

Comprobación de los parámetros de la bomba de trasiego de agua en el hospital de Moa

Ismel Rodríguez Guilarte irodriguezg@mecanica.ismm.edu.cu

Michel Rodríguez Ismar mrismar@ismm.edu.cu

Alina Álvares Bombus aalvarezb@mecanica.ismm.edu.cu

Nancy Felicia Zapata Rigñack nzapata@mecanica.ismm.edu.cu

Lisandra Vázquez Barrientos lvazquez@mecanica.ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se realizó una comprobación del diseño de la instalación de bombeo de agua potable del Hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero de Moa debido a dificultades presentadas con el suministro del fluido a las áreas que lo necesitan. Se aplicó una metodología de cálculo en función de las características del líquido a manipular para evaluar las pérdidas por rozamiento en el sistema de tuberías y accesorios instalados. Se utilizó una bomba con características similares a la instalada debido a que esta carece de la ficha técnica correspondiente y no se tienen conocimientos ni datos acerca de ella. Los resultados revelaron que el sistema actual precisa de más tiempo para el llenado que el requerido trayendo consigo un alto consumo energético, el cual no es capaz de garantizar la alimentación de manera constante y cubrir la demanda de agua potable para dar servicio a las áreas que lo necesita. Se realizó una evaluación del grupo moto-bomba centrífuga de la marca Etanorm ETN 65-50-160, la que posee un punto de operación de 27 m³/h de caudal y una altura de carga de 36,03 m, lo que no garantiza las condiciones necesarias para el sistema de bombeo de agua analizado.

Palabras clave: bombas centrífugas; transporte de fluido; transporte hidráulico por tubería; fluido newtoniano

Verification of the parameters of the water transfer pump at the hospital in Moa

Abstract: A verification of the design of the drinking water pumping installation of the Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero de Moa Hospital was carried out due to difficulties presented with the supply of the fluid to the areas that need it. A calculation methodology was applied based on the characteristics of the liquid to be handled to evaluate friction losses in the system of pipes and installed accessories. A pump with characteristics similar to the one installed was used because it lacks the corresponding technical sheet and there is no knowledge or data about it. The results revealed that the current system requires more time for filling than required, bringing with it high energy consumption, which is not capable of constantly guaranteeing power and covering the demand for drinking water to serve the areas it serves. An evaluation was carried out on the Etanorm ETN 65-50-160 brand centrifugal motor pump group, which has an operating point of 27 m³/h flow rate and a loading height of 36.03 m, which does not guarantee the necessary conditions for the analyzed water pumping system.

Keywords: centrifugal pumps; fluid transport; hydraulic pipeline transportation; newtonian fluid

Introducción

La industria minero-metalúrgica utiliza diversas formas de transportación de mineral, teniendo gran auge el transporte hidráulico, debido a la capacidad que tienen las bombas para el trasiego de fluidos hacia donde se desee transportar. A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos productivos están ligados a las mejoras de los equipos de bombeo y con un mejor conocimiento de su funcionamiento y explotación. El transporte de fluidos ha demostrado ventajas ante otros tipos de transporte, pero también presentan desventajas como son, su rápido deterioro y elevado consumo energético, fundamentalmente provocados por la cavitación y las vibraciones presentes en las bombas, lo que justifica una caracterización de estos fenómenos para minimizar los daños que ocasionan (Sablón, 2019).

El transporte hidráulico por tubería, tiene un papel esencial en el transporte de fluidos y en particular de pulpas, es así por su efectividad económica y ecológica teniendo en cuenta los otros tipos de transporte existentes. En esta forma de transporte el consumo de energía tiene que ver en su mayoría con las pérdidas de carga a lo largo del sistema de tubería y ésta, al mismo tiempo, depende del tamaño del conducto, su particularidad de trabajo y tecnología con la que fue fabricado, además del régimen de trabajo de la instalación y de las propiedades físico-mecánicas del material utilizado y de su cantidad a manipular (Carcassés, 2018; Sablón, 2019; Muñoz, Velázquez & Rodríguez, 2022).

Todos estos factores influyen en diferentes aspectos del sistema diseñado y cambian con mucha facilidad, e incurrir a la vez, con otros valores tanto en los indicadores de economía como en la eficiencia del proceso tecnológico de la instalación. Si se desea investigar y mejorar el sistema de transporte de la suspensión conllevaría el análisis detallado de los factores que forman parte del proceso productivo.

