosidad de la tubería y el número de Reynold en el diagrama de Moody.

La rugosidad se determina de la expresión  $D/\varepsilon$ , en donde  $D$  es el diámetro de la tubería y  $\varepsilon$  es el valor de la rugosidad de diseño de los tubos, que en nuestro caso  $\varepsilon = 2.4 * 10^{-4}$  [m], y por lo tanto la rugosidad de las tubería tiene un valor de 312,5.

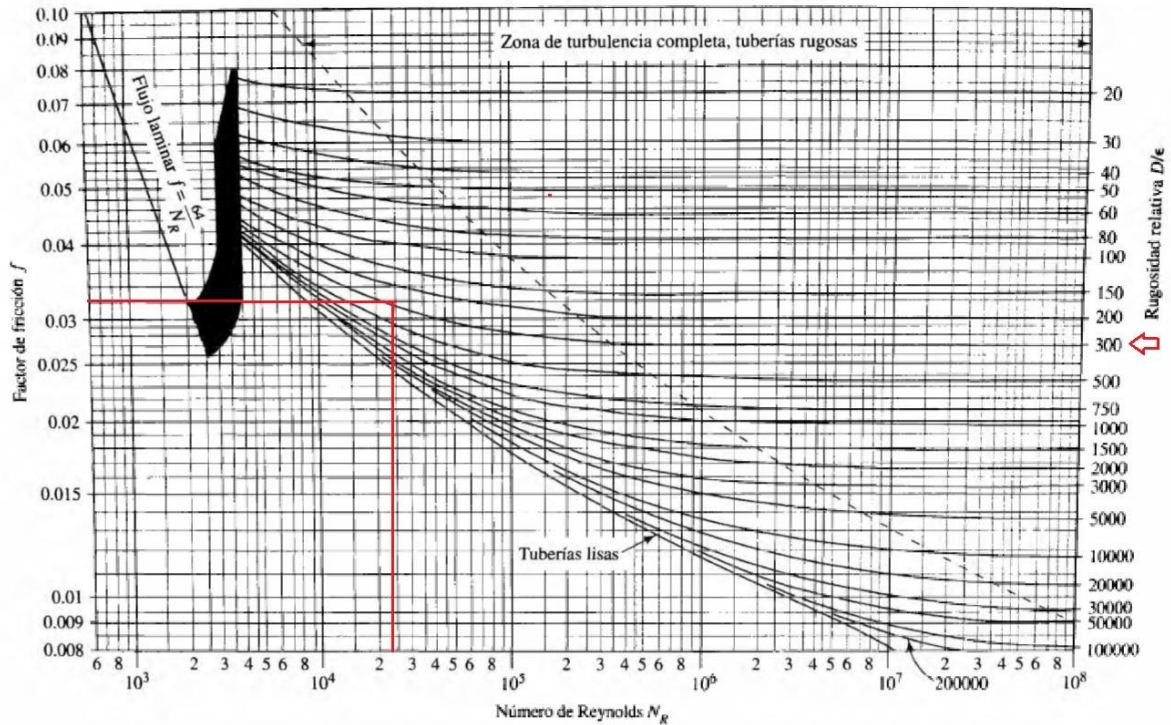


Figura N°4 "Diagrama de Moody".

(Fuente: Pao, R. H. F 1961. Fluid Mechanics. Nueva York: John Wiley e hijos, p.284. )

Según el diagrama de Moody, el factor de fricción  $f = 0.032$ , por lo que se procede a calcular  $H_L$ , que corresponde a las pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, reemplazando se tiene que:

$$H_L = 0.032 * \frac{L}{0.075} * \frac{3.77^2}{2 * 9.8}$$

Donde L corresponde a la longitud equivalente de la tubería, considerando las pérdidas de carga ocasionadas por las válvulas de corte, válvula anti retorno y curvas. Para el tramo A-B la longitud equivalente es de 24,32 [m] y por lo tanto  $H_L$  equivale a:

$$H_L = 0.032 * \frac{24.32}{0.075} * \frac{3.77^2}{2 * 9.8} = 7.52 [m]$$

- **Cálculo de presión en el Punto B**

De acuerdo al principio de conservación de la energía, la presión en el punto B, está dada por la siguiente expresión.

$$P_B = P_{Bomba} + \rho * g [H_{geométrica} + H_L - H_A]$$

La altura geométrica del sistema, en el tramo A-B, es de **aproximadamente 2 [m]**, y  $H_A$  representa a la energía aportada por la bomba al sistema y que corresponde a su altura manométrica, reemplazando se obtiene que la presión tiene un valor de:

$$P_B = 392000 + 1000 * 9.8 * [2 + 7.52 - 40] = 93296 \text{ [Pa]}$$

$$P_B = 0.93296 \text{ [Bar]}$$

### Segundo Tramo B-C

Para una mejor comprensión a continuación se muestra un esquema del tramo:

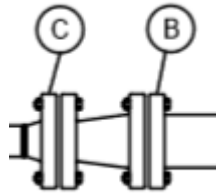


Figura N°5 “Esquema tramo B-C”

