

Sistema de bombeo de agua del Hospital Pediátrico de Guantánamo

Jesús Manuel Viera Callar jvcallar@mecanica.ismm.edu.cu

Cristóbal Armando Texidor Pérez ctexido@mecanica.ismm.edu.cu

Rodney Martínez Rojas rmartinez@ismm.edu.cu

Nurys Cervantes Hinojosa ncervantes@ismm.edu.cu

Elis Efraín Guzmán Romero eguzman@ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se elaboró un programa de mantenimiento para el dimensionamiento correcto de las tuberías del Hospital Pediátrico Pedro Agustín Pérez de Guantánamo para asegurar el rendimiento de la bomba y la selección del motor adecuado que permita cumplir con los requerimientos del sistema. El proceso de evaluación permitió identificar deficiencias en el sistema de bombeo relacionadas con el dimensionamiento de las tuberías, lo que afecta significativamente el rendimiento de la bomba y la potencia del motor es insuficiente para el sistema de bombeo. Se propone realizar un programa de mantenimiento que incluye acciones para: un dimensionamiento correcto de las tuberías para asegurar el rendimiento de la bomba y para la selección del motor adecuado que permita cumplir con los requerimientos del sistema. Se aportan además sugerencias prácticas, en términos de mantenimiento, que incluyen pautas para la limpieza y mantenimiento adecuado de la bomba, así como el monitoreo regular de las válvulas.

Palabras clave: hidrotransporte; sistema hidráulico; transporte de fluidos; tuberías de agua.

Water pumping system at a children's Hospital

Abstract: A maintenance program for the correct sizing of pipes at Pedro Augustin Pérez children's Hospital in Guantánamo province was created in order to ensure the performance of the pump and selecting the appropriate engine to meet the pumping system requirements. The evaluation process allowed identifying deficiencies in the system related to the sizing of pipes, which significantly affects the pump performance and the engine power is insufficient for the pumping system. This work suggests carrying a maintenance program out that includes actions for a correct sizing of pipes in order to ensure the pump performance and selecting the appropriate motor that allows meeting the system requirements. Practical suggestions are also provided in terms of maintenance, including guidelines for proper cleaning and maintenance of the pump, as well as regular valves monitoring.

Keywords: hydro transport; hydraulic system; fluid transport; water pipes

Introducción

El sistema de bombeo permite la extracción de elementos o el acopio de sustancias líquidas a partir de una red de tuberías atendiendo a parámetros como el caudal o la presión. Su funcionamiento se basa en el concepto de equilibrio hidráulico. Esto se logra gracias a un correcto balance de la energía cinética y potencial, así como de las fugas de energía que se producen de manera natural.

Son muchas las empresas o entidades que necesitan sistemas de bombeo para poder ejercer su actividad de forma eficiente, desde la extracción de minerales, vaciado de camiones cisterna, extracción de agua de pozos, en perforaciones para la extracción de petróleo, o para mantener un suministro confiable de agua (Aguilar, 2022).

Los hospitales son centros que por sus funciones sociales requieren un óptimo servicio de agua. Los sistemas hidráulicos en instalaciones hospitalarias han sido objeto de diversos estudios (Zertucha & Borges, 2022; Rodríguez *et al.*, 2023), sin embargo, cada centro hospitalario cuenta con particularidades que requieren análisis específicos.

En el Hospital Pediátrico Pedro Agustín Pérez de Guantánamo, el sistema de bombeo desempeña un papel integral en garantizar el abastecimiento adecuado de agua potable y en el funcionamiento de sus instalaciones sanitarias. Para ello la evaluación y el mantenimiento periódico de este sistema de bombeo de agua es de vital importancia para asegurar una eficiencia adecuada.

El objetivo de este trabajo es elaborar un programa de mantenimiento que contribuya al dimensionamiento correcto de las tuberías del Hospital Pediátrico Pedro Agustín Pérez de Guantánamo para asegurar el rendimiento de la bomba y la selección del motor adecuado que permita cumplir con los requerimientos del sistema.

