

EJEMPLOS DE CALCULOS EN UNA PLANTA DE LIXIVIACION EN TERREROS

CALCULO EN EL SISTEMA DE RIEGO

Para realizar con detalle los cálculos del sistema de riego utilizado en la planta de lixiviación, tomamos como ejemplo, un mineral con un contenido de 8 gr Au/ton y con las siguientes características:

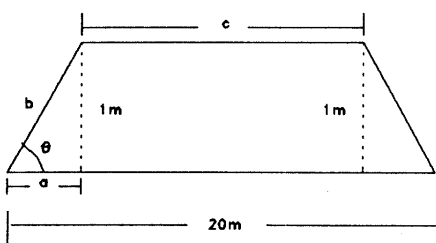
Gravedad Específica del Mineral = GEM = 2.69 gr/cm^3

Porcentaje de huecos = 48.0

Angulo de reposo = 30°

Densidad del mineral = $\rho_{\text{mineral}} = 1.40 \text{ gr/cm}^3 = 1.40 \text{ ton/m}^3$

Las dimensiones para el lecho son de 20 m x 20 m y una altura del terrero de 1 m.



si $\theta = 30^\circ$

$$\tan \theta = \frac{1 \text{ m}}{a}, \text{ entonces } a = \frac{1 \text{ m}}{\tan \theta} = 2 \text{ m}$$

$$\text{sen } \theta = \frac{1 \text{ m}}{b}, \text{ entonces } b = \frac{1 \text{ m}}{\text{sen } \theta} = 2.2 \text{ m}$$

$$c = 20 \text{ m} - 2a = 20 \text{ m} - 2(2 \text{ m}) = 16 \text{ m}$$

por lo tanto, por cada metro de altura, se disminuye dos metros a cada lado de la parte superior.

El volumen del terrero es,

$$V = 1/2 h (A_1 + A_2)$$

$$\text{Area del lecho} = A_1 = (20 \text{ m})(20 \text{ m}) = 400 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de la cima del terrero} = A_2 = (16 \text{ m})(16 \text{ m}) = 256 \text{ m}^2$$

$$V = 1/2 (1 \text{ m})(400 \text{ m}^2 + 256 \text{ m}^2)$$

$$V = 328 \text{ m}^3$$

con el volumen calculado, se determina la capacidad del terrero

$$C = \rho_{\text{mineral}} V$$

$$C = (1.40 \text{ ton/m}^3)(328 \text{ m}^3)$$

$$C = 460 \text{ ton}$$

Los sistemas de irrigación más utilizados en una planta de lixiviación en terreros son dos; uno dotado con cabezas giratorias y colocado de un modo uniforme a lo largo de líneas laterales que permanecen en un mismo lugar hasta que se ha aplicado la cantidad de solución requerida. El otro sistema consiste, en utilizar tuberías perforadas que lanzan el agua a través de orificios muy pequeños situados a poca distancia entre sí, proporcionando una distribución bastante uniforme a ambos lados de la tubería (De la Peña, 1989).

Sistemas de Microaspersión.

Los microaspersores se encuentran en un amplio rango de gastos y diversas superficies de mojado. Se recomienda los de

mayor tamaño de boquilla, para obtener un tamaño de gota más grande y evitar que éstas se tapen. Además con esto se logra una reducción en la evaporación.

En este ejemplo se seleccionó un microaspersor con las siguientes características:

Diámetro de cobertura = $d_c = 4.5 \text{ m}$

Presión de operación = $P_o = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$

Gasto del microaspersor = $q_1 = 208 \text{ lt/h} = 0.0577 \text{ lt/seg}$

Diámetro de la tubería = $d_t = 20 \text{ mm}$ (Aquaflim, [19]).

Se determina el área de cobertura del microaspersor,

$$A = \pi r^2 = \pi (2.25 \text{ m}^2) = 16 \text{ m}^2, \text{ y}$$

$$\text{Flujo másico} = G = \frac{q_1}{A} = \frac{0.0577 \text{ lt/seg}}{16 \text{ m}^2} = 0.0036 \text{ lt/m}^2.\text{seg}$$

si los valores para la cinética de lixiviación en la mayoría de los minerales con metales preciosos son de 0.001-0.006 $\text{lt/m}^2.\text{seg}$, por lo tanto, el valor calculado se encuentra dentro de este rango.