Existen instalaciones de investigación con un formato semi-industrial destinadas para la investigación y la docencia con bombas, tuberías, accesorios e instrumentación para garantizar la evaluación y el control de los parámetros de funcionamiento de estos equipos para el bombeo de diferentes fluidos, lo que a través de un sistema de redes, en circuito cerrado y semi-abierto, por la cual se trasiegan dichos fluidos en estudio (agua y pulpas principalmente).

Los sistemas de bombeo desempeñan un importante papel en el transporte eficiente de fluidos en diversos sectores, como el abastecimiento y tratamiento de agua y otras aplicaciones industriales. Estas estaciones están diseñadas para impulsar el flujo de líquidos a través de tuberías, manteniendo la presión adecuada en todo el sistema. Además, se emplean medidas como el control de fugas y la instalación de válvulas y sistemas automáticos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente (Mercado-Bautista *et al.*, 2023). En este trabajo se realiza la comprobación del diseño de la instalación de bombeo de agua potable del Hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero de Moa debido a dificultades presentadas con el suministro del fluido a las áreas que lo necesitan

Materiales y métodos

La instalación de bombeo del Hospital de Moa cuenta con una cisterna alimentada por el fluido (agua) correspondiente con los horarios y días establecidos. Existe instalada una bomba centrífuga encargada de succionar el agua e impulsarla hacia el tanque elevado a una altura de 25 m. Esta bomba es accionada por un motor trifásico de 440 V, además de los accesorios correspondientes como válvulas, cheques, codos, y la tubería de succión que opera a 2,95 m de profundidad con un diámetro de 3 pul (80 mm) y 4 pul (100 mm) y la de descarga con diámetros de 3 pul (80 mm); 4 pul (100 mm) y 6 pul (150 mm) respectivamente. Cuenta con:

- Un tanque elevado en el que se almacena el agua transportada (TK)
- Una cisterna donde se deposita el agua para la succión y llenado del tanque (S)
- Una bomba centrífuga, encargada de impulsar el fluido de forma continua (B)
- Válvulas de cheque (CH), de compuerta (C), de globo (G)
- Además cuenta con dos codos de 90° grados, dos de 45°, dos T de flujo desviado
- Longitud de la tubería en la succión de la bomba: 5,62 m
- Longitud de la tubería de descarga: 41,9 m

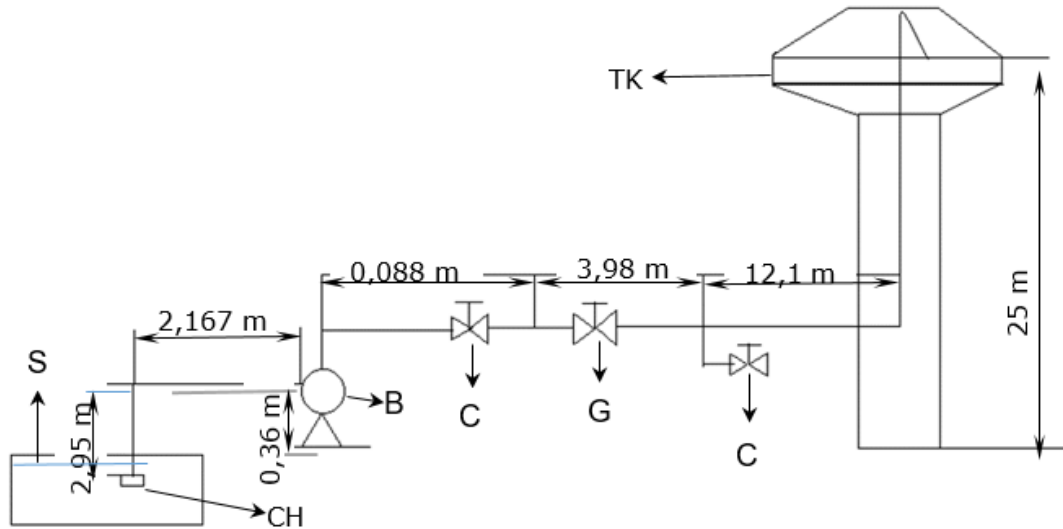


Figura 1. Esquema de la instalación de bombeo de agua en el Hospital de Moa.