Para ello se debe analizar los patrones de uso y consumo de agua y los principales componentes del sistema, como las bombas, tuberías, válvulas y equipos adicionales, y se evaluará su funcionamiento, rendimiento y eficiencia energética para garantizar los requerimientos del hospital.

Materiales y métodos

Características del sistema de bombeo del hospital Pedro Agustín Pérez

El sistema de bombeo de agua del Hospital Pediátrico Pedro Agustín Pérez de Guantánamo cuenta con una bomba modelo Inoxpa DIN-FOOD 125-100-315 con un caudal nominal de 250 m³/h a 1450 rpm y un rendimiento de un 65%.

El motor es modelo Siemens trifásico SERIE 1LE0141-IE2-1DA46-4AA4 posee las siguientes características constructivas: 18,5 kW de potencia, tamaño constructivo 160L, número de revoluciones 3530 rpm, una eficiencia de 91 %, torque nominal 50 Nm, un peso de 115 kg, corriente nominal 220 V a 63 A. Los diámetros de las tuberías para la succión son de 200 mm y para la descarga 150 mm. El tiempo deseado para el trabajo de la bomba es de 30 min cada 2 h para un periodo de 24 h. En la tabla 1 se especifican otros datos del sistema.

Tabla 1. Datos del sistema de bombeo

Parámetro	Succión		Descarga	
Volumen de la cisterna	576 m ³		150 m ³	
Altura	-2 m		17 m	
Longitud	3.50 m		50 m	
Accesorios del sistema	Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad
	Válvula Check	1	Codo 90°	6
	Reducido	1	Te estándar	4
	Codo 90°	1	Válvula de mariposa	2
			Válvula de compuerta	1

Diámetros de la tubería en las líneas de succión y descarga

Para determinar los diámetros en la tubería de succión y descarga se recurre a la ecuación de continuidad o gasto donde. El gasto es la cantidad de líquido que pasa a través de la sección viva del flujo (de la vena líquida) en la unidad de tiempo. Dicha cantidad se puede medir en unidades de volumen, peso o masa (Nekrasov, 1908).

$$Q = v_r \cdot A = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q: Caudal nominal que se desea bombear (m³/h)

v_r: Velocidades recomendadas (m/s)

A: Área de la tubería (m²)

V: Volumen de la cisterna de descarga (m³)

t: Tiempo de llenado de la cisterna de descarga (h).

Al despejar la ecuación en función del diámetro, a través del área de una sección circular queda:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_r}}$$

Dónde:

d : Diámetros de las tuberías de succión y descarga (m).

Velocidad del fluido en las líneas de tuberías de succión y descarga

Luego de calculado y normalizado los diámetros de succión y descarga se calcula la velocidad a través de la ecuación:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d}$$

Altura de elevación que debe vencer el sistema

La altura de elevación que debe vencer el sistema es la diferencia de altura entre el punto de succión y el punto de descarga.

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

Dónde:

ΔZ : Altura de elevación que debe vencer el sistema (m)

H_{des} : Altura de descarga (m)

H_{succ} : Altura de succión (m).

Ecuación del Reynolds para el análisis del flujo del fluido

El número de Reynolds se utiliza para determinar el comportamiento del fluido en movimiento, ya sea en laminar con $Re \leq 2300$ o turbulento con $Re \geq 4000$ (Fox, McDonald & Pritchard, 2005).

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Dónde:

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

μ : Viscosidad dinámica ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

Coefficiente de fricción

El coeficiente de fricción es una medida de la resistencia al flujo causado por la fricción en las paredes internas de las tuberías, parte de esta se convierte en energía térmica que se disipa a través de la pared de la tubería por la que circula el fluido (Mott, 2006).