Se considera una longitud de tubería de 18 m tomando en cuenta un metro a cada lado del lecho con el fin de que el mineral que se encuentra en la inclinación del terrero alcance a mojarse con la solución.

Para conocer el gasto total, se realiza el arreglo de los microaspersores mediante los siguientes cálculos:

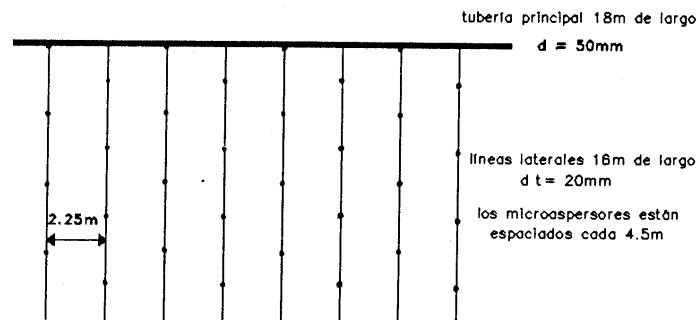
$$\# \text{ líneas laterales} = \frac{\text{ancho del terrero}}{\text{radio de cobertura}} = \frac{18 \text{ m}}{2.25 \text{ m}} = 8$$

$$\frac{\# \text{ microaspersores}}{\text{por cada lateral}} = \frac{\text{longitud del terrero}}{\text{diámetro de cobertura}} = \frac{18 \text{ m}}{4.5 \text{ m}} = 4$$

$$\# \text{ total de microaspersores} = \left(\frac{\# \text{ microaspersores}}{\text{por cada lateral}} \right) (\# \text{ líneas laterales})$$

$$\# \text{ total de microaspersores} = (8)(4) = 32$$

conociendo estos valores, hacemos el arreglo de los microaspersores partiendo de una tubería principal fija, localizada en uno de los lados del terrero. Los microaspersores se colocan en forma traslapada para asegurar que la solución tenga un contacto uniforme con el mineral.



El gasto por línea lateral (q_2) es igual a,

$$q_2 = (q_1) (\# \text{ microaspersores por línea lateral})$$

$$q_2 = (0.0577 \text{ lt/seg}) (4) = 0.2308 \text{ lt/seg}$$

por lo tanto, el gasto total en el sistema es

$$Q = (q_1) (\# \text{ microaspersores}) = (0.0577 \text{ lt/seg}) (32)$$

$$Q = 1.846 \text{ lt/seg}$$

Cálculo de la potencia de la bomba.

Para la selección de la bomba con una máxima eficiencia de operación, se necesita conocer las pérdidas de carga en el

sistema de microaspersión.

1. Pérdidas de carga en la tubería principal (H_{r_1}).

conociendo $Q = 1.846$ lt/seg , y

Diámetro de tubería nominal = $\phi = 50$ mm = 2 pulg.

encontramos en la tabla 6 (Anexo) el valor de las pérdidas por fricción, $H_r = 0.01266$ m/m.

La longitud de la tubería principal es de 18 m más 12 m de tubería hasta donde se encuentra la bomba, siendo en total 30 m, entonces

$$H_{r_1} = (0.01266 \text{ m/m})(30 \text{ m}) = 0.3798 \text{ m}$$

2. Pérdidas de carga en las tuberías laterales (H_{r_2}).

Son 8 líneas laterales con 4 microaspersores separados entre sí 4.5 m.

$$q_1 = 0.0577 \text{ lt/seg} = 207.72 \text{ lt/h}$$

$$q_2 = 0.2308 \text{ lt/seg} = 830.88 \text{ lt/h}$$

con los valores del flujo que pasa a través de un microaspersor y en una línea lateral, podemos conocer el gasto que llega a cada uno de los microaspersores en esa línea. Con estos datos y mediante la tabla 7 (Anexo), encontramos sus respectivas pérdidas de carga.

