

*Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**Título: Evaluación de la bomba de la estación de bombeo Bello  
10 perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado  
de Matanzas.**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica**

**Autor: José Luis Fernández González**

**Tutor: Marta Valera de Armas**

*Matanzas, 2020*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

## RESUMEN

Mediante la ejecución de este trabajo de diploma el autor ha hecho un análisis general del rendimiento energético de la bomba de la estación de Bello 10 perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Matanzas, haciendo de ante mano una búsqueda previa de la documentación actualizada relacionada con el tema, realizando una serie mediciones y cálculos para conocer con que eficiencia se está explotando el sistema de bombeo y tomar medidas para mejorar su eficiencia, así como conocer su repercusión económica y ambiental. Para ello se utilizó el Flujómetro ultrasónico perteneciente a dicha empresa, que permite obtener parámetros como la velocidad del fluido, el flujo, la temperatura y otras series de parámetros que sin esta herramienta sería muy difícil de obtener y simplemente habría que suponerlos. Además de utilizar el Analizador de Redes Eléctricas que es un instrumento capaz de medir parámetros eléctricos.

**Palabras claves:** bomba, eficiencia, carga, tuberías

## **ABSTRACT**

By means of the realization of this diploma work, the author has made a general analysis of the energy yield of a pump in the station Bello 10 pertaining at Company Aqueduct and Sewerage of Matanzas. It was kept in mind a previous search of modernized documentation, carrying out a series of mensuration and calculations to know how it is exploiting the pumping system, and its economic and environmental repercussion and measures to improve its efficiency. For that were used a series of instruments, as the Ultrasonic Flowmeter. This allows us to obtain parameters like the flow, the speed of the fluid, its temperature and another series of parameters, those, which before they became difficult to calculate or it was simply necessary to suppose them and the Analyzer of Electric Nets, capable to measure electric parameters.

**Key words:** efficiency, head, pump, pipe.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
<b>1.1 Descripción general</b> .....	4
1.1.1 Concepto de bomba .....	4
1.1.2 Clasificación de bombas.....	4
<b>1.2 Bomba centrífuga</b> .....	5
1.2.1 Funcionamiento.....	5
<b>1.3 Partes de una bomba centrífuga</b> .....	6
<b>1.4 Parámetros de funcionamiento</b> .....	7
<b>1.5 Evaluación de bombas</b> .....	7
1.5.1 Selección de bombas.....	7
1.5.2 Trabajo conjunto bomba y sistema.....	9
1.5.3 Procedimiento de evaluación .....	9
<b>1.6 Instrumentos utilizados</b> .....	9
1.6.1 Caudalímetro .....	9
1.6.2 Analizador de redes.....	10
<b>1.7 Medidas que se utilizan para el ahorro de energía en sistemas de bombeo</b> .	11
<b>1.8 Mantenimiento de las bombas</b> .....	14
<b>1.9 Ventajas principales de las bombas centrífugas</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	17
<b>2.1 Metodología para el cálculo de la carga a entregar por la bomba al sistema, y obtener su eficiencia</b> .....	17
<b>2.2 Metodología para los cálculos económicos y medio ambientales.</b> .....	21
<b>2.3 Análisis de la bomba de Bello 10</b> .....	22
2.3.1 Caracterización de la instalación.....	22
2.3.2 Datos disponibles .....	22
<b>2.4 Curvas de operación de la bomba</b> .....	25
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....	28
<b>3.1 Resultados de los cálculos de la bomba</b> .....	28
<b>3.2 Selección de bombas de catálogo</b> .....	31
3.2.1 Selección de tres bombas KSB.....	32

<b>3.3 Resultado del cálculo económico y medio ambiental</b> .....	39
<b>Conclusiones</b> .....	40
<b>Recomendaciones</b> .....	41
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42
<b>ANEXOS</b> .....	44

## INTRODUCCIÓN

En un alto porcentaje de procesos a nivel industrial, está involucrado el transporte de un fluido de un lugar a otro. Para realizar este trabajo se hace indispensable la implementación de un sistema que aporte la energía requerida para producir el desplazamiento. En el caso de líquidos, el sistema se llama bombeo, y su componente principal es la bomba. Los equipos de bombeo se encuentran diseminados en múltiples áreas de la esfera productiva y de servicios de la sociedad. Por esta razón, el conocimiento y estudio de sus características y comportamiento reviste gran importancia hoy en día a las necesidades de las sociedades.

El uso eficiente de la energía está muy relacionado con la forma de evaluar y controlar las variables que participan en su proceso de conversión y para esto es conveniente tener en cuenta el comportamiento del sistema en general. (González, 2012); (Yiga, 2013)

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Matanzas posee 5 bombas que surten de agua a la ciudad de Matanzas ubicadas en las diferentes estaciones de bombeo instaladas cerca de los pozos de donde se extrae el indispensable líquido, de ellas, una está parada para darle mantenimiento, por lo que la carga de trabajo ha caído entre las otras bombas. Dos de ellas se instalaron hace dos años por lo que presentan buenos parámetros de eficiencia, pero están sobrecargadas, pues el sistema está pensado para que trabajen todas las bombas al mismo tiempo para disminuir las horas de explotación y el consumo de combustible, alargando así la vida útil de la máquina y ahorrando recursos indispensables para el país.

La bomba de la estación de Bello 10 lleva ocho años de explotación, ha provocado grandes gastos energéticos a la empresa, debido a la ineficiencia que ha presentado la misma y a que los salideros hacen necesario bombear por más tiempo. De esta situación surge el siguiente problema:

**Problema científico:** Es necesario analizar el rendimiento de la bomba que se encuentran en la estación de bombeo Bello 10 perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Matanzas utilizando instrumentos de medición de gran precisión debido al desaprovechamiento energético.

**Hipótesis:** Será posible lograr analizar el rendimiento de la bomba que se encuentran en la estación de bombeo Bello 10 perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Matanzas utilizando instrumentos de medición de mayor exactitud.

**Objetivo:** Evaluar la bomba a partir de datos reales de funcionamiento de flujo y carga.

#### **Tareas específicas:**

- Realizar un estudio bibliográfico del tema.
- Realizar la medición de flujo mediante el Flujómetro Ultrasónico.
- Realizar la medición de los parámetros eléctricos de la bomba en funcionamiento con el Analizador de Redes.
- Evaluar la bomba y su rendimiento.
- Medición de parámetros y su análisis
- Cálculos: análisis de tuberías, selección y cálculo económico.

