**APÉNDICE A**

**CÁLCULO DE LA ECUACIÓN DEL SISTEMA**

**CÁLCULO DE ECUACIÓN DEL SISTEMA**

Al aplicar la ecuación de energía entre dos superficies libres, puntos (1) y (2), se obtiene:

$$\frac{P\_{S}}{ϒ}+\frac{V\_{S}^{2}}{2g}+Z\_{S}+TDH=\frac{P\_{D}}{ϒ}+\frac{V\_{D}^{2}}{2g}+Z\_{D}+f\frac{l}{D}\frac{V^{2}}{2g}+\sum\_{}^{}K\_{L}\frac{V^{2}}{2g}$$

Despejando

$$TDH=\frac{(P\_{D}-P\_{S})}{ϒ}+\frac{(V\_{D}^{2}-V\_{S}^{2})}{2g}+(Z\_{D}-Z\_{S})+f\frac{l}{D}\frac{V^{2}}{2g}+\sum\_{}^{}K\_{L}\frac{V^{2}}{2g}$$

Para el presente proyecto no existen condiciones de succión, por lo que las bombas están sumergidas y están succionan el agua residual directamente sin necesidad de accesorios y tuberías. Entonces:

$P\_{D}-P\_{S}=0$, $V\_{S}=0$, $Z\_{S}=0$,

Reemplazando estos valores en la ecuación y considerando sólo condiciones de descargas, se obtiene lo siguiente:

$$TDH=\frac{V\_{D}^{2}}{2g}+Z\_{D}+f\frac{l}{D}\frac{V\_{D}^{2}}{2g}+\sum\_{}^{}K\_{L}\frac{V\_{D}^{2}}{2g}$$

$$TDH=Z\_{D}+\left[1+f\frac{l}{D}+\sum\_{}^{}K\_{L}\right]\frac{V\_{D}^{2}}{2g}$$

En el proyecto, se tiene dos tramos de tuberías de materiales diferentes esto es acero inoxidable y Acero A53, con sus respectivos accesorios los que se definen en las siguientes tablas.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla de pérdidas menores del sistema** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Descripción | Tramo | No. | Coef. Pérdidas menores | Subtotal |
| pérdidas |
| Codo 90o bridado |  1-2 | 5 | 0.30 | 1.50 |
| Válvula check |  2-3 | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Válvula compuerta |  2-3 | 1 | 0.14 | 0.14 |
| Tee de derivación |  2-3 | 1 | 0.20 | 0.20 |
|  | Total por pérdidas menores | 3.84 |

|  |
| --- |
| **Selección del diámetro de la tubería**  |
| **Material:** | **INOXIDABLE TRAMO 1-2** |  |  |
| ø (plg) | ø int (mm) | Caudal [lt/seg] | Velocidad [ft/seg] | Carga Velocidad m |  |  |
| 2 | 50.8 | 15.02 | 24.30 | 9.17 |  |  |
| 2.5 | 63.5 | 15.02 | 15.55 | 3.76 |  |  |
| 3 | 78.00 | 15.02 | 10.31 | 1.65 |  |  |
| 4 | 102 | 15.02 | 6.03 | 0.56 | **SELECCIÓN** |  |
| 6 | 152.4 | 15.02 | 2.70 | 0.11 |  |  |
| 8 | 203.2 | 15.02 | 1.52 | 0.04 |  |  |
| **Material:** | **ACERO A53 GRADO B CED 40 TRAMO 2-3** |  |  |
| ø (plg) | ø (mm) | Caudal [lt/seg] | Velocidad [ft/seg] | Carga Velocidad [m] |  |  |
| 2 | 50.8 | 15.02 | 24.30 | 9.17 |  |  |
| 2.5 | 63.5 | 15.02 | 15.55 | 3.76 |  |  |
| 3 | 78.00 | 15.02 | 10.31 | 1.65 |  |  |
| 4 | 102 | 15.02 | 6.03 | 0.56 | **SELECCIÓN** |  |
| 6 | 152.4 | 15.02 | 2.70 | 0.11 |  |  |
| 8 | 203.2 | 15.02 | 1.52 | 0.04 |  |  |

|  |
| --- |
| Por el criterio de selección de **1.96 ft/seg (0.6 m/s) <Velocidad<6.56 ft/seg(2 m/s)**, se selecciona diámetros de 4 pulgadas. |
|