$$\text{Gasto de la tubería principal al microaspersor 1} = q_{0-1} = 830.88 \text{ lt/h, entonces } H_{r_{0-1}} = 0.483 \text{ m}$$

$$\text{Gasto del microaspersor 1-2} = q_{1-2} = (830.88 - 207.72) \text{ lt/h} = 623.16 \text{ lt/h, entonces } H_{r_{1-2}} = 0.286 \text{ m}$$

$$\text{Gasto del microaspersor 2-3} = q_{2-3} = (623.16 - 207.72) \text{ lt/h} = 415.44 \text{ lt/h, entonces } H_{r_{2-3}} = 0.144 \text{ m}$$

$$\text{Gasto del microaspersor 3-4} = q_{3-4} = (415.44 - 207.72) \text{ lt/h} =$$

207.72 lt/h, entonces $H_{r_{3-4}} = 0.045 \text{ m}$

Los valores de pérdidas por fricción (H_r) para espaciamiento de 4.5 m de cada uno de los gastos se obtuvieron interpolando, debido a que estos datos no vienen dados directamente en la tabla.

Sumando las pérdidas de carga de cada microaspersor para obtener el total de cada línea lateral (H_{r_L}).

$$H_{r_L} = 0.483 \text{ m} + 0.286 \text{ m} + 0.144 \text{ m} + 0.045 \text{ m} = 0.958 \text{ m}$$

$$H_{r_2} = (0.958 \text{ m/línea lateral})(8 \text{ líneas laterales})$$

$$H_{r_2} = 7.66 \text{ m}$$

3. Pérdidas de carga por reducciones (H_{r_3}).

Son calculadas mediante fórmulas o tablas, aunque son tan pequeñas que conviene estimar uno o dos metros del total.

4. La altura desde el espejo de la solución hasta la bomba (H_{r_4}).

Siendo ésta, la diferencia de altura que hay desde el estanque que contiene la solución hasta el lugar donde se encuentra la bomba, y se toma un metro.

5. Presión requerida en el sistema (P_o).

Cada fabricante estipula en cuadros o tablas la presión requerida para cada tipo de sistema de irrigación, dependiendo en cada uno de ellos del diámetro, gasto, etc.

Sumando las pérdidas de carga en el sistema nos da:

$$H_t = H_{r_1} + H_{r_2} + H_{r_3} + H_{r_4} + P_o$$

$$H_t = 0.3798 + 7.66 + 1.0 + 1.0 + 15.0 = 25.04 \text{ m}$$

Una vez obtenida la carga manométrica, se calcula la potencia de la bomba (Pot) aplicando la siguiente fórmula:

$$(Pot)_b = \frac{Q H_t}{E \times 76} , \text{ donde}$$

Q = Gasto total del sistema de riego.

H_t = Pérdidas de carga total.

E = Eficiencia de la bomba.

$$(Pot)_b = \frac{(1.846 \text{ lt/seg}) (25.04 \text{ m})}{(0.70) (76)} = 0.868 \text{ HP}$$

En la potencia del motor $(Pot)_m$ se toma una eficiencia del 90%, por lo tanto,

$$(Pot)_m = \frac{0.868 \text{ HP}}{0.90} = 0.96 \text{ HP}$$

Sistema por goteo.

Los goteros vienen colocados en la tubería con el espaciamiento deseado, proporcionando un alto grado de uniformidad al aplicar la solución. Este sistema elimina muchos de los problemas ambientales encontrados, tales como arrastre de gotas por el aire y alta evaporación.

Los datos del gotero elegido son los siguientes:

$$\text{Gasto en el gotero} = q_1 = 4 \text{ lt/h} = 0.0011 \text{ lt/seg}$$

$$\text{Diámetro interior} = d_i = 1.32 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro exterior} = d_e = 1.60 \text{ cm}$$

$$\text{Presión de operación} = P_o = 12.5 \text{ psí}$$

El rango comúnmente utilizado en el sistema por goteo para la separación entre los goteros es de 0.40-1.50 m. Debido a la experiencia, en este caso se recomienda un espaciamiento de 0.60 m.

El área cubierta por la solución mediante este sistema

se considera cuadrada, y es igual a

$$A = (0.6 \text{ m})(0.6 \text{ m}) = 0.36 \text{ m}^2 \text{ y}$$

$$\text{Flujo másico} = G = \frac{0.0011 \text{ lt/seg}}{0.36 \text{ m}^2} = 0.0030 \text{ lt/m}^2.\text{seg}$$

se acepta este valor, ya que se encuentra dentro de la velocidad de flujo recomendada.