#### **Resultados esperados:**

Mediante la realización de este trabajo de diploma se espera obtener como resultado los parámetros importantes acerca de la evaluación de la bomba cuyo fin es decidir si la misma se encuentra trabajando eficientemente, así como llegar a la conclusión si está es idónea con respecto a las dimensiones para las cuales está en funciones. También se espera utilizar

eficientemente la instrumentación para lograr así un procedimiento más eficiente a la hora de realizar este tipo de análisis.

### **Aspectos Metodológicos:**

Para desarrollar este trabajo de diploma se utilizaron una serie de instrumentos entre ellos el Flujómetro Ultrasónico y el Analizador de Redes, que facilitan en gran medida el análisis del comportamiento del flujo, así como el de la corriente eléctrica.

## **CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En este capítulo se le ofrecerá al lector información detallada de algunos conocimientos necesarios para la comprensión de la tesis, conocimientos que el autor ha conseguido de diferentes bibliografías haciendo una exhaustiva investigación.

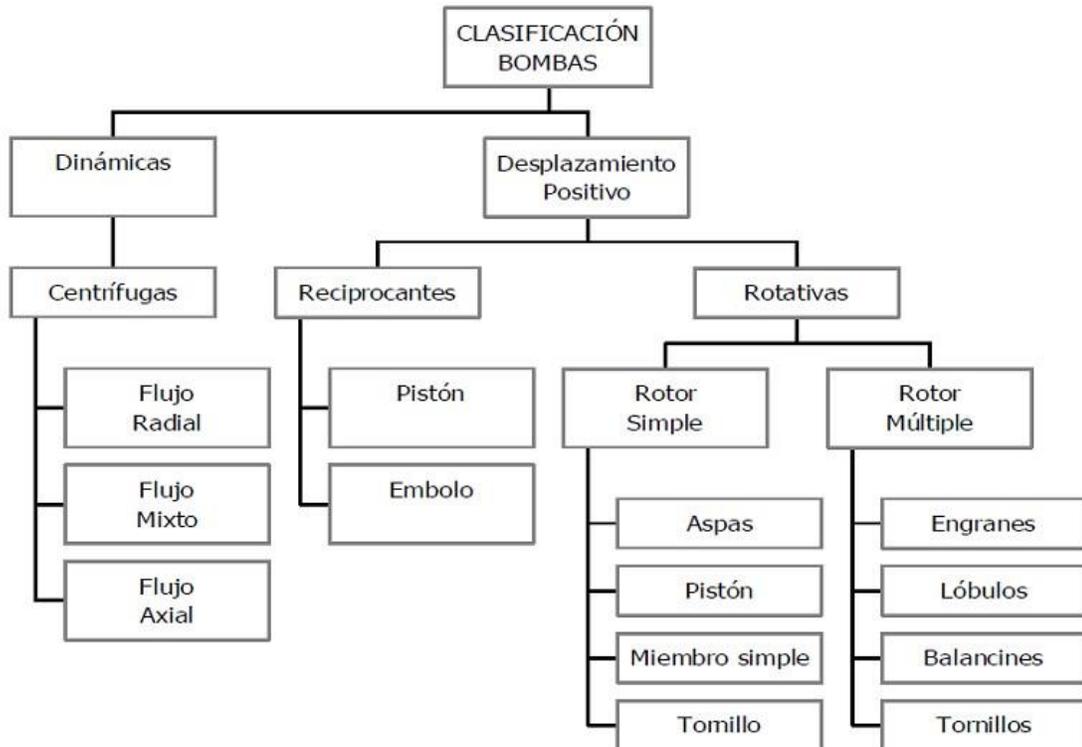
### **1.1 Descripción general**

#### **1.1.1 Concepto de bomba**

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, la cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática. (Fernández, 2017); (Toro, 2018)

#### **1.1.2 Clasificación de bombas**

Se clasifican según lo que muestra la siguiente figura. (Streeter, 1966)



*Figura 1.1 Diagrama de clasificación de las bombas*

## 1.2 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas son elementos de bombeo cinéticos, es decir, que añaden energía al fluido aumentando así su velocidad. La energía cinética la transmite al fluido el rotor a través de sus álabes movido por un eje. (Gómez y León, 2005); (Fernández, 2014); (Correa, 2016)

### 1.2.1 Funcionamiento

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de

flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en carga de presión a la salida. (Fernández, 2017); (Toro, 2018)

### **1.3 Partes de una bomba centrífuga**

**Carcasa:** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

**Impulsores:** Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

**Anillos de desgaste:** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

**Estoperas, empaques y sellos:** La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

**Flecha:** Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte el eje del motor.

**Cojinetes:** Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

**Bases:** Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella. (González, 2012); (Toro, 2018)

## 1.4 Parámetros de funcionamiento

Generalmente se consideran como parámetros que miden el funcionamiento de una bomba:

- **Velocidad específica:** es un parámetro que permite comparar el funcionamiento de las bombas y se calcula usando la velocidad, el caudal y la presión que genera la bomba en aquella zona de máxima eficiencia.

- **Caudal:** que es capaz de mover, expresado en las unidades pertinentes que pueden ser L/s o m<sup>3</sup>/s.

- **Presión** que le imprime al caudal, expresada generalmente en metros columna de agua (N/m<sup>2</sup>).

- **Altura neta** de succión positiva. Es la carga que debe tener una bomba en la succión, debido a que una bomba centrífuga, cuando el agua penetra a la tubería de succión se observa un aumento de velocidad del agua; este aumento trae consigo una disminución en la presión. Si la presión es menor que la presión de vapor del agua a esa temperatura, ésta se evapora y el flujo será de líquido y burbujas de vapor. Al seguir moviéndose, el agua, por el impulsor se lleva a una zona de mayor presión donde las burbujas de vapor se revientan causando ruido y llegando a causar daños al impulsor y bajan la eficiencia de la bomba. A este ruido que se percibe se conoce como cavitación. (Varas, 2008); (Santos y Muñoz, 2014); (Colectivo de Autores, 2005)