En caso de corriente laminar, en un tubo circular, la altura de pérdida de carga por rozamiento es proporcional al gasto y a la viscosidad a la primera potencia y es inversamente proporcional al diámetro a la cuarta potencia. Se emplea para el cálculo de tuberías con régimen laminar de corriente (Nekrasov, 1968).

$$\text{-Para laminar } Re \leq 2300: \lambda = \frac{64}{Re}$$

Existen varias fórmulas empíricas y semiempíricas que expresan esta función para la corriente turbulenta en tubos lisos, unas de las fórmulas más cómodas y aplicables es ecuación de Blasius.

$$\text{-Para Turbulento } Re \geq 4000: \lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

Dónde:

λ : Coeficiente de fricción para la tubería de succión y descarga.

Cálculo de la longitud equivalente en las tuberías de succión y descarga

La ecuación utilizada para calcular la longitud equivalente en una tubería se basa en el principio de conservación de la energía, dónde L/D se obtiene de la fuente de acuerdo a los accesorios del sistema (Wordpress, 2009).

$$L_{eq} = \left(\sum \frac{L}{D} \right) \cdot d$$

Dónde:

L_{eq} : Longitud equivalente por accesorio de las tuberías de succión y descarga (m)

$\sum \frac{L}{D}$: Sumatoria de las longitudes equivalentes de los accesorios en la tubería de succión y descarga.

Cálculo de la longitud equivalente total en las tuberías de succión y descarga

La longitud equivalente total es el efecto combinado de todas las pérdidas de carga generada por los componentes de una tubería. Es una longitud adicional de tubería recta que representa el efecto acumulativo de las pérdidas de carga.

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

Dónde:

L_{eqT} : Longitud equivalente total de las tuberías de succión y descarga (m)

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

Resistencia de la red

Se refiere a las pérdidas de carga o caída de presión que ocurre debido a la fricción del fluido a medida que fluye a través de las tuberías, accesorios y componentes del sistema. Esta depende de varios factores como longitud y diámetro de la tubería, accesorios y componentes en el sistema, velocidad del fluido, tipo de tubería y rugosidad.

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

Dónde:

R : Resistencia de la red de succión y descarga (s^2/m^5).

Energía necesaria

El cálculo de la energía necesaria de un sistema de bombeo implica considerar diferentes factores como la altura de elevación, el caudal y la resistencia de la red.

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

Dónde:

H_{red} : Energía necesaria que debe alcanzar el fluido (m).

Potencia hidráulica del sistema

La potencia hidráulica del sistema es la cantidad de energía que se transfiere o se convierte en un sistema por unidad de tiempo, para determinar la capacidad de trabajo del sistema y su eficiencia (Barreda, 2012).

$$N_h = Q_{op} \cdot H_{op} \cdot \gamma$$

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Dónde:

N_h : Potencia que se le agrega al fluido (kW).

γ : Peso específico del fluido que circula a través de la bomba (N/m³).

H_{op} : Altura de operación (m).

Potencia del motor

La potencia del motor se refiere a la cantidad de energía que el motor debe suministrar para impulsar la bomba y mover el fluido a través del sistema, esta tiene en cuenta la eficiencia proporcionada por la bomba y el rendimiento del motor que se puede encontrar en el rango de (90–98 %) según la norma 60034:30:1 (IEC, 2014).

$$N_m = \frac{N_b}{\eta_m}$$

Dónde:

N_m : Potencia del motor (kW)

N_b : Potencia de la bomba (kW)

η_m : Rendimiento del motor (%).

Condición de cavitación

La cavitación ocurre en la sección dónde el líquido se acelera hacia el impulsor (línea de succión).

$$\sum h = \lambda_{succ} \cdot \frac{L_{eqTsuc}}{DN_{succ}} \cdot \frac{v_{succ}^2}{2 \cdot g}$$

Dónde:

$\sum h$: Pérdidas hidráulicas locales por longitudes equivalentes de tubería

L_{eqTsuc} : Longitud equivalente total en la tubería de succión (m)

DN_{succ} : Diámetro normalizado en la tubería de succión (m)

v_{succ} : Velocidad en la tubería de succión (m/s).