Para el arreglo de las tuberías se llevan a cabo los siguientes cálculos:

$$\# \text{ laterales} = \frac{\text{longitud de la tubería}}{\text{espaciamiento entre goteros}} = \frac{18 \text{ m}}{0.60 \text{ m}} = 30$$

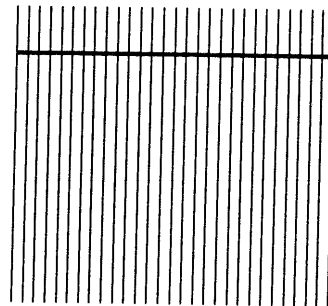
$$\# \text{ goteros por línea lateral} = \frac{\text{longitud de la línea lateral}}{\text{espaciamiento entre goteros}} = \frac{18 \text{ m}}{0.60 \text{ m}} = 30$$

$$\# \text{ total de goteros} = \left(\# \text{ goteros por línea lateral} \right) (\# \text{ líneas laterales})$$

$$\# \text{ total de goteros} = (30)(30) = 900$$

$$Q = (q_1)(\# \text{ total de goteros}) = (0.011 \text{ lt/seg})(900)$$

$$Q = 0.99 \text{ lt/seg}$$



línea principal 18 m
 $d_t = 50 \text{ mm}$

30 líneas laterales de 18 m
con 30 goteros cada una
 $d_t = 16 \text{ mm}$

Cálculo de la potencia de la bomba.

Para la selección de la bomba con una máxima eficiencia

de operación se necesita conocer las pérdidas de carga en el sistema por goteo.

1. Pérdidas de carga en la tubería principal (H_{r_1}).

tenemos $Q = 0.99 \text{ lt/seg}$

$$\phi = 50 \text{ mm}$$

en la tabla 8 (Anexo) encontramos el valor de $H_f = 0.00367 \text{ m/m}$, tomando una longitud de tubería de 30 m, entonces

$$H_{r_1} = (0.00367 \text{ m/m})(30 \text{ m}) = 0.11 \text{ m}$$

2. Pérdidas de carga en las tuberías laterales (H_{r_2}).

En la figura 28 (Anexo) tomamos la curva con espaciamientos de 0.6 m y la interceptamos con la longitud de la tubería donde están los goteros que es de 18 m, y encontramos el valor de las pérdidas de carga $H_f = 0.10 \text{ m}$ por línea lateral, entonces:

$$H_{r_2} = (0.10 \text{ m})(30 \text{ líneas laterales}) = 3 \text{ m}$$

3. Pérdidas de carga por reducciones (H_{r_3}).

Son calculadas mediante fórmulas o tablas, aunque son tan pequeñas que conviene estimar uno o dos metros del total.

4. La altura desde el espejo de la solución hasta la bomba (H_{r_4}).

Siendo ésta, la diferencia de altura que hay desde el estanque que contiene la solución hasta el lugar donde se encuentra la bomba. Se considera una altura de un metro.

5. Presión requerida en el sistema (P_o).

Cada fabricante estipula en cuadros o tablas la presión requerida para cada tipo de sistema de irrigación, dependiendo en cada uno de ellos del diámetro, gasto, etc.

Sumando las pérdidas de carga en el sistema nos da

$$H_t = H_{r_1} + H_{r_2} + H_{r_3} + H_{r_4} + P_o$$

$$H_t = 0.11 + 3.0 + 1.5 + 1.0 + 8.78 = 14.39 \text{ m}$$

Conociendo la pérdida de carga total, calculamos la potencia de la bomba,

$$^{\wedge} (Pot)_b = \frac{(0.99 \text{ lt/seg})(14.39 \text{ m})}{(0.70)(76)} = 0.267 \text{ HP}$$

con una eficiencia del 90% en el motor de la bomba, la potencia es,

$$(Pot)_m = \frac{0.267 \text{ HP}}{0.90} = 0.297 \text{ HP}$$

CALCULO DEL TAMAÑO DE LOS ESTANQUES

El área del lecho es de 400 m^2 y el gasto en el sistema de microaspersión es de $6,647.04 \text{ lt/h}$, trabajando un turno de 8 horas el gasto es $Q = 53,176.3 \text{ lt/8 hrs}$.