## 1.5 Evaluación de bombas

### 1.5.1 Selección de bombas

Para realizar una correcta selección de una bomba centrífuga es necesario conocer los requerimientos del servicio (carga y capacidad) para condiciones normales de operación, las características del fluido a bombear (temperatura, densidad, propiedades corrosivas y erosivas, toxicidad, (etcétera), las condiciones de instalación (carga de succión), condiciones de explotación (trabajo continuo, intermitente o esporádico) posibilidades de actuar bajo sobrecargas (por encima de las condiciones normales de operación), etcétera. Basados en estos datos se realiza la selección de la bomba, ocurriendo generalmente que más de un tipo de bomba puede satisfacer estas condiciones de servicio. Debe entonces pasarse al análisis de los restantes factores para tomar una decisión final. Las condiciones de explotación, por ejemplo, pueden resultar un factor decisivo para determinar el costo inicial de la bomba y su costo de explotación. Es evidente que posea un buen diseño y esté construida con gran precisión, debe poseer un costo inicial elevado, pero un alto rendimiento y seguridad en su trabajo; será aconsejable su empleo para un uso continuo y seguro. Si por el contrario se necesita una bomba para un uso esporádico, será más conveniente emplear una bomba cuyo costo inicial sea menor, aunque su explotación (por su menor tiempo de uso) sea más costosa (menor rendimiento y mayor costo de mantenimiento). La temperatura del fluido es otro factor importante a considerar. Generalmente, el fabricante de bombas establece la temperatura máxima de operación de la bomba, ya que la temperatura del fluido además de limitar la operación de la bomba desde el punto de vista de la cavitación, lo cual puede obligar a la instalación de una carga neta positiva en la succión de la bomba, también puede producir dilataciones térmicas inadmisibles en los elementos de la bomba, fundamentalmente en el sello y en los apoyos del eje, lo cual obliga a la selección de la bomba provista de sistemas de enfriamiento. Los fluidos agresivos requieren una cuidadosa selección de los materiales de la bomba o de revestimientos especiales como el teflón u otro material similar resistente a la erosión y corrosión de los materiales bombeados. Cuando el fluido bombeado presenta sólidos en suspensión, en dependencia del tipo y dimensiones de estos, será necesario que los impelentes sean del tipo abierto o semiabierto, o de los denominados intupibles. (Ramos, 1995); (Energy, 2004); (Alemán, 2017)

### **1.5.2 Trabajo conjunto bomba y sistema**

Para seleccionar la bomba hay que tener en cuenta el trabajo conjunto entre la bomba y el sistema; y por eso para realizar una selección adecuada se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Que la bomba ofrezca el flujo requerido en el sistema
- Que la bomba trabaje con una eficiencia cercana a la máxima
- Que la bomba no cavite

### **1.5.3 Procedimiento de evaluación**

Diferentes máquinas con una misma velocidad específica pueden tener rendimientos diferentes, determinados por la calidad del diseño o de la ejecución de la bomba. Se puede obtener una evaluación de la calidad de la bomba mediante el análisis de los datos técnicos de las propuestas o de los catálogos que se ofrezcan, independientemente de su operación en un sistema dado. El procedimiento consiste en:

1. Determinar la velocidad específica para los parámetros nominales de la máquina.
2. Hallar el rendimiento alcanzable.
3. Comparar los valores obtenidos. (Pérez, 2004)

## **1.6 Instrumentos utilizados**

### **1.6.1 Caudalímetro**

Los caudalímetros, como su nombre indica, son instrumentos concebidos para medir el caudal de fluido circulante por una tubería, generalmente agua y aire. El tipo de caudalímetro que se utiliza es un caudalímetro ultrasónico portátil, no intrusivo, para la medición del caudal volumétrico sin contacto con el líquido. Básicamente los caudalímetros de ultrasonidos pueden utilizarse en todos aquellos lugares donde tanto las

paredes de las tuberías como el líquido que circula por ellas permitan la propagación del sonido. El caudalímetro ultrasónico portátil consiste de un par de transductores instalados externamente a la cañería, es decir sin intrusión dentro del fluido. Estos transductores se deben colocar alineados y separados a una distancia que depende del diámetro de la cañería. Los transductores y el riel son montados a la cañería mediante un par de cadenas. Ambos transductores son conectados a la electrónica del caudalímetro, en la cual se configura el diámetro de la cañería, el tipo de cañería, el espesor y tipo de fluido, entre otros parámetros. (Toro, 2018)

El empleado por el autor fue el modelo ZML-100P que es usado principalmente para medir fluidos en varias industrias, además es de gran precisión. Este instrumento es muy popular en la industria para medir diferentes parámetros de funcionamiento en los equipos. (Shanghai Cixi, 2013)

### **1.6.2 Analizador de redes**

Los analizadores de redes eléctricas son instrumentos de medida que miden directamente o calculan los diferentes parámetros eléctricos de una red, normalmente en baja tensión: tensión, intensidad, potencia y energía activas y reactivas, factor de potencia, etc, así como los parámetros de calidad eléctrica, características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”: armónicos, interarmónicos, asimétricos, etc.

Todos los equipos de este tipo disponen, además, de la posibilidad de memorizar y/o registrar dichos parámetros mediante diversas funciones de programación. En este caso se ha usado el modelo Metrel que se ha conectado al cuadro eléctrico de las bombas.

El equipo está compuesto por:

- El equipo registrador/analizador

- Tres pinzas amperimétricas
- Cuatro pinzas voltimétricas
- Cable de conexión al PC y software específico POWER VISION para el tratamiento de datos (Toro, 2018)

Los instrumentos de la serie Power Q (PowerQ y PowerQ Plus) son aparatos portátiles multifunción para la medición y el análisis de sistemas eléctricos trifásicos. (METREL, 2007)

### **1.7 Medidas que se utilizan para el ahorro de energía en sistemas de bombeo**

A continuación, se le ofrece al lector un resumen de las principales medidas para el ahorro de energía en sistemas de bombeo, ordenadas en orden creciente en cuanto a la inversión requerida para su implementación:

**Sacar de servicio bombas innecesarias:** Esta es una medida obvia, pero que muchas veces no se aprovecha. Si el exceso de capacidad en funcionamiento se debe a que los requerimientos de flujo varían, se puede pensar controlar el número de bombas en operación mediante un sistema automático, instalando sensores de presión e interruptores en una o más bombas.

**Restaurar las holguras internas de las bombas:** Esta medida se puede aplicar en los casos en que las características de una bomba hayan variado significativamente a causa de desgaste de las partes de la bomba, lo cual afecta sensiblemente las recirculaciones internas y su eficiencia.

**Recorte o cambio de impelentes:** Si la carga es excesiva se puede utilizar esta medida cuando el estrangulamiento no es suficiente para permitir sacar bombas de servicio. El

recorte de impelente es el método más económico para corregir el sobredimensionamiento de una bomba. La carga se puede reducir entre un 10 y un 50 % mediante el recorte del impelente, sin sobrepasar los límites establecidos por el fabricante para la carcasa dada.

**Reemplazo de bombas sobredimensionadas:** Las bombas sobredimensionadas constituyen la causa número uno de pérdidas de energía en los sistemas de bombeo. El reemplazo de bombas debe evaluarse con relación a otras alternativas de reducción de capacidad, tales como el recorte o sustitución de impelentes o el control de velocidad.

