

ANEXO N° 8 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA DEL SISTEMA DE ROCIADORES PARA ENFRIAMIENTO DEL TANQUE Y DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

I. POTENCIA DE LA BOMBA PARA ROCIADORES DE ENFRIAMIENTO (P)

Para la determinación de la potencia del motor de la bomba que será empleado en el suministro de agua para los rociadores de enfriamiento del tanque de almacenamiento estacionario, se aplicará la siguiente fórmula:

$$P_{teorica} = H_B \times \rho \times g \times Q_T$$

Considerando que en las operaciones existen rangos de eficiencia, se determinará por tanto, la potencia real, considerando lo siguiente:

$$P_{real} = \frac{P_{teorica}}{(\%)}$$

Donde: % = eficiencia

Para nuestro caso la eficiencia será del 85%

Luego evaluando los datos disponibles se tiene:

H_B = Altura dinámica (carga de trabajo de la bomba)

ρ = Densidad del agua

g = coeficiente de gravedad

Q_T = Caudal total de refrigeración

De estos datos se determinarán el caudal total de refrigeración (Q_T) y la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba (H_B).

I. CAUDAL TOTAL DE REFRIGERACIÓN (Q_T)

Para la determinación del caudal total de refrigeración, se considerará el caudal obtenido para un rociador por el número de rociadores requeridos para enfriar el tanque de 12000 galones.

Q_T = Caudal de un rociador x Número de rociadores requeridos

$Q_T = 6,57 \text{ gpm/rociador} \times 17 \text{ rociadores} = 111,69 \text{ gpm}$

$Q_T = 0,00705 \text{ m}^3/\text{seg}$

2. ALTURA DINÁMICA O CARGA DE TRABAJO DE LA BOMBA (H_B)

Para la determinación de la altura dinámica se empleará la fórmula siguiente:

$$H_B = h_{f_{total}} + \left[\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right] - \left[\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right]$$

donde:

$h_{f_{total}}$: Pérdida de carga

P_2 : Presión en la salida del rociador = 30 psi = 206841 N/m²

V_2 : Velocidad de flujo de agua a la salida de los rociadores

Z_2 : Altura de rociadores respecto a la bomba = 2,20 m

P_1 : Presión en el nivel de toma de agua en la cisterna = 0,00 psi

V_1 : Velocidad de flujo de agua en la cisterna = 0,00 m/seg

Z_1 : Altura toma de agua en cisterna respecto a bomba = -2,45 m

ρ : Densidad del agua = 1000 kg/m³

g : Coeficiente de gravedad = 9,8 m/seg²

Para el cálculo correspondiente, se requiere determinar previamente, la velocidad de flujo de agua a la salida de los rociadores (rociador mas alejado de la bomba) [V_2] y la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería [$h_{f_{total}}$]

2.1 Cálculo de la velocidad del flujo de agua a la salida del rociador mas alejado de la bomba [V_2].

Para el cálculo de la velocidad de flujo de agua a la salida del rociador se empleará la siguiente fórmula.

$$Q = AxV_2$$

donde:

Q : Caudal en el extremo del rociador (0,00705 m³/seg)

A : Sección interna de la tubería

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,141592 \cdot 1,5^2}{4} = 1,178097 \text{ pulg}^2$$

$$A = 0,00114 \text{ m}^2$$

V_2 : Velocidad de flujo de agua

$$V_2 = \frac{0,00705}{0,00114} = 6,1799 \text{ m/seg}$$

2.2 Cálculo de la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería [$h_{f_{total}}$]

Para la determinación de la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería se empleará la siguiente fórmula:

$$h_{f_{TOTAL}} = \frac{(f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2)}{2Dg}$$

donde:

f : Coeficiente de fricción

L_{eq} : Longitud equivalente

D : Diámetro interior de la tubería = $1 \frac{1}{2} = 0,0381 \text{ m}$

V_2 : Velocidad de flujo de agua del rociador = 6,1799 m/seg

G : Coeficiente de gravedad = 9,8 m/seg²

Para conocer la pérdida de carga total, se requerirá determinar previamente, tanto el coeficiente de fricción de la tubería como la longitud equivalente de la tubería de suministro de agua a los rociadores, que son datos aún sin determinar.

2.2.1 Cálculo del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción (f) se determinará a partir de nomograma “Factor de fricción en función del número de Reynolds con Rugosidad Relativa como parámetro”¹, para lo cual se necesita conocer previamente, tanto el número de Reynolds (N_{RE}), como la rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$ de la tubería.