Si consideramos un 20% de evaporación debido a el sistema de riego y a las condiciones del lugar, entonces se evaporan,

$$Ev = (53,176.3 \text{ lt})(20\%) = 10,635.26 \text{ lt/8 hrs.}$$

y si el período de riego es de 30 días,

$$Ev_t = (10,635.26 \text{ lt/8 hrs})(30 \text{ días}) = 319,057.8 \text{ lt/30 mes.}$$

Según datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), la mayor precipitación en un mes en la zona de Ures desde 1959 hasta la fecha es de 279 mm en el mes de Agosto de 1966. Y la máxima precipitación es de 147 mm en el mes de Agosto de 1990. El volumen de precipitación en un mes es,

$$PP = (0.279 \text{ m})(400 \text{ m}^2) = 111.6 \text{ m}^3/\text{mes} = 111,600 \text{ lt/mes.}$$

Conociendo la evaporación que hay en el terrero y la cantidad de agua que cae en él cuando se presentan lluvias, calculamos el gasto de solución que se necesita agregar para compensar estas pérdidas,

$$q_a = Ev_t - PP = 319,057.8 \text{ lt/mes} - 111,600 \text{ lt/mes}$$

$$q_a = 207,457.8 \text{ lt/mes.}$$

Para el cálculo del tamaño de los estanques se tiene que la máxima precipitación es de 147 mm. Por lo tanto el volumen que cae en el estanque considerando una lluvia es el

siguiente:

$$V_p = (0.147 \text{ m})(400 \text{ m}^2) = 58.8 \text{ m}^3 = 58,800 \text{ lt}$$

El tamaño de los estanques es igual a,

$$V_e = Q + V_p$$

$$V_e = (53,176.3 \text{ lt} + 58,800 \text{ lt})(1.2)$$

$$V_e = 134,371.56 \text{ lt}$$

donde

1.2 es el factor de seguridad para prevención de otros eventos de la misma magnitud.

Con el volumen calculado, las dimensiones de los estanques estéril y preñado pueden ser de 10 m X 10 m X 1.4 m

CALCULOS EN LA PLANTA DE PRECIPITACION CON ZINC

La Fig. 27 nos presenta un ejemplo de una planta de precipitación con zinc, en la cual se especifican las medidas de la tubería, accesorios y el equipo necesario para una mayor recuperación de metales preciosos desde la solución preñada.

Además conocemos el gasto en el sistema de microaspersión $Q = 1.846$ lt/seg, es decir, 0.001846 m³/seg y un diámetro de tubería de 2 pulg. Como la solución es acuosa con 0.01% de NaCN/ton de mineral, entonces se consideran los datos del agua para el cálculo del número de Reynolds (N_{Re}), el cual es necesario para conocer el factor de fricción.

Densidad del agua = $\rho = 998.2$ Kg/m³

Viscosidad del agua = $\mu_{\text{agua}} = 1.005$ cp

Diámetro interior = $d_i = 52.5$ mm = 0.0525 m

$$N_{Re} = \frac{1273000 Q \rho}{d_i \mu} \quad (1)$$

$$N_{Re} = \frac{1273000 (0.001846 \text{ m}^3/\text{seg}) (998.2 \text{ Kg/m}^3)}{(1.005 \text{ cp}) (52.5 \text{ mm})} = 44,458.2$$

Para calcular la potencia de las bombas que se encuentran en la planta, se necesita calcular las pérdidas por fricción en la tubería recta y en los accesorios (H_{f_s}) (tomando como referencia los puntos 1 y 2 por donde pasa el flujo) mediante la siguiente ecuación:

$$H_{f_s} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2 g_c} \quad (2)$$

donde

f = Factor de fricción.