**Uso de bombas múltiples:** El empleo de varias bombas conectadas en paralelo ofrece una alternativa a los métodos de control de capacidad por estrangulamiento, recirculación o variación de velocidad. Los ahorros resultan de poder sacar de servicio una o más bombas a bajas demandas, logrando que las bombas en servicio operen a alta eficiencia. Un sistema con bombas múltiples debe considerarse en los casos en que la demanda se mantiene en periodos prolongados por debajo de la mitad de la capacidad unitaria de la bomba instalada.

**Usar una bomba “booster”:** El consumo de energía general del sistema puede reducirse significativamente si se emplea una bomba “booster” para suministrar el flujo a alta presión que requiere un consumidor específico, al permitir que el resto del sistema opere a una presión menor.

**Cambio de velocidad de la bomba:** Los accionamientos de velocidad variable permiten alcanzar los mayores ahorros de energía, al lograr acoplar la salida de la bomba con los requerimientos del sistema. No obstante, estos métodos requieren mayores inversiones que otros métodos de control de capacidad. (Lau, 2007); (González, 2012); (Atlántico y Occidente, 2015)

**Otras medidas que pueden contribuir al ahorro de energía son:**

- Revisar los filtros de la bomba. Limpiarlos con frecuencia para evitar que las obstrucciones ocasionen sobrecargas que aumenten innecesariamente su consumo de energía.
- Verificar periódicamente que no haya fugas en los empaques interiores. Estas últimas pueden ocasionar pérdidas de energía.
- Revisar toda la instalación de la tubería para verificar que no existan fugas, en especial en las uniones de los tramos de tubería. Los empaques viejos y gastados y las uniones flojas pueden ocasionar fugas, las cuales darán por resultado un mayor consumo eléctrico.
- La potencia nominal suministrada por el motor, debe ser igual a la que requiere la bomba para trabajar a su máxima eficiencia. Si es superior está gastando innecesariamente la energía.
- El motor debe estar perfectamente alineado con la bomba y montado sobre una superficie que reduzca las vibraciones, de lo contrario habrá un desgaste prematuro del eje, daños en los cojinetes y mayor consumo de energía de hasta un 5% sobre el consumo nominal.
- Es importante instalar controles automáticos para arrancar y parar el motor de la bomba. Así evitará que éste último siga consumiendo energía eléctrica cuando la bomba haya dejado de funcionar.
- Si los equipos existentes son antiguos, presentan un alto consumo y una baja eficiencia. Es recomendable sustituirlos por otros de menor consumo y mayor eficiencia.

- Seleccionar un lugar debidamente ventilado para evitar sobrecalentar el motor.
- Comprobar que, para las condiciones normales de operación (carga y gasto), la bomba opere con su máxima eficiencia. Solicite al proveedor las curvas de eficiencia.
- Los accesorios como válvulas, codos, uniones, reducciones, expansiones y filtros, son también fuente importante de pérdidas en las tuberías. Por eso debe usarse solo los accesorios necesarios. Por ejemplo, si no se requiere ajustes finos, una válvula de compuerta produce menos pérdidas que una de globo. (Tiravanti, 2008); (Fernández, 2014)

## **1.8 Mantenimiento de las bombas**

En condiciones ideales, las bombas pueden funcionar casi indefinidamente. En condiciones adversas, se descomponen a menudo. Si, por ejemplo, el fluido que se bombea es corrosivo o contiene abrasivos, la bomba necesitará un mayor mantenimiento al que se requiere bajo condiciones más favorables. Sin embargo, la vida de cualquier bomba se puede extender gracias a procedimientos apropiados de mantenimiento.

**Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento preventivo en bombas incluye una serie de medidas de verificación de la correcta operación de las partes que la componen. Estas medidas deben ser ejecutadas periódicamente y controladas mediante un programa de mantenimiento.

### **Entre las medidas de mantenimiento preventivo se encuentran:**

Semanal:

- Comprobar el libre movimiento de los casquillos de los prensa estopas.
- Revisar empaquetadura.

Anual:

- Revisar la bomba a fondo.
- Sacar los rodamientos para limpiarlos y ver si presentan fallas.
- Sacar empaquetadura y reponerla si es necesario.
- Lavar la cañería de drenaje, la de cierre hidráulico y la de enfriamiento del motor.

**Mantenimiento predictivo:** Consiste en el diagnóstico de operación de cada uno de los elementos que componen el sistema, teniendo en cuenta su vida útil, para realizar los reemplazos necesarios antes de que fallen las piezas

**Para realizar estos diagnósticos se utilizan métodos de análisis como:**

- Vibraciones y ruido.
- Placas radiográficas.
- Líquidos penetrantes.
- Termografía.

**Mantenimiento correctivo:** Reparación o cambio de piezas por mal funcionamiento o desperfecto. Suele ser muy costoso. Entre las piezas de una bomba que más fallan se encuentran los ejes, impulsores, rodamientos y empaques. (Washington, 2005); (Robledo, 2006); (Fernández, 2014)

## 1.9 Ventajas principales de las bombas centrífugas

- Sus sellos mecánicos no requieren de ajuste o mantenimiento. El riesgo de fugas está completamente erradicado. Esto significa que los líquidos peligrosos pueden ser bombeados sin derrames. Gracias a los sellos, nos deshacemos de las fugas, de la pérdida de fricción, desgaste y ruidos; asimismo, se proporciona una completa separación del líquido de la transmisión de la bomba. Esto asegura que casi el 100% de la potencia del motor se convierta en potencia de bombeo.
- No hay transferencia de calor desde el motor – la cámara de la bomba se separa del motor a través de un espacio de aire; proporcionando una barrera térmica.
- La separación completa de los medios de proceso significa que el líquido no puede filtrarse en el motor de la bomba.
- Reducción de la fricción.
- Caudal constante, presión uniforme, sencillez de construcción, tamaño reducido, bajo mantenimiento y flexibilidad de regulación.
- Uno de sus pocos inconvenientes es la necesidad de cebado previo al funcionamiento, ya que las bombas centrífugas, al contrario que las de desplazamiento positivo, no son auto aspirantes. (Fernández, 2014); (Artiles, 2018)

## CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODO

En el siguiente capítulo se expondrá la metodología de cálculo a seguir para realizar la evaluación general de las bombas, así como se mostrarán los datos de las mismas y como se analizaron cada una independientemente.