Los efectos inmediatos son la pérdida de eficiencia y erosión en el impulsor. Esta condición se puede medir mediante la ecuación:

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} \pm h_{succ} - \sum h - \frac{P_v}{\gamma}$$

Dónde:

$NPSH_d$: Carga de succión neta demandada

P_{atm} : Presión atmosférica (Pa)

P_v : Presión de vapor (Pa).

$$NPSH_d > NPSH_r + 0,5$$

Costo de bombeo

El costo de bombeo puede estimarse considerando aspectos como la tarifa eléctrica, el tiempo de trabajo de la bomba, la potencia hidráulica requerida, el rendimiento del motor y la bomba que influyen en la eficiencia energética, como se muestra en la ecuación:

$$C_b = \frac{T_{elect} \cdot t_w \cdot N_h}{\eta_b \cdot \eta_m}$$

Dónde:

C_b : Costo de bombeo.

T_{elect} : Tarifa eléctrica del hospital (cup/kWh)

t_w : Tiempo de trabajo de la bomba (h/año)

N_h : Potencia hidráulica (kW).

η_b : Rendimiento de la bomba (%).

Costo total de bombeo

El costo total de bombeo tiene en cuenta el costo de bombeo, el caudal de operación y la longitud como se muestra en la ecuación:

$$CT = \frac{C_b}{Q_{op} \cdot L}$$

Dónde:

Q_{op} : Caudal de operación de la bomba (m³/h)

L : Longitud (m).

Resultados y discusión

Cálculo del diámetro de la tubería

Para determinar los diámetros de las líneas de tuberías de succión y descarga, donde con el caudal requerido de $0,083 \text{ m}^3/\text{s}$ y las velocidades recomendadas se seleccionan el rango, para la succión $1,5 \text{ m/s}$ y para la descarga $2,5 \text{ m/s}$, dando como resultado el diámetro para la succión $0,266 \text{ m}$ y para la descarga $0,206 \text{ m}$.

Normalización de los diámetros

Luego de calculado los diámetros se deben normalizar a los tamaños estándar que han sido aceptados y adoptados por las industrias, para ello se utiliza el catálogo de dimensiones de tubos según Octal (2018).

Tabla 2. Diámetros del sistema preliminar y el de funcionamiento

Sistema	Diámetro de succión (m)	Diámetro normalizado de descarga (m)
Diseño preliminar	0,250	0,200
Sistema en funcionamiento	0,200	0,150

En la tabla 2 se muestran los valores de los diámetros normalizados para el sistema preliminar y los diámetros del sistema en funcionamiento. Donde se observa que existe diferencia entre estos, tanto para la succión y descarga. Al ser más pequeños de lo que se diseñaron originalmente, esto tiene implicaciones como pérdidas de cargas excesivas por la fricción del flujo del fluido contra las paredes internas de la tubería, pérdida de presión y la reducción del caudal demostrando que la bomba está entregando menos líquido del esperado.

Cálculo de las velocidades en las líneas de tubería

Para el cálculo de las velocidades se relaciona el caudal requerido de $0,083 \text{ m}^3/\text{s}$ y los diámetros normalizados para el sistema, en la succión $0,250 \text{ m}$ y en la descarga $0,200 \text{ m}$. Realizado el cálculo se obtiene una velocidad de $1,698 \text{ m/s}$ para la succión y $2,653 \text{ m/s}$ para la descarga.

Cálculo de la energía necesaria

Calcular la energía necesaria para un sistema de bombeo depende de varios factores como el caudal del fluido, la resistencia de la red, las pérdidas de energía en las tuberías

y accesorios, las velocidades y diámetros en las líneas de succión y descarga. En la tabla 3 se especifica los parámetros necesarios para el cálculo de la energía, al igual que el resultado de estos para la succión y descarga dónde realizado el cálculo, con resultado de 19 m de altura de elevación que debe vencer el sistema y con la suma de la resistencia de la red para la succión y descarga obteniendo una resistencia total.