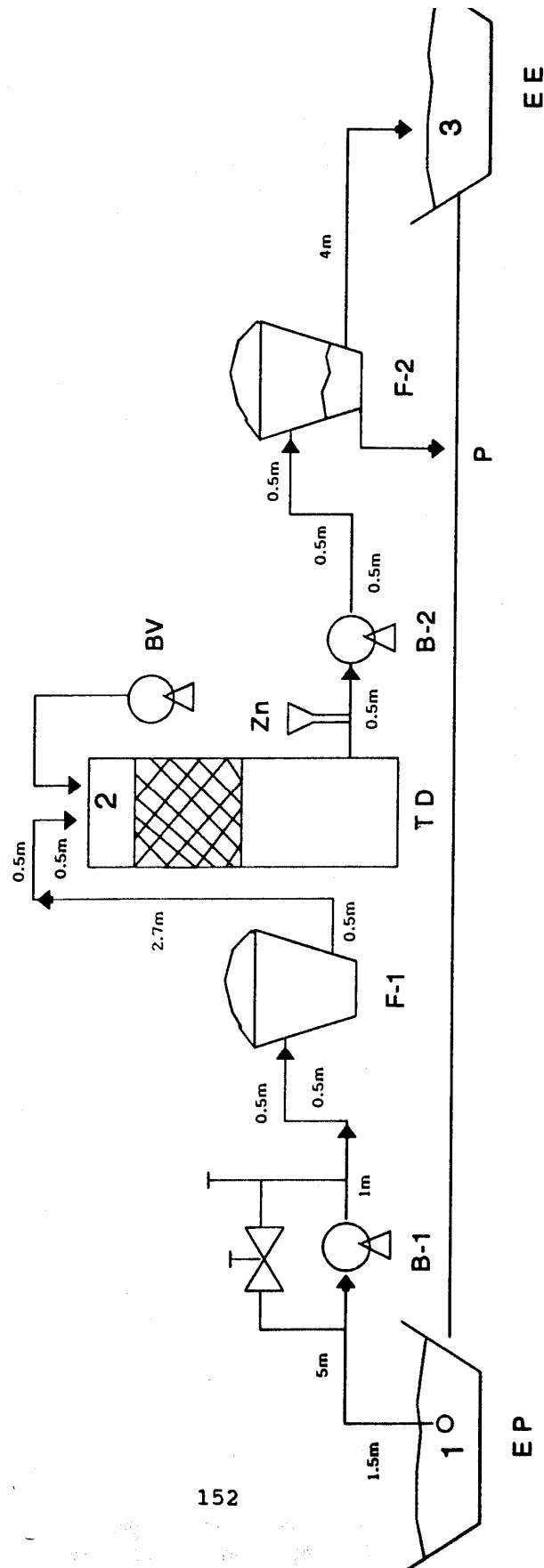


FIG. 27. DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA PLANTA DE PRECIPITACION

CON ZINC.

L = Longitud de la tubería.

D = Diámetro nominal de la tubería.

V = Velocidad media del fluido.

g_c = Constante dimensional, y

$$\frac{L}{D} = \left(\frac{L}{D} \right)_{TR} + n_1 \left(\frac{L}{D} \right)_1 + n_2 \left(\frac{L}{D} \right)_2 + n_3 \left(\frac{L}{D} \right)_3 + \dots \quad (3)$$

$$\frac{L}{D} = \left(\frac{L}{D} \right)_{TR} + \left(\frac{L}{D} \right)_a \quad (4)$$

donde

L/D = Longitud equivalente.

$(L/D)_{TR}$ = Longitud equivalente de la tubería recta.

$(L/D)_a$ = Longitud equivalente de los accesorios.

1. Se determina el factor de fricción f .

Mediante la tabla A-22a (Crane, 1976) se intercepta el número de Reynolds con la curva de tubería lisa (para tuberías de plástico) encontrando el valor de $f = 0.021$.

2. Cálculo de la longitud equivalente (L/D) total.

Del punto 1 al 2 existen los siguientes accesorios:

- a) Válvula de pie con filtro.
- b) Codos de 90° con bridas.
- c) Salida con múltiples reducciones.
- d) Tees de flujo directo.
- e) Filtro clarificador.

Para conocer el valor (L/D) de cada accesorio utilizamos la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{D} = \frac{K}{f_t} \quad \text{ó} \quad (5)$$

Además puede ser calculado mediante la tabla A-25a (Crane, 1976).

Por cualquiera de los dos métodos se debe conocer el valor de K para cada accesorio. En las tablas A-24 (Crane, 1976) se encuentra el coeficiente de resistencia (K) para cada accesorio:

- Válvula de pie con filtro, $K = 420 \times f_r$.
- Salida con multiples reducciones, 12 orificios de 1/8 pulg.
 $K = 0.5$ para cada orificio.
- Codos de 90° con bridas, $K = 12 \times f_r$.
- Tees de flujo directo, $K = 20 \times f_r$.

donde el factor de fricción = $f_r = 0.019$ para $\phi = 2$ pulg.