2.2.1.1 Cálculo del número de Reynolds [N_{RE}]

Para el cálculo del número de Reynolds se empleará la siguiente fórmula:

¹ Ver anexo 9

$$N_{RE} = \frac{D \cdot V_2 \cdot \rho}{\mu}$$

De donde:

D : Diámetro interior de la tubería

V₂ : Velocidad del agua del rociador

ρ : Densidad del agua

μ : Viscosidad = 0,001 cp (centipoise)

$$N_{RE} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 6,175 \text{ m/seg} \cdot 0,0381 \text{ m}}{0,001 \text{ cp}}$$

$$N_{RE} = 235457,09$$

2.2.1.2 Cálculo de la rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$

La rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$ se determina a partir del nomograma “Rugosidad Relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales”².

Considerando que para suministrar agua a los rociadores, se empleara tuberías de acero comercial se observa:

$$\left(\frac{E}{D}\right) \cong 0,001$$

Con los datos obtenidos para el N_{RE} y la $\left(\frac{E}{D}\right)$ se emplea el nomograma para los coeficientes de fricción, observando que:

$$f = 0,021$$

2.2.2 Cálculo de la longitud equivalente (L_{eq})

La longitud equivalente de la tubería esta comprendido por la longitud de la tubería lineal y la longitud equivalente de los accesorios que

² Ver anexo 10

participan en la línea de suministro de agua.

$$L_{eq} = L + L_{eq. acc}$$

$$L : \text{ Longitud de tubería lineal} = 73,05 \text{ m}$$

Para la longitud equivalente de accesorios ($L_{eq. acc}$) se consideran entre 14 accesorios (codos de 90°), por lo que, la longitud equivalente de un accesorio se determina a partir de:

$$L_{eq. 1 acc} = L \times D$$

$$L_{eq. 1 acc} = 73,05 \times 0,0381 = 2,783 \text{ m/accesorio}$$

Por lo tanto la longitud equivalente de todos los accesorios (14) será:

$$2,783 \text{ m/accesorio} \times 14 \text{ accesorios} = 38,96 \text{ m}$$

Luego, la longitud equivalente total será:

$$L_{eq} = 73,05 + 38,96 = 112,01 \text{ m}$$

Con todos estos datos se determinará la pérdida de carga total ($h_{f_{total}}$)

$$h_{f_{total}} = \frac{(f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2)}{2Dg}$$

$$h_{f_{total}} = \frac{(0,021 \cdot 112,01 \cdot 6,179^2)}{2 \cdot 0,0381 \cdot 9,8}$$

$$h_{f_{total}} = 120,31 \text{ m}$$

Con todos estos datos, se determinará la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba (H_B), a partir de la siguiente fórmula, en la que se han excluido las variables con valor cero y se ha acondicionado las expresiones para un mejor entendimiento.

$$H_B = h_{f_{total}} + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 - Z_1$$

Reemplazando los siguientes datos:

$$h_{f_{total}} = 91,40 \text{ m}$$

$$P_2 = 206841 \text{ kg.m/seg}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/seg}^2$$

$$V_2 = 6,175 \text{ m/seg}$$

$$Z_2 = 2,20 \text{ m}$$

$$Z_1 = -2,45 \text{ m}$$

$$H_B = 120,31 \text{ m} + \left(\frac{206841 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) + \left(\frac{\left(6,175 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} \right) + (2,20 \text{ m} - (-2,45 \text{ m}))$$

$$\therefore H_B = 148,01 \text{ m}$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA (P)

$$P = H_B \cdot r \cdot g \cdot Q$$

$$P = 148,01 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \cdot 0,007 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$P = 10219,892 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}^2}{\text{seg}^3}$$

Potencia teórica de la bomba

Considerando la equivalencia de 1 HP = 745 W

$$HP = \frac{10219,892}{745} = 13,72$$

Eficiencia de la Bomba = 85,00 %

Potencia real de la bomba:

$$HP_{real} = \frac{13,72}{0,85} = 16,13$$

Por lo tanto la potencia teórica del motor de la bomba sería el inmediato superior (17,5 HP) pero como siempre se da un margen de error entonces se tendrá que escoger un motor mas grande, es decir una bomba con un motor de 20 HP de potencia.