Caracterización del líquido a transportar (agua)

Las propiedades del agua se dan a partir de la temperatura de trabajo que se va a analizar en la instalación experimental (Reza, 2000; Rodríguez, 2013; Carcassés, 2018). En la tabla 1 se muestran estas propiedades.

Tabla. 1 Propiedades del agua cruda.

Temperatura en estado normal T(°C)	26
Densidad (kg/m ³)	996,7
Viscosidad dinámica (Pa*s)	0,0007983
Tensión de vapor (m)	0,3392
Peso específico (N/m ³)	9 777,6

Metodología empleada para el cálculo hidráulico en la instalación de bombeo de agua

Se requiere recalcular el sistema de bombeo de agua instalado en el Hospital de Moa para comprobar sus características de diseño. Para ello se empleó la metodología propuesta por Nekrasov (1986), que considera las pérdidas hidráulicas en la succión y la descarga, cambios de sección y de dirección, codos y otros accesorios, longitud en la succión e impulsión de la bomba, característica de la red, las propiedades del fluido, el factor de fricción, la altura de bombeo y la comprobación de funcionamiento sin cavitación.

Pérdidas en la succión y en la descarga de la instalación

Se considera para la proyección de la instalación tubería de acero al carbono, según la norma ANSI y los códigos B.36.10 y B.36.1, utilizando tuberías estándar (STD). Según las consideraciones anteriores la instalación se muestra en la figura 1 donde se representan las longitudes de tuberías y cantidad de accesorios que contará la instalación, estas longitudes se expresan en milímetros.

Característica de la red

El cálculo del caudal depende del área de la sección transversal de la tubería y las velocidades recomendadas por literatura, para tales efectos se utiliza la ecuación:

$$Q = v \cdot A; \text{ m}^3/\text{s}.$$

Dónde:

v : Velocidad recomendada del fluido, (m/s);

A : Área de la sección transversal de la tubería, (m²).

La determinación del área de la sección circular de la tubería por donde circula el fluido, se puede realizar según la expresión matemática siguiente:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Dónde:

D : Diámetro interior de la tubería, (m).

Luego de calculado el caudal de la bomba con el diámetro de la tubería ya estandarizado su valor según las especificaciones técnicas para tuberías de acero al carbono por la norma ANSI y los códigos B.36.10 y B.36.1, utilizando tuberías estándar (STD).

Se corrige el valor de la velocidad del fluido en la succión y en la descarga por las ecuaciones:

$$v_{succ} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}; \text{ m/s}$$

$$v_{desc} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}; \text{ m/s}$$

Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds tanto en la succión como en la descarga (Re), permite establecer el régimen de trabajo, según la naturaleza reológica del fluido, se determina:

$$R_e = \frac{v \cdot D \cdot \rho_m}{\mu_p}$$

Dónde:

μ : Viscosidad dinámica del fluido, (Pa · s);

ρ : Densidad del agua, (kg/m³);

D_s : Diámetro nominal de cada tramo de la tubería para la succión o para la descarga, (m);

v : Velocidad del fluido en la succión o en la descarga, (m/s).

Cálculo del factor de fricción

El factor de fricción en la succión y en la descarga para régimen turbulento se determina:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

Dónde:

Re : Reynolds calculado en la succión o en la descarga.

Cálculo de la resistencia de la red

La resistencia en la succión y la descarga respectivamente ofrecida por las tuberías y accesorios se calculan según Nekrasov (1986) por la ecuación:

$$R = \left(\lambda \cdot \frac{L_{eqT}}{D_N} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D_N^4}$$

Dónde:

R : Resistencia en la succión o en la descarga, (s²/m⁵);

λ : Factor de fricción obtenido en la succión o en la descarga;

L_{eqT} : Longitud equivalente total en la succión o en la descarga, (m);

D_N : Diámetro nominal de la tubería en la succión o en la descarga, (m).

La longitud equivalente total en la succión y la descarga se determina por la ecuación:

$$L_{eqT} = L_{tub} + L_{Leqa}$$

Dónde:

L_{tub} : Longitud de la tubería de succión y de descarga respectivamente, (m)

La longitud equivalente, tanto en la succión como en la descarga por accesorios, se determina por la ecuación expuesta por Nekrasov (1986):

$$L_{Leqa} = \left(\frac{L}{D}\right) \cdot D_{nominal}$$

Dónde:

$\left(\frac{L}{D}\right)$: Longitud equivalente de los accesorios;

$D_{nominal}$: Diámetro nominal de succión y descarga.