Tabla 3. Resultados del cálculo para determinar la energía necesaria

Parámetro	Resultados		UM
	Succión	Descarga	
Reynolds	474904,5	593630,7	-
Coefficiente de fricción	0,01205	0,011399	-
Longitud equivalente	117,5	66,4	m
Longitud equivalente total	121,5	116,4	m
Resistencia de la red	123,90	342,6	s ² /m ⁵

Curva característica del sistema de bombeo

La curva característica es una representación visual de cómo varía el caudal y la altura en función de la bomba y el sistema en el que está instalada. Para obtener esta curva, se realizan pruebas en diferentes puntos de operación, generando distintos caudales y alturas como se muestra en la figura 1. Los valores correspondientes a la curva característica en diferentes condiciones se encuentran detallados en la tabla 4.

Tabla 4. Datos de la curva característica del sistema

Q(m ³ /h)	0	150	300	450	600
Hnec(m)	19	19,96	22,24	25,59	29,90

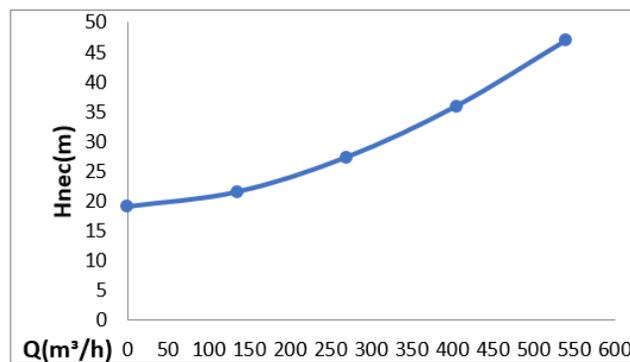


Figura 1. Curva característica del sistema.

Selección del tipo de bomba

La selección del tipo de bomba y su diseño se realiza basándose en los datos de partida: caudal, altura y número de revoluciones, el cual indica que tipo de bomba se necesita para las condiciones dadas. Se selecciona la bomba DIN: FOOD 125:100:315 con 300

m³/h de caudal requerido y 22,7 m de energía necesaria. A partir de las especificaciones de la bomba se selecciona el diámetro del impulsor de 280 mm como se muestra en la figura 2, como también el rendimiento de esta para un 73 % (Inoxpa, 2020).

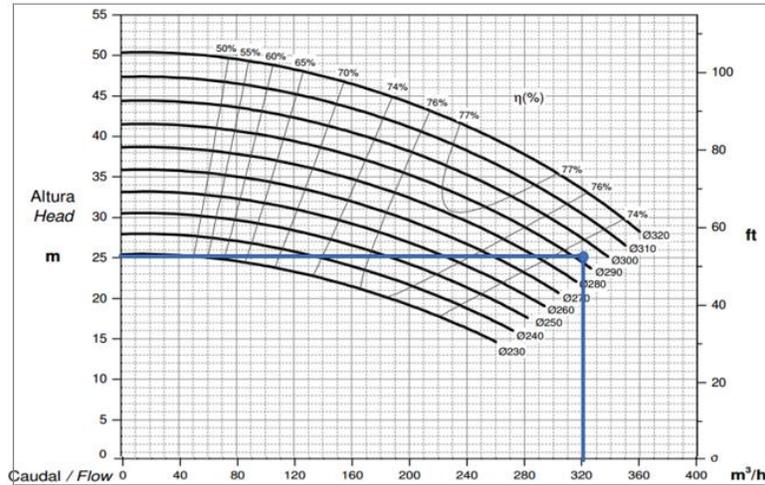


Figura 2. Curvas de rendimiento de la bomba DIN:FOOD 125:100:315 (Inoxpa, 2020).

Se observa que tanto en el sistema en funcionamiento actual como en el diseño preliminar se ha seleccionado el mismo modelo de bomba DIN: FOOD 125:100:315, sin embargo, hay algunas diferencias significativas en términos de rendimiento y energía necesaria entre ambos casos como se muestra en la tabla 5, lo cual podría deberse a las variaciones en los diámetros de las tuberías.