II. POTENCIA DE LA BOMBA PARA GABINETES CONTRA INCENDIO (P)

Aplicando la misma fórmula y siguiendo el mismo procedimiento del numeral anterior, podemos determinar la potencia del motor de la bomba que será empleado en el suministro de agua contra incendio.

$$P_{teorica} = H_B \times \rho \times g \times Q_T$$

Considerando que en las operaciones existen rangos de eficiencia, se determinará por tanto, la potencia real, considerando lo siguiente:

$$P_{real} = \frac{P_{teorica}}{(\%)}$$

Donde: % = eficiencia

Al igual que el caso anterior la eficiencia será del 85%

Luego evaluando los datos disponibles se tiene:

H_B = Altura dinámica (carga de trabajo de la bomba)

ρ = Densidad del agua

g = coeficiente de gravedad

Q_T = Caudal total de manguera contra incendio.

De estos datos se determinarán el caudal total de agua contra incendio (Q_T) y la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba (H_B).

1. CAUDAL TOTAL DE AGUA CONTRA INCENDIO (Q_T)

Para la determinación del caudal total de agua contra incendio, se considerará el caudal obtenido para una manguera por el número de mangueras requeridas para atención de emergencias al interior de la planta envasadora.

Q_T = Caudal de una manguera x Número de mangueras requeridas

$Q_T = 125 \text{ gpm/manguera} \times 2 \text{ mangueras} = 250 \text{ gpm}$

$Q_T = 0,0158 \text{ m}^3/\text{seg}$

2. ALTURA DINÁMICA O CARGA DE TRABAJO DE LA BOMBA (H_B)

Para la determinación de la altura dinámica se empleará la fórmula siguiente:

$$H_B = h_{f_{total}} + \left[\left(\frac{P_2}{\rho g} \right) + \left(Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \right] - \left[\left(\frac{p_1}{\rho g} \right) + \left(Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) \right]$$

donde:

$h_{f_{total}}$: Pérdida de carga

P_2 : Presión en salida de manguera = 75 psi = 517102,5 N/m²

V_2 : Velocidad de flujo de agua a la salida de la manguera

Z_2 : Altura de gabinetes respecto a la bomba = 1,00 m

P_1 : Presión en nivel toma de agua en cisterna = 0,00 psi

V_1 : Velocidad de flujo de agua en la cisterna = 0,00 m/seg

Z_1 : Altura toma de agua en cisterna respecto a bomba = -2,45 m

ρ : Densidad del agua = 1000 kg/m³

g : Coeficiente de gravedad = 9,8 m/seg²

Para el cálculo correspondiente, se requiere determinar previamente, la velocidad de flujo de agua a la salida de la manguera (manguera mas alejada de la bomba) [V_2] y la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería [$h_{f_{total}}$]

2.1 Cálculo de la velocidad del flujo de agua a la salida de la manguera mas alejada de la bomba [V_2].

Para el cálculo de la velocidad de flujo de agua a la salida de la manguera se empleará la siguiente fórmula:

$$Q = AxV_2$$

donde:

Q : Caudal en el extremo de la manguera

A : Sección interna de la tubería (m²)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,141592 \cdot 2,5''}{4} = 1,963495 \text{ pulg}^2$$

$$A = 0,003167 \text{ m}^2$$

V₂ : Velocidad de flujo de agua

$$V_2 = \frac{0,0158}{0,003167} = 4,989 \text{ m/seg}$$

2.2 Cálculo de la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería $[h_{f_{total}}]$

Para la determinación de la pérdida de carga en el recorrido del agua por la tubería se empleará la siguiente fórmula:

$$h_{f_{total}} = \frac{(f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2)}{2 \cdot D \cdot g}$$

donde:

f : Coeficiente de fricción

L_{eq} : Longitud equivalente

D : Diámetro interior de la tubería = 2 1/2 = 0,0635 m

V₂ : Velocidad de flujo de agua del rociador = 4,9798 m/seg

G : Coeficiente de gravedad = 9,8 m/seg²

Para conocer la pérdida de carga total, se requerirá determinar previamente, tanto el coeficiente de fricción de la tubería como la longitud equivalente de la tubería de suministro de agua a los rociadores, que son datos aún sin determinar.

2.2.1 Cálculo del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción (f) se determinará a partir de nomograma “Factor de fricción en función del número de Reynolds con rugosidad relativa como parámetro”³, para lo cual se necesita conocer previamente, tanto el número de Reynolds (N_{RE}), como la rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$ de la tubería.