- **Cálculo de velocidad del flujo en el punto C**

Por el principio de continuidad, se tiene:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$A_1 = 4.4 * 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_2 = 2 * 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

Reemplazando se tiene:

$$v_2 = \frac{4.4 * 10^{-3} * 3.77}{2 * 10^{-3}} = 8.294 \text{ [m/s]}$$



- **Cálculo de presión en C**

De la matemática involucrada para la pérdida de carga, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2$$

$$p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 - \frac{\rho v_1^2}{2}$$

$$p_1 = \frac{1000 * 8.294^2}{2} + 93296 - \frac{1000 * 3.77^2}{2}$$

$$p_1 = 1.20 [Bar]$$

- **Cálculo N° de Reynolds**

$$N_R = \frac{\rho D v}{\eta}$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se obtiene:

$$N_R = \frac{1000 * 0.075 * 8.294}{1 * 10^{-3}} = 622050$$

De acuerdo al número obtenido, el flujo al salir por el punto C tiene un comportamiento turbulento.

#### Medidor Másico Coriolis:

Para efectos de cálculo, la pérdida de carga de éste equipo no se considera ya que la caída de presión que produce es **prácticamente 0**.

#### Tercer Tramo D-E

Para una mejor comprensión a continuación se muestra un esquema del tramo:

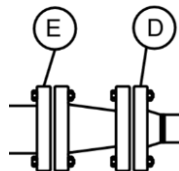


Figura N°6 “Esquema tramo D-E”

Por el principio de continuidad, se tiene:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$A_1 = 2 * 10^{-3} [m^2]$$

$$A_2 = 4.4 * 10^{-3} [m^2]$$

$$v_1 = 8.294 [m/s]$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

Reemplazando se tiene:

$$v_2 = \frac{2 * 10^{-3} * 8.294}{4.4 * 10^{-3}} = 3.77 [m/s]$$

- **Cálculo de presión en E**

De la matemática involucrada para la pérdida de carga, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2$$

$$p_E = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 - \frac{\rho v_1^2}{2}$$

$$p_E = \frac{1000 * 3.77^2}{2} + 120000 - \frac{1000 * 8.294^2}{2}$$

$$p_E = 0.87 [Bar]$$

- **Cálculo N° de Reynolds**

$$N_R = \frac{\rho D v}{\eta}$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se obtiene:

$$N_R = \frac{1000 * 0.075 * 3.77}{1 * 10^{-3}} = 282750$$

De acuerdo al número obtenido, el flujo al salir por el punto E tiene un comportamiento turbulento.

#### Cuarto Tramo E-F

Para una mejor comprensión a continuación se muestra un esquema del tramo:

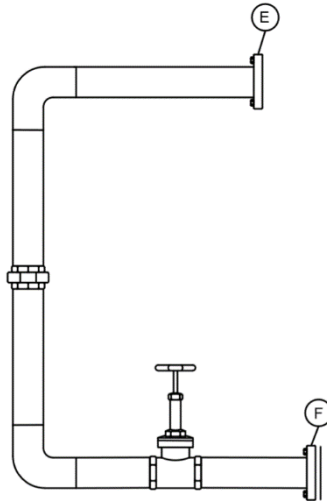


Figura N°7 “Esquema tramo E-F”

- **Cálculo de pérdidas**

Sabiendo que el flujo es turbulento, se procede a calcular las pérdidas ocupando la ecuación D' Arcy.

$$H_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

De acuerdo a lo calculado en el primero tramo, la rugosidad de las tubería tiene un valor de 312,5 y por ende el factor de fricción  $f = 0.032$ ., por lo que se procede a calcular  $H_L$ , que corresponde a las pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, reemplazando se tiene que:

$$H_L = 0.032 * \frac{L}{0.075} * \frac{3.77^2}{2 * 9.8}$$

Donde L corresponde a la longitud equivalente de la tubería, considerando las pérdidas de carga ocasionadas por las válvulas de corte y curvas. Para el tramo E-F, la longitud equivalente es de 18.43 [m] y por lo tanto  $H_L$  equivale a:

$$H_L = 0.032 * \frac{18.43}{0.075} * \frac{3.77^2}{2 * 9.8} = 5.7 [m]$$

- **Cálculo de presión en el punto F**

De acuerdo al principio de conservación de la energía, la presión en el punto B, está dada por la siguiente expresión.

$$P_F = P_E - \rho * g [H_{geométrica} + H_L]$$

La altura geométrica del sistema, en el tramo E-F, es de aproximadamente 1.2 [m].

$$P_F = 87000 - 1000 * 9.8 * [1.2 + 5.7] = 19380[\text{Pa}]$$

$$P_F = 0.19[\text{Bar}]$$

#### Cuarto Tramo F-G

Las pérdidas de carga en este tramo de tubería no serán calculadas, debido a que la caída de presión dependerá del equipo que se está contrastando. Sin embargo, hay que recordar que la descarga del flujo en el punto G será a presión atmosférica, por lo que la presión en ese punto será **cero o** casi nula.