Para el cálculo de la longitud equivalente de la descarga por accesorio la ecuación queda:

$$L_{eq,desc} = \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{Te} \cdot D_{80}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{Te} \cdot D_{100}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{codo45} \cdot D_{80}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{codo45} \cdot D_{100}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{valv.comp} \cdot D_{100}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{valv.comp} \cdot D_{150}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{valv.globo} \cdot D_{150}\right) + \left(\left(\frac{L}{D}\right)_{codo90} \cdot D_{100}\right)$$

Dónde:

$\left(\frac{L}{D}\right)_{Te}$: Longitud equivalente de la T estándar con desviación de flujo, (m);

$\left(\frac{L}{D}\right)_{codo45}$: Longitud equivalente del codo de 45°, (m);

$\left(\frac{L}{D}\right)_{valv.comp}$: Longitud equivalente de la válvula de compuerta, (m);

$\left(\frac{L}{D}\right)_{valv.globo}$: Longitud equivalente de la válvula de globo, (m);

$\left(\frac{L}{D}\right)_{codo90}$: Longitud equivalente del codo de 90°, (m);

D_n : Diámetro nominal de cada tramo correspondiente a cada accesorio en la tubería de descarga, (m);

La longitud equivalente para la zona de descarga se muestra en la tabla 2, para la zona de succión en la Tabla 3.

Tabla 2. Coeficientes de pérdidas locales para la línea de descarga

Accesorios	Cantidad	(L/D) _{eq}
Te estándar con desviación de flujo	2	20
Válvula de globo	1	340
Codo de 45°	2	16
Codo de 90°	1	30
Válvula de compuerta	2	8

La longitud equivalente de succión se determina:

$$L_{eq.succ} = \left(\left(\frac{L}{D} \right)_{codo\ 90} \cdot DN \right) + \left(\left(\frac{L}{D} \right)_{check} \cdot DN \right)$$

Dónde:

$\left(\frac{L}{D} \right)_{codo\ 90}$: Longitud equivalente del codo de 90°, (m);

$\left(\frac{L}{D} \right)_{check}$: Longitud equivalente del cheque, (m).

Tabla 3. Coeficientes de pérdidas locales para la línea de succión

Accesorios	Cantidad	(L/D) _{eq}
Cheque	1	135
Codo de 90	1	30

La resistencia en la tubería de descarga especificando los accesorios del sistema de bombeo del Hospital de Moa teniendo en se obtiene por la expresión matemática:

$$R_{desc} = \left(\lambda_{desc} \cdot \frac{L_{eqT.desc}}{D_{desc}} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D_{desc}^4}$$

Dónde:

R_{desc} : Resistencia en la descarga, (s²/m⁵);

λ_{desc} : Factor de fricción en la descarga;

$L_{eqT.desc}$: Longitud equivalente total en la descarga, (m);

D_{desc} : Diámetro de la tubería en la descarga, (m).

Realizando los mismos procedimientos anteriormente expresados se realiza el cálculo de la resistencia en la tubería.

$$R_{succ} = \left(\lambda_{succ} \cdot \frac{L_{eqT.suc}}{D_{succ}} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D_{succ}^4}$$

Dónde:

R_{succ} : Resistencia en la succión, (s²/m⁵);

λ_{succ} : Factor de fricción en la succión;

$L_{eqT.suc}$: Longitud equivalente total en la succión, (m);

D_{succ} : Diámetro de la tubería en la succión, (m).

Característica de la red

La característica de la red del sistema de tuberías en la instalación de hidrotransporte se calcula:

$$H_{red} = \Delta Z + R_c \cdot Q^2$$

Donde:

ΔZ : Altura estática, (m);

Q : Caudal transportado por la bomba, (m³/s).

Cálculo de la altura estática

Para el cálculo de la altura estática se plantea la siguiente condición del nivel máximo del líquido en el tanque.