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cálculo del factor de fricción en tubería impulsión****Tubería de acero inoxidable**$D=102 mm=0.33 pulg$ $$μ=2.037 E^{-05}$$$Q=15.02\frac{lt}{seg}=238.16GPM=0.53 ft^{3}/seg$ $$ V=\frac{Q}{A}=\frac{4Q}{ΠD^{2}}=6.02 ft/seg$$$$ Re=\frac{VD}{μ}=1.88 E^{05}$$  De los ábacos de Moody $\frac{ε }{D}=1E^{-05}$ $f=0.016$**Tubería de acero A53 Grado B CED 40**$D=102 mm=0.33 pulg$ $$μ=2.037 E^{-05}$$$Q=15.02\frac{lt}{seg}=238.16GPM=0.53 ft^{3}/seg$ $$ V=\frac{Q}{A}=\frac{4Q}{ΠD^{2}}=6.02 ft/seg$$$$ Re=\frac{VD}{μ}=1.88 E^{05}$$  De los ábacos de Moody $\frac{ε }{D}=4.5E^{-04}$ $f=0.019$**Tabla de tubería de impulsión** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Descripción | Tramo | Long[ft]. | Factor de fricción |
|
| Acero inoxidable, Dn= 4 pulg | 1-3 | 14.04 | 0.016 |
| Acero A53, Dn= 4 pulg. | 3-2 | 38.13 | 0.019 |
|  |  |

La ecuación quedaría como:

$$TDH=25.36+\left[1+0.016\frac{14.04}{0.33}+0.60\right]\frac{V\_{D1}^{2}}{32.2}+\left[1+0.019\frac{38.13}{0.33}+3.24\right]\frac{V\_{D2}^{2}}{32.2}$$

Debido a que

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{Q\left(^{ft^{3}}/\_{seg}\right)}{\left(^{Π}/\_{4}\right)\left(^{D}/\_{12}\right)^{2}}$$

A la ecuación de la altura dinámica total se la puede representar como:

$$TDH=Z\_{D}+\sum\_{}^{}h\_{L}$$

Donde $\sum\_{}^{}h\_{L}$ representa todas las pérdidas menores que ocurren en los accesorios y válvulas de las mismas. Con base en el estudio de flujo en tuberías se sabe que en general $h\_{L}$ varía aproximadamente como el cuadrado del caudal, es decir, $h\_{L}αQ^{2}$.Así la ecuación del sistema se puede escribir en la forma:

$$TDH=Z\_{D}+kQ^{2}$$

Donde $k$ depende de los tamaños y longitudes de la tubería, de los factores de fricción y de los coeficientes de pérdidas menores.

Se puede cambiar la forma de la curva del sistema abriendo o cerrando válvulas, cambiando la disposición o medidas de las tuberías y variando los niveles del sistema.

Se expresa la ecuación con el caudal Q en GPM, porque es más usual encontrar curvas de los fabricantes con este valor. Entonces la ecuación sería:

$$TDH=25.36+9.18 E^{-05}Q^{2}$$

$$Ecuación (A.1)$$

La ecuación revela cuánta carga real debe dar la bomba al fluido a fin de mantener un cierto caudal, entre ellos el de diseño.

Con la ecuación A.1, se procede a graficar a diferentes caudales incluyendo el caudal de diseño, con esto se obtiene el punto de operación con un cabezal requerido de 30.57 ft a 238.16 GPM.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CAUDAL [lt/seg] | CAUDAL [GPM] | CAUDAL [m3/seg] | TDH [ft] |
|
| 2 | 31.71 | 0.002 | 25.45 |
| 4 | 63.42 | 0.004 | 25.73 |
| 6 | 95.14 | 0.006 | 26.19 |
| 8 | 126.85 | 0.008 | 26.84 |
| 10 | 158.56 | 0.010 | 27.67 |
| 12 | 190.27 | 0.012 | 28.69 |
| 14 | 221.99 | 0.014 | 29.89 |
| **15.02** | **238.16** | **0.015** | **30.57** |
| 16 | 253.70 | 0.016 | 31.27 |
| 18 | 285.41 | 0.018 | 32.84 |
| 20 | 317.12 | 0.020 | 34.60 |
| 22 | 348.84 | 0.022 | 36.54 |
| 24 | 380.55 | 0.024 | 38.67 |
| 26 | 412.26 | 0.026 | 40.98 |
| 28 | 443.97 | 0.028 | 43.47 |
| 30 | 475.69 | 0.030 | 46.15 |
| 32 | 507.40 | 0.032 | 49.01 |
| 34 | 539.11 | 0.034 | 52.06 |