### 2.1 Metodología para el cálculo de la carga a entregar por la bomba al sistema, y obtener su eficiencia.

Partiendo de los datos anteriormente expuestos se realiza el cálculo de la carga que entrega la bomba al sistema según la ecuación de la energía mecánica.

$$\frac{P_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{\alpha_1 * (V)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{\alpha_2 * (V)^2}{2g} + \sum hf \quad (2.1)$$

Donde:

$P_1$  y  $P_2$  - Son las presiones en las superficies del pozo y la cisterna respectivamente

$\rho$  - Densidad del fluido. (agua)

$g$  - Aceleración de la gravedad.

$z_1$  y  $z_2$  - Altura o carga geométrica.

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$  - Factor de corrección de la energía cinética.

$V$  - Velocidad del fluido.

$H_b$  - Carga de la bomba.

$h_f$  - Pérdidas de la carga.

A continuación, se muestra la metodología de cálculo de las pérdidas de carga para cada tramo.

La velocidad del fluido para cada tramo se calcula:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (d)^2} \quad (2.2)$$

Donde:

$V$ : velocidad del fluido. (m/s)

$Q$ : flujo. (m<sup>3</sup>/s)

$d$ : diámetro de tubería. (m)

Para poder realizar el cálculo de las diferentes pérdidas es necesario conocer el régimen de flujo. Este se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.3)$$

Donde:

$Re$ - Número de Reynolds.

$\rho$  - Densidad del fluido. (agua a 200C es 998kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ - Viscosidad del fluido. (agua a 200C es 1,1x10<sup>-3</sup> Pa s)

Según (Streeter 1966) se cumple:

-Re<2100 flujo laminar.

-Re>4000 flujo turbulento.

Las pérdidas de carga se calculan según la siguiente ecuación:

$$\sum hf = hf_{tuberias} + hf_{accesorios}$$

$$hf = f \cdot \frac{L \cdot (V)^2}{2 \cdot g \cdot d} \quad (2.4)$$

Donde:

f- Factor de fricción.

d- Diámetro de la tubería.

L- Longitud total de la tubería.

El factor de fricción de la gráfica A-21b de (Crane, 2006) es solo para agua y está en función del material del tubo (de ahí sale la rugosidad  $e$ ) y del diámetro del tubo para flujo turbulento desarrollado; pero se verá afectado por un coeficiente de vejez del tubo que oscila de 3 a 5 y se escogerá el máximo por tener un tiempo de explotación de más de 20 años.

$$f = (3...5)f_{graf}$$

$$f = 5 \bullet f_{graf}$$

$$hf_{accesorios} = \frac{\sum K \bullet (V)^2}{2 \bullet g} \quad (2.5)$$

Donde:

K- coeficiente de resistencia hidráulica de los accesorios.

Para hallar las pérdidas de carga del sistema en general se suman las pérdidas de cada tramo:

$$\sum hf_{sistema} = \sum hf_{tramos}$$

Se prosigue con el cálculo de la carga de la bomba según la ecuación de la energía mecánica.

$$\frac{P_1}{\rho \bullet g} + z_1 + \frac{\alpha_1 \bullet (V)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho \bullet g} + z_2 + \frac{\alpha_2 \bullet (V)^2}{2g} + \sum hf$$

Después se calcula la eficiencia de la instalación:

$$Nel = \frac{\rho \bullet g \bullet Q \bullet Hb}{\eta_{inst}} \quad (2.6)$$

Despejando:

$$\eta_{inst} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_b}{N_{el}} \quad (2.7)$$

Ahora se calcula la eficiencia de la tubería.

$$\eta_t = \frac{N_a}{N_u} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta Z}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} = \frac{\Delta Z}{H} \quad (2.8)$$

Se calcula el rendimiento total del sistema:

$$\eta_s = \eta_t \cdot \eta_{inst} \quad (2.9)$$

Se determinan las pérdidas de potencia:

$$N_{per} = N_{el} \cdot (1 - \eta_s) \quad (2.10)$$

## 2.2 Metodología para los cálculos económicos y medio ambientales

Consumo eléctrico anual.

$$N_{el} * h_{trabajo} / dias + dias / año \quad (2.11)$$

Cálculo del costo energético anual.

$$Costo = Consumo * tarifa \quad (2.12)$$

Cálculo de las emisiones de CO2 a la atmósfera. A partir de los datos reales del consumo de combustible para la electricidad(entregada) en Cuba según (Arrastía, 2014), se calcula mediante la siguiente forma: 1127 gCO2/kWh.

## **2.3 Análisis de la bomba de Bello 10**

### **2.3.1 Caracterización de la instalación**

El sistema está compuesto por una cisterna de gran capacidad la cual está alimentada por las estaciones de bombeo de la Empresa Acueducto y Alcantarillados de Matanzas. En el mismo se encuentran 4 bombas, de las cuales 2 se encuentran conectadas en línea una a continuación de la otra y en paralelo a otras 2 que también se halla conectadas en línea. Las 4 bombas están en funcionamiento. El sistema de tuberías está compuesto en la succión por un tramo de 16 pulgadas y una de 14. En el de descarga tiene un tramo de 14 pulgadas, uno de 12 pulgadas, y otro de 14 pulgadas. Las bombas llevan instaladas un cheque de descarga para cuando las mismas dejen de funcionar, el agua que tiene el sistema no retroceda haciendo girar en sentido contrario el rotor dañando la empaquetadura de la bomba.

### **2.3.2 Datos disponibles**

#### **Datos técnicos del fabricante (motor):**

- Modelo: UMA 300D 175/42
- Potencia: 155kW
- Frecuencia de rotación: 1760 min<sup>-1</sup>
- Voltaje: 440V
- Frecuencia: 60Hz
- Eficiencia: 90%
- Factor de potencia: 0.83

#### **Datos técnicos del fabricante (bomba):**

- Modelo: BRY 504/2<sup>a</sup>
- Flujo volumétrico: 720 m<sup>3</sup>/h.
- Carga: 55 m
- Potencia del eje: 138kW
- Eficiencia: 80.3%
- n: 1760 rpm

### **Datos de las mediciones del sistema de tuberías.**

Los siguientes datos fueron tomados por medio de una instrumentación especializada lo que garantiza una mayor exactitud a la hora de realizar los cálculos.