El cálculo de la altura estática se realizó por la ecuación:

$$\Delta Z = H_{desc} - H_{succ}$$

Para la condición del máximo nivel del líquido en el tanque se emplearon las siguientes alturas estáticas:

$$H_{desc} = 25m \quad H_{succ} = 2,95 m$$

Comprobación de la condición de ausencia de cavitación

Para la comprobación de la condición de ausencia de cavitación se utiliza la expresión matemática propuesta por Favier (2021):

$$NPSHd > NPSHr + 0,5.$$

Dónde:

NPSHr: Altura neta de succión requerida, establecida por el fabricante, m;

NPSHd: Altura neta de succión disponible en la succión de la bomba, m.

Para la determinación de la altura neta de succión disponible se utiliza la ecuación:

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} \pm h_s - h_L - \frac{P_v}{\gamma}$$

Donde:

P_{atm} : Presión estática, Pa;

h_s : Elevación desde el nivel del fluido en el depósito hasta la línea de entrada de succión de la bomba, m;

P_v : Presión de vapor absoluta del líquido a temperatura de bombeo, Pa;

γ : Peso específico del agua a temperatura de bombeo, N/m³;

h_L : Pérdida de energía por unidad de peso de fluido en la succión de la bomba, J/N.

La pérdida de energía por unidad de peso de fluido en la succión de la bomba se

calcula:
$$h_L = \lambda \cdot \frac{L_{eqTsuc}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Metodología de cálculo para la potencia hidráulica del sistema

La potencia hidráulica según Nekrasov (1986) se determina:

$$Nb = \rho_m \cdot Q \cdot g \cdot H$$

Donde:

ρ_m : Densidad del fluido a transportar (kg/m³);

H : Pérdida o carga a que está impuesta a vencer la bomba (m);

Nb : Potencia hidráulica (W).

La potencia real de consumo en el motor tiene que ser mayor que la potencia suministrada al eje de la bomba, debido a las pérdidas en los acoplamientos, los cojinetes y otros factores, la cual es expresada por (Nekrasov, 1986) a través de la ecuación:

$$N_m = \frac{N_b}{0,9}; \text{ kW}$$

Dónde:

N_b : potencia de la bomba (kW).

Resultados y discusión

Análisis del sistema de bombeo utilizando la bomba Etanorm 65-50-160

Para realizar el análisis del sistema de bombeo utilizando la bomba Etanorm 65-50-160 que trasiega hasta el tanque en la instalación con el agua, se debe tener en cuenta las características de la instalación. Por lo que es necesario obtener el punto de trabajo de la bomba al máximo nivel del líquido en el tanque.

En la tabla 4 se muestran los resultados de las velocidades que alcanza el fluido a lo hora de su transportación para los diferentes diámetros de tuberías. Se utiliza un caudal de 27 m³/h para los cálculos teóricos.

Tabla 4. Resultados de los cálculos de las áreas y velocidades en los conductos de la instalación.

Líneas	v (m/s)	Área (m ²)
Tramos de tuberías de succión y descarga DN 80	1,5	0,0050
Tramo de tuberías de succión y descarga DN 100	0,955	0,0079
Tramo de tubería de descarga DN 150	0,425	0,0177

Los resultados de las velocidades que alcanza el agua a lo hora de su transportación, para los diferentes diámetros de tuberías, son elevadas por lo que confirma el régimen de flujo turbulento que experimenta. Las áreas calculadas muestran dimensiones muy pequeñas, según la sección circular de las tuberías.

La tabla 5 muestra los valores de Reynolds obtenidos en la instalación para los diámetros de conductos utilizados.

Tabla 5. Resultado de los cálculos del número de Reynolds en los diferentes tramos de tuberías

Líneas	Reynolds Re
Tramos de tuberías de succión y de descarga de DN 80	149823,3
Tramos de tuberías de succión y de descarga de DN 100	11923,4
Tramo de tubería de descarga de DN 150	79593,6

Los números de Reynolds mostrados para el transporte de agua demuestran un comportamiento turbulento del fluido, superando los límites establecidos en la zona de transición en los regímenes evaluados de alrededor de 4 000.