Tabla 5. Datos para la comparación de los sistemas en rendimiento y altura

Sistemas	Rendimiento (%)	Altura necesaria (m)
Sistema preliminar	73	22,7
Sistema en funcionamiento	65	17

Punto de operación de la bomba

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviará cuando se instale en un sistema dado, este se determina donde se intercepta la curva de la bomba con la curva característica (Figura 3). La tabla 6 muestra los valores de la curva a partir de la selección del diámetro de rodete de acuerdo a la figura 1.

Tabla 6. Datos de la curva de la bomba DIN: FOOD 125:100:315

Q(m ³ /h)	0	80	160	240	320
Hnec(m)	39	38	35	29	22

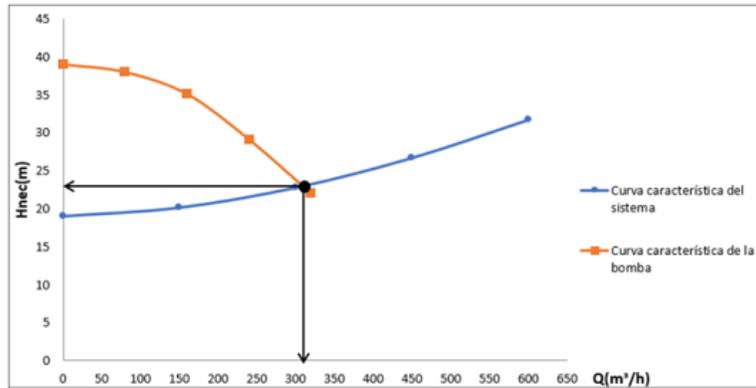


Figura 3. Punto de operación de trabajo de la bomba.

De acuerdo con el punto de operación la bomba trabaja a 310 m³/h de caudal de operación y 23 m de altura de operación. De la hoja de especificaciones de la bomba se selecciona de la potencia para un valor de 27 kW y carga de succión requerida de 6 m.

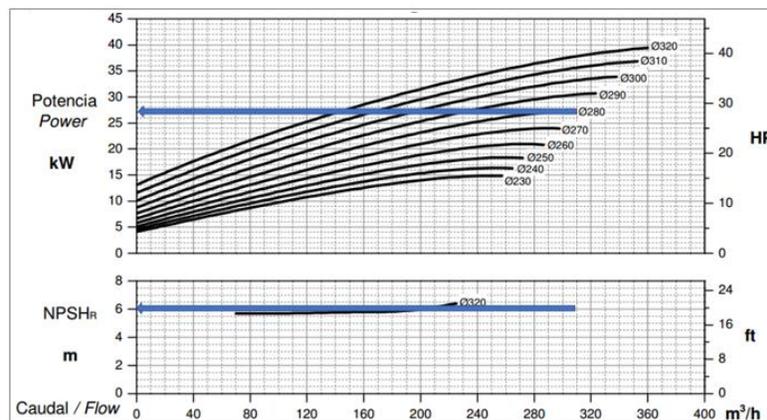


Figura 4. Datos de potencia y carga de succión requerida de la bomba DIN:FOOD 125:100:315 (Inoxpa, 2020).

La inadecuada selección de los diámetros de las tuberías de succión y descarga del sistema en funcionamiento han provocado disminuciones en el rendimiento y la altura de las tuberías, lo que a su vez ha ocasionado una reducción en la potencia de la bomba, como resultado la bomba en funcionamiento no está proporcionando el flujo de agua que realmente debería estar suministrando.

Potencia hidráulica del sistema

Se calcula la potencia hidráulica del sistema donde el caudal de operación y la altura de operación se obtuvo mediante la gráfica 2 y el peso específico del agua donde la

multiplicación de la densidad del agua es de 997 kg/m³. Al realizar el cálculo se obtiene un valor de 19,371 kW para el diseño preliminar y para el sistema en funcionamiento de 11,547 kW con los datos nominales de la bomba.