#### **Bomba**

Q: flujo= 475.2m<sup>3</sup>/h

Nel= 134.6kW

Para realizar los cálculos de una forma organizada se dividió el sistema de tuberías en 5 tramos, dos de succión y 3 de descarga con cada uno de los accesorios que tienen los mismos, así como los diferentes valores de K (coeficientes de resistencia hidráulica) según (Crane, 2006)

#### **Tramo I (succión):**

**Diámetro:** 16" (0,406m)

**Longitud:** 48m

**Material:** acero al carbono estructural

**Accesorios:**

- 1 Válvula de compuerta. (k=0.11)
- 1 unión brida. (k=0.1)
- 1 codo 90 grados estándar. (k=51)

**Tramo II (succión):**

**Diámetro:** 14<sup>''</sup>(0,355m)

**Longitud:** 36,4 m

**Material:** acero al carbono estructural

**Accesorios:**

- 1 Válvula de compuerta. (k=0.11)
- 2 codos 45 grados estándar (k=0.52)
- 1 Válvula de retención de bronce roscada para 10.5 kg/cm<sup>2</sup>
- 1 codo 90 grados estándar. (k=51)

**Tramo III (descarga):**

**Diámetro:** 14<sup>''</sup>(0,355m)

**Longitud:** 406.3m

**Material:** acero al carbono estructural

**Accesorios:**

- 4 Válvulas de compuerta. (k=0.11)
- 8 codos 45 grados estándar (k=0.52)
- 2 codos 90 grados estándar. (k=51)
- 1 te estándar. (k= 1,1)

**Tramo IV (descarga):**

**Diámetro:** 12<sup>''</sup>(0,304m)

**Longitud:** 90.2m

**Material:** acero al carbono estructural

**Accesorios:**

- 1 Válvula de compuerta. (k=0.11)
- 1 ramificada en Y (k=0.52)
- 1 codo 90 grados estándar. (k=51)

**Tramo V (descarga):**

**Diámetro:** 14<sup>''</sup>

**Longitud:** 1334.3m

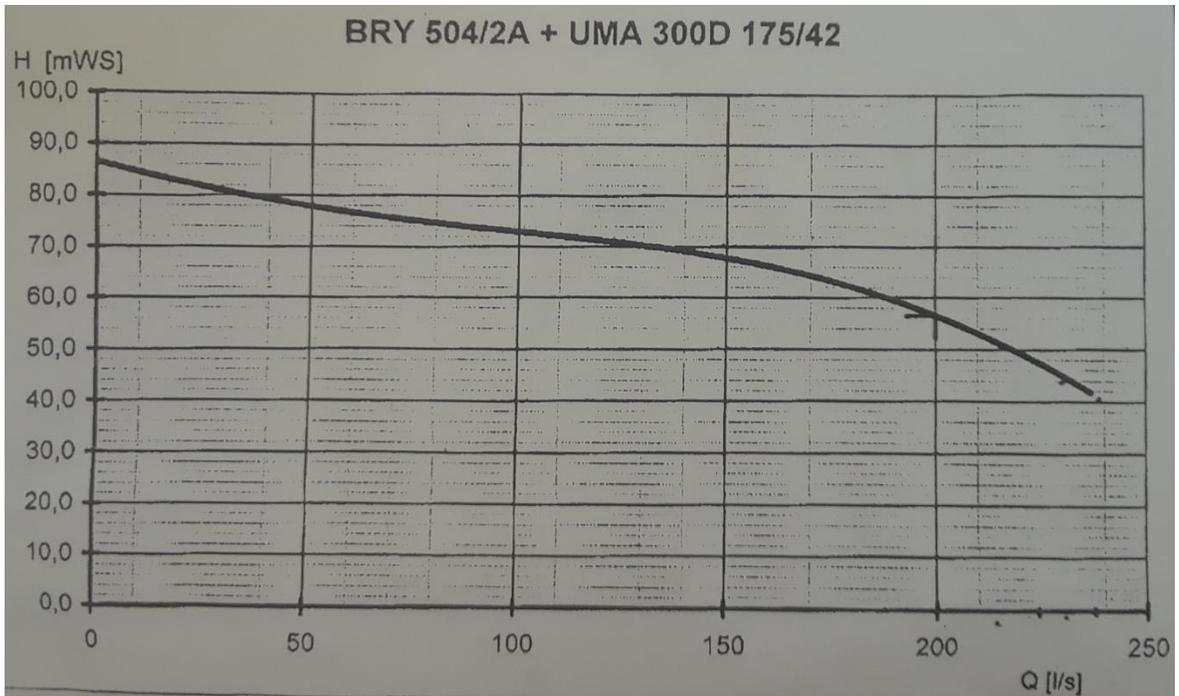
**Material:** acero al carbono estructural

**Accesorios:**

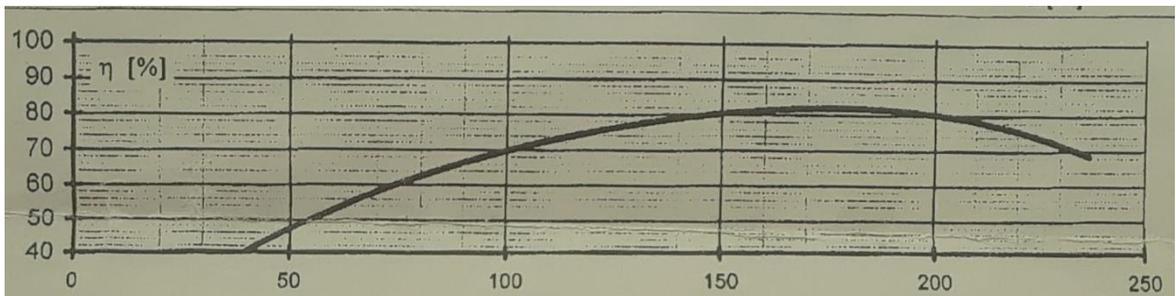
- 9 Válvulas de compuerta. (k=0.11)
- 1 codo 90 grados estándar. (k=51)
- 2 codos 45 grados estándar. (k=0.52)

**2.4 Curvas de operación de la bomba**

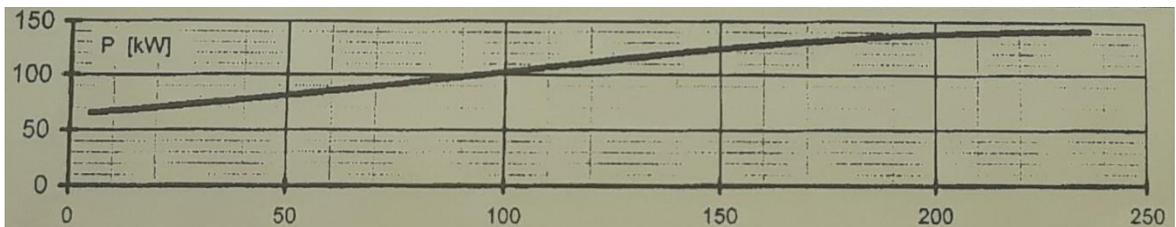
Curvas de la carga, la eficiencia, la potencia y la carga neta positiva a la aspiración contra el flujo de la bomba actual.