Aplicando la ecuación 5, los valores de L/D se resumen en la siguiente tabla:

Accesorios	#	K	nK	L/D	n(L/D)
Válvula de pie con filtro	1	7.98	7.98	420	420
Codos de 90° con bridas	6	0.228	1.368	12	72
Tees flujo directo	1	0.38	0.38	20	20
Salida con múltiples reducciones	1	0.5	6.0	26.3	315.6

$$\sum n(L/D)_a = 827.6$$

por lo tanto,

$$\frac{L}{D} = \frac{12.7 \text{ m}}{0.0525 \text{ m}} + 827.6 = 1069.5$$

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

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.0525 \text{ m})^2}{4} = 0.00216 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.001846 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.00216 \text{ m}^2} = 0.85 \text{ m/s}$$

sustituyendo los datos en la ecuación 2

$$H_f = \frac{(0.85 \text{ m/s})^2}{2 (9.8 \text{ Kg}_m \text{ m/Kg}_f \text{ s}^2)} (0.0210) (1069.5) = 0.828 \frac{\text{Kg}_f \text{ m}}{\text{Kg}_m}$$

Los filtros utilizados en esta planta trabajan a una presión de 30 lb/pulg² con un 75% de caída de presión (ΔP).

$$P = 30 \text{ lb/pulg}^2 = 21,090 \text{ Kg}_f/\text{m}^2.$$

$$\Delta P = \frac{21,090 \text{ Kg}_f/\text{m}^2}{998.2 \text{ Kg}/\text{m}^3} = (21.12 \text{ Kg}_f/\text{m}^3) (0.75) = 15.8 \text{ Kg}_f\text{m}/\text{Kg}_m.$$

sumando la caída de presión en el filtro a las pérdidas por fricción.

$$H_{fst} = 0.828 \frac{\text{Kg}_f \text{ m}}{\text{Kg}_m} + 15.8 \frac{\text{Kg}_f \text{ m}}{\text{Kg}_m} = 16.628 \frac{\text{Kg}_f \text{ m}}{\text{Kg}_m}$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba B-1 utilizamos el Teorema de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{Z_1 g}{g_c} + \frac{V_1^2}{2g_c} + n W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{Z_2 g}{g_c} + \frac{V_2^2}{2g_c} + H_{fst}$$

donde,

P = Presión manométrica.

Z = Elevación potencial sobre el nivel de referencia.

g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s²

n = Eficiencia de la bomba.

W_p = Trabajo que realiza la bomba.

si $Z_1 = 0$ y $Z_2 = 5.2 \text{ m}$

La solución en el estanque se encuentra en reposo y a la presión atmosférica. Mientras que en el punto 2, el flujo tiene una presión de vacío generada por la bomba de 25 pulg.

de Hg y a una velocidad conocida.

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 10,330 \text{ Kgr/m}^2 \quad y \quad V_1 = 0$$

$$P_2 = 25 \text{ pulg. Hg} = 8632.6 \text{ Kgr/m}^2 \quad y \quad V_2 = 0.85 \text{ m/s}$$

sustituyendo los datos en la ecuación anterior:

$$\frac{10,330 \text{ Kgr/m}^2}{998.2 \text{ Kg/m}^3} + 0 + 0 + n W_p = \frac{8,632.6 \text{ Kgr/m}^2}{998.2 \text{ Kg/m}^3} +$$

$$\frac{5.2 \text{ m} (9.8 \text{ m/s}^2)}{9.8 \text{ Kg m/Kgr s}^2} + \frac{(0.85 \text{ m/s})^2}{2 (9.8 \text{ Kg m/Kgr s}^2)} + 16.628 \text{ Kgr/Kgm}$$

$$n W_p = 20.164 \text{ Kgr m/Kgm.}$$

con una eficiencia de la bomba del 70%

$$W_p = \frac{20.164 \text{ Kgr m/Kgm}}{0.70} = 28.75 \text{ Kgr m/Kgm.}$$

$$(\text{Pot})_B = W_p \times Q \times \rho$$

$$(\text{Pot})_B = (28.75 \text{ Kgr m/Kgm}) (0.001846 \text{ m}^3/\text{seg}) (998.2 \text{ Kg/m}^3)$$

$$(\text{Pot})_B = 52.97 \text{ Kgr m/s} (1 \text{ HP}/76.04 \text{ Kgr m/s}) = 0.69 \text{ HP}$$

con una eficiencia del 90% en el motor.