Selección del motor de la bomba

Para seleccionar el motor adecuado para la bomba se calcula la potencia para 27 kW y el rendimiento con un 90 %, teniendo como resultado 30 kW de potencia. Para esta condición se selecciona el modelo 1LE0141:IE2:2AA46:4AA4 con 30 kW de potencia, tamaño constructivo 200L, número de revoluciones 3558 rpm, eficiencia de 91,7 %, torque nominal 80,5 Nm, un peso de 260 kg y corriente nominal de 220 V a 96 A.

Con las características constructivas de los motores de ambos sistemas de bombeo es probable que el motor seleccionado preliminarmente de 30 kW sea el más adecuado para la potencia requerida de la bomba y no el motor del sistema de bombeo en funcionamiento de 18,5 kW al no ser lo suficientemente potente garantizando la demanda requerida. La figura 5 muestran las características constructivas de ambos motores reflejando la diferencia de ambos.

Potencia kW Hp	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Red Speed rpm	Eficiencia 100% %	Factor de potencia	Corriente nominal 220V A 380V A 440V A	Torque nominal Nm	Datos de arranque			Peso IM B3 kg			
								Corriente de arranque x In	Toque de arranque x Tn	Toque Máximo x Tn				
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
Sistema preliminar														
18,5	25	1LE0141-1DA46-4AA4	160L	3530	91,0	0,86	63	36	31,5	50	7,5	2,3	3,5	115
Sistema en funcionamiento														
30	40	1LE0141-2AA46-4AA4	200L	3558	91,7	0,89	96	56	48	80,5	8,5	3	3,5	260

Figura 5. Datos constructivos de los motores de los sistemas (Siemens, 2019).

Cálculo de la condición de cavitación

La cavitación ocurre cuando la presión del líquido cae por debajo de su presión de vapor, formando burbujas que pueden colapsar violentamente cuando llegan a una zona de alta presión, generando daños en la bomba. Para el cálculo de cavitación se tiene en cuenta las pérdidas hidráulicas locales por longitudes equivalentes de tubería para un coeficiente de fricción en la tubería de succión de 0,012 05, longitud equivalente total en la tubería de succión de 121,5 m, diámetro normalizado en la tubería de succión de 0,250 m y la velocidad de 1,698 m/s, teniendo como resultado 0,860 597 m para las pérdidas hidráulicas locales.

Tabla 7. Datos para el cálculo de la ausencia de cavitación

Parámetro	Valor	UM
Presión atmosférica	101300	Pa
Peso específico	9780,57	N/m ³
Altura de succión	-2	m
pérdidas locales	0,860 597	m
Presión de vapor	3290,5	Pa

Con los valores de la tabla 7 se calcula la cavitación obteniendo 7,16 m para la carga de succión neta demandada, sustituyendo esos valores en la condición de ausencia de cavitación quedando (7,16 m > 6,5 m) demuestra que el sistema preliminar no cavita.

Cálculo del costo de bombeo

Para el cálculo del costo de bombeo se considera la tarifa eléctrica del hospital de 0,177 cup/kWh, el tiempo de trabajo de la bomba en funcionamiento 2160 h/año y los valores de los parámetros que se exponen en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de los parámetros para calcular el costo de bombeo.

Parámetro	Sistema en funcionamiento	Sistema preliminar
Potencia hidráulica	11,547 kW	19,371 kW
Rendimiento de la bomba	65 %	73 %
Rendimiento del motor	91 %	91,7 %

El costo de bombeo para el sistema preliminar de 11063,355 cup/año y para el sistema en funcionamiento de 7463,481 cup/año. Los valores indican un aumento del costo en el sistema preliminar, dado que la bomba y el motor seleccionados tienen una mayor eficiencia de trabajo.

Cálculo del costo total de bombeo

Para el costo total en donde el costo de bombeo de ambos sistemas y el caudal que se multiplica por 24 horas que tiene un día y 365 días que tiene un año se obtiene que para el sistema funcionamiento tiene un costo total de bombeo de $3,24 \cdot 10^{-7}$ cup/m⁴ y para el sistema preliminar de 4,65 cup/m⁴.