La tabla 6 muestra los valores del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Tabla 6. Resultados del factor de fricción en los diferentes tramos de tuberías para la condición de trabajo

Líneas	Factor de fricción λ
Tramos de tuberías de succión y de descarga de DN 80	0,016
Tramos de tuberías de succión y de descarga de DN 100	0,03
Tramo de tubería de descarga de DN 150	0,019

Como se muestra en la tabla anterior el factor de fricción es bastante pequeño, lo que demuestra la escasa viscosidad del fluido analizado en este caso el agua, un fluido newtoniano de poca viscosidad y que generalmente se transporta a valores de Reynolds superiores a 4 000.

En la tabla 7 se muestran los valores de las pérdidas por rozamiento lineal y local, para la tubería y accesorios empleados en la instalación de bombeo de agua. Los cálculos se realizaron para la condición de trabajo utilizando la bomba Etanorm 65-50-160.

Tabla 7. Resultado del sistema de bombeo instalado

Q (m ³ /h)	V _{suc} (m/s)	V _{des} (m)	R _{suc}	R _{desc}	λ_{suc}	λ_{desc}	R _{suc}	R _{desc}	R _{Total}	H _{red} (m)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,5
13,5	0,746	0,746	74512,2	74512,2	0,039	0,061	18526,6	20929,6	139456,2	29,5
27,0	1,493	1,493	161746,8	241340,4	0,046	0,065	21851,9	28859,4	150711,3	36,0
40,5	2,239	2,239	223636,4	223636,4	0,030	0,047	14251,2	3175,2	107426,4	41,1
54,0	2,986	2,986	298248,4	298248,4	0,027	0,043	12826,1	5245,4	98071,5	49,6

Para el cálculo hidráulico del sistema de bombeo se consideró un caudal volumétrico de 27 m³/h, dando una resistencia de la red de tuberías y accesorios de 36,03 m de columna líquida.

Las tablas 8 y 9 muestran las características de la red de tuberías y accesorios en función del caudal de trabajo de la bomba y la curva de la bomba a 2144 rev/min, esta propiedad de la red depende fundamentalmente de la resistencia que existe en la misma.

Tabla 8. Característica de la red para el sistema trabajando con el máximo nivel del líquido en el tanque

Q(m ³ /h)	0	13,5	27	40,5	54,0
H(m)	27,55	29,51	36,03	41,15	49,62

Tabla 9. Curva característica de la bomba Etanorm 65-50-160

Q (m ³ /h)	0	20	40	60
H (m)	38	37	36	34

En la tabla 8 se muestran los valores de las pérdidas totales a vencer por la bomba se encuentran dentro del rango de trabajo de la misma. En el caso de la curva característica de la bomba carga-capacidad se extrajo del catálogo técnico de la máquina para el número de revoluciones de 2144 rev/min, facilitado por el fabricante.

La figura 2 muestra el comportamiento de la curva característica carga-capacidad de la bomba obtenida anteriormente, igualmente se encuentra interceptada con la curva de la red del sistema de tuberías a partir de las tablas 8 y 9 para el máximo nivel del líquido en el tanque, resultando en el punto de operación para el número de revoluciones analizado.