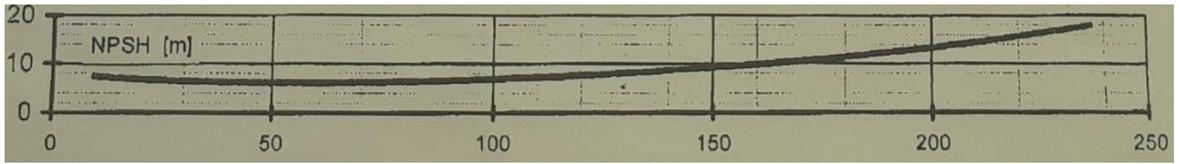
*Figura 2.1 Gráfico de la carga contra el flujo*



*Figura 2.2 Gráfico de la eficiencia contra el flujo*



*Figura 2.3 Gráfico de la potencia contra el flujo*



*Figura 2.4 Gráfico de la carga neta positiva de succión de la cabeza contra el flujo*

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el siguiente capítulo se expondrán los resultados obtenidos de los cálculos de los parámetros reales, los cuales, se mostrarán en una tabla resumen. Se seleccionarán del catálogo de bombas de KSB del 2019 una serie de bombas más modernas para su adquisición, que podrían reemplazar a la presente o instalarse por la que está en mantenimiento, con mejores características y parámetros de funcionamiento, así como con accesorios que facilitan el cumplimiento de los planes de mantenimiento para un ciclo de vida más óptimo y útil.

### 3.1 Resultados de los cálculos de la bomba

Como suposiciones se puede decir que:

- $P_1 = P_2 = P_{atm}$  por encontrarse el pozo y la cisterna abiertos a la atmósfera
- $V_1 = V_2 \approx 0$  las velocidades de ascenso y descenso son despreciables. Efecto piscina
- $\alpha_1$  y  $\alpha_2 = 1$

Entonces la ecuación de la energía mecánica para este caso queda:

$$z_1 + H_b = z_2 + \sum hf$$

$$H_b = z_2 + \sum hf - z_1$$

Los valores de  $z_1$  y  $z_2$  son 2m y 50m respectivamente.

#### Tramo 1.

Mediante la ecuación 2.2 se calcula la velocidad del fluido:

$$V = 1,547 \text{ m/s}$$

Para poder realizar el cálculo de las diferentes pérdidas es necesario conocer el régimen de flujo el cual se calcula a través de la ecuación 2.3

$$Re = 569841$$

El régimen de flujo es turbulento desarrollado por ser mayor que 4000

El factor de fricción se calcula mediante la ecuación:

$$f = (3...5)f_{graf}$$

$$f = 5 \bullet f_{graf}$$

$$f = 5 \bullet 0.0048$$

$$f = 0.024$$

Las pérdidas de carga por la tubería se calculan mediante la ecuación 2.4

$$hf_{tuberia} = 0.346m$$

Las pérdidas de carga por los accesorios se calculan mediante la ecuación 2.5

$$hf_{accesorios} = 0.087m$$

Las pérdidas de carga totales del tramo se calculan:

$$\sum hf^l = \sum hf_{tuberia} + \sum hf_{accesorios}$$

$$\sum hf^l = 0.432m$$

A continuación, se muestra una tabla donde se ilustran los resultados obtenidos por el cálculo de los demás tramos

*Tabla 3.1 Resultados para el cálculo por tramos*

	Velocidad del fluido (m/s)	Número de Reynolds	Factor de Fricción	Pérdidas de carga por tuberías (m)	Pérdidas de carga por accesorios (m)	Pérdidas de cargas totales (m)
Tramo II	1.336	430301	0.017	0.158	0.125	0.283
Tramo III	1.336	430301	0.017	1.771	0.203	1.974

Tramo IV	1.821	502251	0.011	0.564	0.192	0.756
Tramo V	1.336	430301	0.017	5.836	0.103	5.939

Para hallar las pérdidas de carga del sistema en general se suman las pérdidas de carga en cada tramo:

$$\sum hf_{sistema} = hf_{tramos}$$

$$\sum hf_{sistema} = 9.384m$$

Se prosigue con el cálculo de la carga de la bomba según la ecuación de energía mecánica:

$$z_1 + Hb = z_2 + \sum hf$$

$$Hb = z_2 + \sum hf - z_1$$

$$Hb = 50 + 9,384 - 2$$

$$Hb = 57.384m$$

Después se calcula la eficiencia de la instalación mediante la ecuación 2.7

$$\eta_{inst} = 0.55$$

Ahora se calcula la eficiencia de la tubería mediante la ecuación 2.8

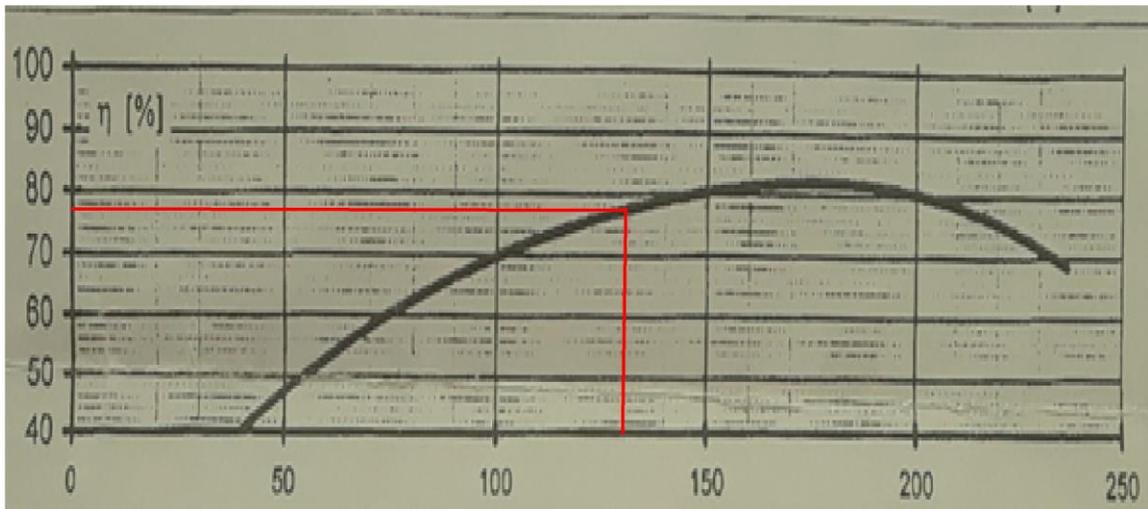
$$\eta_t = 0.84$$

Se calcula el rendimiento total del sistema mediante la ecuación 2.9

$$\eta_s = 0.46$$

Se determinan las pérdidas de potencia mediante la ecuación 2.10

$$N_{per} = 72.46Kw$$



*Figura 3.1 Gráfico de curva de la eficiencia contra el flujo donde se muestra el punto de operación de la bomba actual*