³ Ver anexo 9

2.2.1.1 Cálculo del número de Reynolds [N_{RE}]

Para el cálculo del número de Reynolds se empleará la siguiente fórmula:

$$N_{RE} = \frac{D \cdot V_2 \cdot \rho}{\mu}$$

De donde:

D : Diámetro interior de la tubería: $2 \frac{1}{2} \cong 0,0635 \text{ m}$

V_2 : Velocidad del agua de la manguera: 4,989 m/seg

ρ : Densidad del agua: 1000 kg/m³

μ : Viscosidad = 0,001 cp (centipoise)

$$N_{RE} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,9798 \text{ m/seg} \cdot 0,0635 \text{ m}}{0,001 \text{ cp}}$$

$$N_{RE} = 316219,57$$

2.2.1.2 Cálculo de la rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$

La rugosidad relativa $\left(\frac{E}{D}\right)$ se determina a partir del nomograma “Rugosidad Relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales”⁴.

Considerando que para suministrar agua contra incendio, se empleará tubería de acero comercial, se observa:

$$\left(\frac{E}{D}\right) = 0,0007$$

Con los datos obtenidos para el N_{RE} y la $\left(\frac{E}{D}\right)$ se emplea el nomograma para los coeficientes de fricción observando que:

$$f = 0,019$$

2.2.2 Cálculo de la longitud equivalente (L_{eq})

⁴ Ver anexo 10

La longitud equivalente de la tubería esta comprendido por la longitud de la tubería lineal y la longitud equivalente de los accesorios que participan en la línea de suministro de agua contra incendio, siendo estos:

$$L_{eq} = L + L_{eq. acc}$$

L : Longitud de tubería lineal = 82,15 m

Para la longitud equivalente de accesorios ($L_{eq. acc}$) se consideran entre 6 accesorios (codos de 90°), por lo que, la longitud equivalente de un accesorio se determina a partir de:

$$L_{eq. 1 acc} = L \times D$$

$$L_{eq. 1 acc} = 82,15 \text{ m} \times 0,0635 = 5,216 \text{ m/accesorio}$$

Por lo tanto la longitud equivalente de todos los accesorios (6) será:

$$L_{eq. 1 acc} = 31,29 \text{ m}$$

Luego, la longitud equivalente total será:

$$L_{eq} = 82,15 + 31,29 = 113,44$$

Con todos estos datos se determinará la pérdida de carga total ($h_{f_{total}}$)

$$h_{f_{total}} = \frac{(f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2)}{2Dg}$$

$$h_{f_{total}} = \frac{(0,019 \cdot 113,45 \cdot 4,979^2)}{2 \cdot 0,0635 \cdot 9,8}$$

$$h_{f_{total}} = 42,949 \text{ m}$$

Con todos estos datos, se determinará la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba (H_B), a partir de la siguiente fórmula, en la que se han excluido las variables con valor cero y se ha acondicionado las expresiones para un mejor entendimiento.

$$H_B = hf_{total} + \frac{P_2}{r \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 - Z_1$$

Reemplazando los siguientes datos:

$$h_{f_{total}} = 41,25 \text{ m}$$

$$P_2 = 517102,5 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/seg}^2$$

$$V_2 = 4,989 \text{ m/seg}$$

$$Z_2 = 1,00 \text{ m}$$

$$Z_1 = -2,45 \text{ m}$$

$$\therefore H_B = 68,77 \text{ m}$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA (P)

$$P = H_B \cdot \rho \cdot g \cdot Q$$

$$P = 68,77 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2 \cdot 0,0158 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$P = 10628,737 \frac{Kg \cdot m^2}{seg^3}$$

Potencia teórica de la bomba

Considerando la equivalencia de 1 HP = 745 W

$$HP = \frac{10628,737}{745} = 14,27$$

Eficiencia de la Bomba = 85,00 %

Potencia real de la bomba:

$$HP_{REAL} = \frac{14,27}{0,85} = 16,78$$

Al igual que para los rociadores de enfriamiento del tanque estacionario para este caso la potencia teórica del motor de la bomba sería el inmediato superior (17,5 HP) pero como siempre se da un margen de error entonces se tendrá que escoger un motor mas grande, es decir una bomba con un motor de 20 HP de potencia.