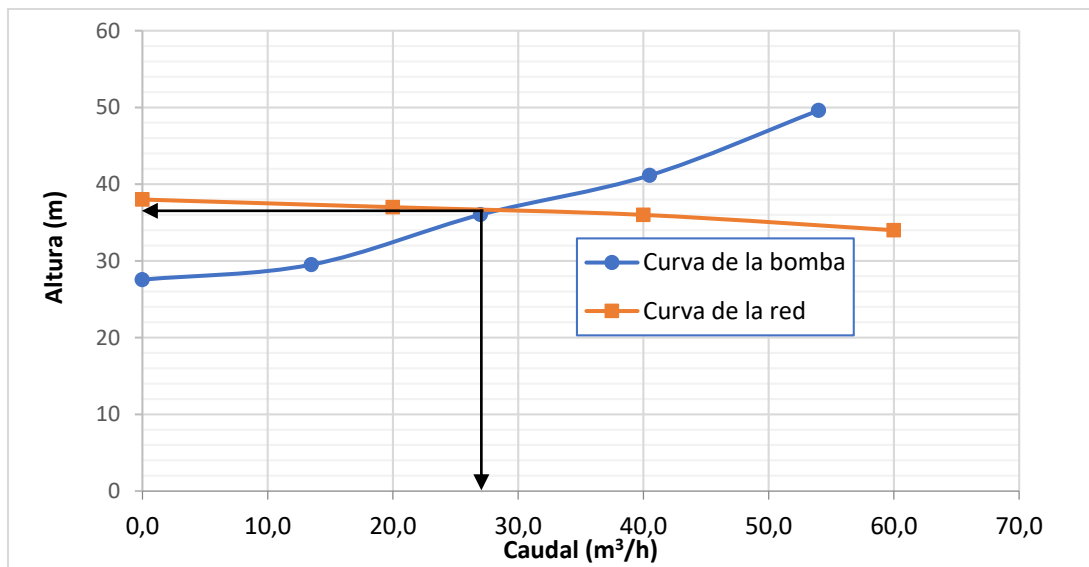


Figura 2. Curva característica del sistema y la bomba para el máximo nivel del líquido en el tanque.

La figura 2 muestra el punto de operación de la bomba, está indicado donde se interceptan las curvas características carga-capacidad y la del sistema, la que se encuentra en un caudal $Q = 27 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura $H_t = 36,03 \text{ m}$, comparando con los parámetros de selección o de diseño propuesto por el fabricante, con respecto a la curva establecida por el fabricante, los valores calculados están en el rango de diseño de la bomba. La bomba Etanorm 65-50-160 trabaja satisfactoriamente para las condiciones operacionales del sistema en función de la característica del fluido.

En la tabla 10 se muestran los resultados de los cálculos de la potencia consumida por la bomba y la potencia consumida por el motor de la misma.

Tabla 10. Resultados de la potencia consumida por la bomba en el sistema de tuberías

Parámetros evaluados	Resultados	Unidad
Potencia hidráulica del sistema (Nh)	2,183	kW
Potencia real que consume el motor (Nm)	4,143	kW

En la tabla 10 se dan los resultados de la potencia consumida por la bomba para el máximo nivel del fluido en el tanque, que es al nivel de la canal de reboso de los mismos, con un valor de 2 183 W (2,183 kW), resultando ser inferiores a la potencia que realmente caracteriza al motor instalado de 4143 W (4,143 kW), siendo este valor igual al de diseño propuesto por el fabricante.

Conclusiones

Se caracterizó el sistema de tuberías y accesorios perteneciente al grupo moto-bomba Etanorm 65-50-160, así como sus características de diseño.

Se evaluó el fluido reológicamente, su densidad y propiedades, las que influyen en el proceso de transporte por tuberías, que muestra un comportamiento newtoniano, con una viscosidad de 0,0007983 Pa·s.

Se comprobó el punto de operación de la bomba Etanorm 65-50-160, mostrando un valor de $Q_t=27 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura manométrica de $H_t=36,03 \text{ m}$ cumpliendo así con la presión necesaria del sistema, pero no con el caudal requerido pues con ese caudal se emplea más tiempo del requerido teniendo como resultado un consumo de tiempo y energía elevado.

Referencias bibliográficas

CARCASSÉS, R. (2018). *Determinación de los parámetros de trabajo en la instalación semi-industrial del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa*. (Trabajo de diploma). Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.

FAVIER, A. (2021). *Cavitación en bombas centrífugas en el trasiego de licor producto en la planta de neutralización perteneciente a la empresa moanickel S. A. Pedro Sotto Alba*. (Trabajo de diploma). Universidad de Moa. 46 p.

- MERCADO-BAUTISTA, J. D., QUIÑONEZ-ALAVA, M. S., ANGULO-QUIÑONEZ, A. Á., REYES-VERA, C. H. & CEVALLOS-MINA, M. G. (2023). Estaciones de bombeo, anti-golpe de ariete y control de fugas, válvulas y sistemas automáticos. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 433-439. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.617>.
- MUÑOZ, F. R., VELÁZQUEZ O. R. & RODRÍGUEZ, M. (2022). Cavitación en bombas centrífugas en el trasiego de licor producto en la planta de neutralización. *Ciencia & Futuro*, 12(3), 292-311. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2186>.
- NEKRASOV, B. (1986). *Hidráulica*. Editorial Pueblo y Educación. 432 p.
- REZA, G. (2000). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill. 215 p.
- SABLÓN FERNÁNDEZ, L. (2019). Evaluación del hidrotransporte de la pulpa laterítica a escala semi-industrial. (Trabajo de diploma, Universidad de Moa), Cuba.