$$(\text{Pot})_M = (0.69 \text{ HP}) / (0.9) = 0.77 \text{ HP.}$$

Para el cálculo de la bomba B-2 se toman los puntos 2 y 3, siguiendo los mismos pasos que en la bomba B-1. Conociendo ya el $N_{Re} = 44,458.2$ y el factor $f = 0.0210$, se busca los valores de K para cada uno de los accesorios que se encuentran en la línea de flujo (2-3) con las tablas A-24 (Crane, 1976).

- Entrada, $K = 0.5$
- Codos de 90° con bridas, $K = 12 \times fr.$
- Salida, $K = 1.0$
- Contracción de 12 pulg.(diámetro de la torre) a 2 pulg.

(diámetro de la tubería), $K = 0.5$.

Los valores de (L/D) se calculan con la ecuación 5 y se muestran en la siguiente tabla:

Accesorios	#	K	nK	L/D	n(L/D)
Entrada	1	0.5	0.5	26.3	26.3
Codos de 90° con bridas	3	0.228	0.684	12	36
Contracción	1	0.5	0.5	26.3	26.3
Salida	1	1.0	1.0	52.6	52.6

$$\sum n(L/D)_a = 141.2$$

sustituyendo en la ecuación 4:

$$\frac{L}{D} = \frac{6.0 \text{ m}}{0.0525 \text{ m}} + 141.2 = 255.48, \text{ por lo tanto,}$$

$$H_{fs} = \frac{(0.0210)(255.48)(0.850 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ Kg}_m \text{ m/ Kg}_f \text{ s}^2)} = 0.1977 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m$$

sumando la caída de presión del filtro F-2 con las pérdidas por fricción en los accesorios y tubería:

$$H_{fs} = 0.1977 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m + 15.8 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m = 15.997 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba B-2 utilizamos el Teorema de Bernoulli.

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{Z_2 g}{g_c} + \frac{V_2^2}{2g_c} + n W_p = \frac{P_3}{\rho} + \frac{Z_3 g}{g_c} + \frac{V_3^2}{2g_c} + H_{fs}$$

$$\text{si } Z_3 = 0 \text{ y } Z_2 = 3.5 \text{ m}$$

$$P_3 = 1 \text{ atm.} = 10,330 \text{ Kg}_f/\text{m}^2 \quad \text{y} \quad V_3 = 0$$

$$P_2 = 25 \text{ pulg de Hg.} = 8632.6 \text{ Kg}_f/\text{m}^2. \quad \text{y} \quad V_2 = 0.85 \text{ m/s}$$

sustituyendo los datos en la ecuación anterior:

$$\frac{8,632 \text{ Kg}_f/\text{m}^2}{998.2 \text{ Kg}_m/\text{m}^3} + \frac{3.5 \text{ m } (9.8 \text{ m/s}^2)}{9.8 \text{ Kg m/Kg}_f \text{ s}^2} + \frac{(0.85 \text{ m/s})^2}{2 (9.8 \text{ Kg m/Kg}_f \text{ s}^2)} +$$

$$n W_p = \frac{10,330 \text{ Kg}_f/\text{m}^2}{998.2 \text{ Kg}_m/\text{m}^3} + 15.997 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m.$$

$$n W_p = 14.162 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m.$$

con una eficiencia de la bomba del 70%

$$W_p = \frac{14.162 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m}{0.70} = 20.231 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m.$$

$$(\text{Pot})_B = (20.231 \text{ Kg}_f \text{ m/Kg}_m) (0.001846 \text{ m}^3/\text{seg}) (998.2 \text{ Kg}/\text{m}^3)$$

$$(\text{Pot})_B = 37.279 \text{ Kg}_f \text{ m/s } (1 \text{ HP}/76.04 \text{ Kg}_f \text{ m/s}) = 0.49 \text{ HP}$$

con una eficiencia del 90% en el motor.

$$(\text{Pot})_M = (0.49 \text{ HP}) / (0.9) = 0.54 \text{ HP}.$$