Análisis de los resultados

La evaluación de ambos sistemas determinó deficiencias en el sistema en funcionamiento comenzando por los diámetros de las tuberías de succión y descarga conduciendo a una disminución en el caudal, altura necesaria y rendimiento del sistema, y en la inadecuada selección del motor de la bomba.

El sistema de bombeo del Hospital Pedro Agustín Pérez cumple con las exigencias de la demanda que se desea, aunque puede estar sobre exigido al no haberse tenido en cuenta todos los parámetros de diseño durante su instalación. En base a esto se sugieren como alternativas para su mantenimiento:

- Corregir las diferencias de diámetros mediante la instalación de tuberías de tamaño adecuado.
- Monitorear regularmente el rendimiento del sistema observando la presión y el caudal entregado por la bomba en diferentes puntos del sistema.
- Realizar inspecciones visuales regulares de las tuberías de succión y descarga para detectar posibles daños como fugas o deformaciones.
- Seleccionar adecuadamente el motor para la bomba considerando que cumpla con los requisitos del sistema mediante la potencia requerida y la eficiencia energética según catálogos de fabricación.

Conclusiones

Se analizó la inadecuada selección de los diámetros de las tuberías de succión y descarga del sistema en funcionamiento que es una de las principales causas de la disminución del rendimiento de la bomba y su altura necesaria.

Se determinó mediante la evaluación del sistema de bombeo del Hospital Pedro Agustín Pérez con respecto a su diseño preliminar que este cumple con las exigencias de la demanda que se desea, aunque puede que esté sobre exigido al no haberse tenido en cuenta todos los parámetros de diseño.

Se sugirieron alternativas para su mantenimiento como corregir las diferencias de los diámetros, realizar inspecciones visuales regulares de las tuberías y seleccionar adecuadamente el motor para la bomba.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, J. A. (2022). *Qué es un sistema de bombeo y cuáles son sus componentes*. Montilla Digital. https://www.montilladigital.com/2022/07/que:es:un:sistema:de:bombeo:y:cuales.html&sa=U&ved=2ahUKewjm_p:4:K2AAxUKDOWKHQIgDdAQFnoECACQAg&usq=AOvVaw3LqpJOK1kNd4wR_KaUCh0P.

Barreda, Á. U. (2012). Método práctico de obtención de potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operación. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(3), 86-97. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/121>.

Fox, R., McDonald, A. & Pritchard, P. (2005). *Introduction to fluid Mechanic*. McGraw: Hill.

Inoxpa. (2020). DIN-FOOD 125-100-315. *Catálogos de Bombas Centrífugas*. <https://www.inoxpa.es/descargas/documentos/bombas/bombas:centrifugasaccept>.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2014). 60034:30:1. *Rotating Electrical Machines Part 2* (IEC 60034-2). Germany: IEC.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educación.

Nekrasov, B. (1968). *Hidráulica*. Mir.

Octal. (2018). Tabla de Dimensionamiento de Tubos (Medida para tubos cedula 40, 80) Octalacero <https://www.octalacero.com/dimensiones:de:tubos:cedula:40:80>.

Rodríguez, I., Rodríguez, M., Álvares, A., Zapata, N. F. & Vázquez, L. Comprobación de los parámetros de la bomba de trasiego de agua en el hospital de Moa. *Ciencia & Futuro*, 13(3), 381-396. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2356>.

Siemens. (2019). *Simotics, el portafolio de motores electricos más amplio del mundo Siemens*. www.motores.siemens.com.

Wordpress. (2009). *Hidráulica de tuberías y canales*. <https://operaciones1.files.wordpress.com/2009/05/material:parcial.pdf>.

Zertucha, I. J. & Borges, R. A. (2022). Aplicación HMI de software libre desarrollada en Python para monitorear un subsistema hidráulico del hospital pediátrico La Balear de La Habana. *Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*, 3(3), 1-17. <https://renia.cujae.edu.cu/index.php/renia/article/view/38>.