Teniendo en cuenta el tiempo que lleva la bomba funcionando y que lleva 6 meses sobrecargada de trabajo debido a que otra bomba a la que se le está dando mantenimiento general está parada, esta, todavía presenta índices de buena eficiencia, por lo que si se debió aumentar su carga de trabajo fue provocado por la razón ante expuesta, a lo que puede sumarse la existencia de algunos salideros en el sistema que ocasionen que se deba bombear por más tiempo. Por lo que se hace necesario la compra de otra bomba para evitar un desgaste mayor de las otras que trabajan en el sistema lo que a la larga traería más gastos que el costo por el pago de una nueva bomba

### **3.2 Selección de bombas de catálogo**

Basándose en los datos medidos del flujo y la potencia eléctrica de la bomba actual y la carga manualmente calculada se seleccionaron tres bombas del catálogo KSB de 2019 que cumplen con los parámetros exigidos.

Las bombas sumergibles para pozos de KSB se soportan en la fiabilidad de operación y una larga vida de servicio, siendo tan fiables por poseer filtros de aspiración reforzados, linternas de motor/ soporte de motor robustos, válvulas de retención integradas, impulsores por soldadura láser y protección contra giro en sentido inverso. Además, son bombas libres de mantenimiento lo que reduce los gastos de energía: la válvula de retención de baja de pérdida contribuye también al ahorro a largo plazo (Catálogo de bombas KSB, 2019)

### **3.2.1 Selección de tres bombas KSB**

Se hizo una selección de tres bombas del catálogo KSB del 2019 que mediante la adquisición de cualquiera de ellas se ofrecería una solución al problema. Las tres son bombas centrífugas de cuerpo segmentado, aspiración simple, de mono-etapa o multicelular, para la instalación vertical u horizontal. Disponibles con válvula de retención u opcionalmente boca de empalme y presentan los siguientes parámetros:

Capacidad (Q) hasta 400 m<sup>3</sup>/ h

Carga (H) hasta 434m

Velocidad(n) hasta 3500rpm

Temperatura del fluido hasta 50°C

A continuación, se ofrecen las curvas de las bombas seleccionadas:

**1- UPA 200B- 130/ 4e**

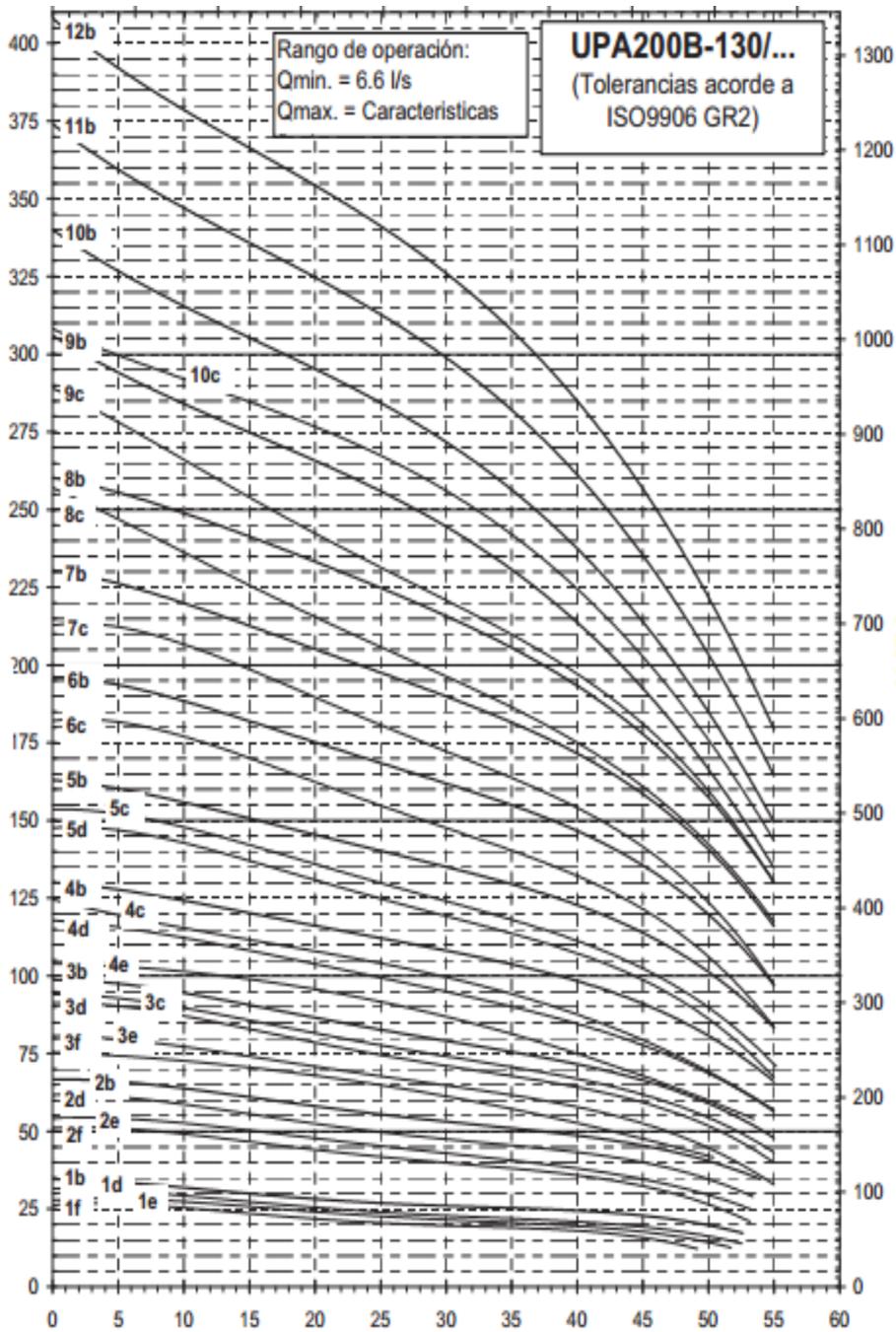


Figura 3.1 Gráfico de curva de carga contra el flujo

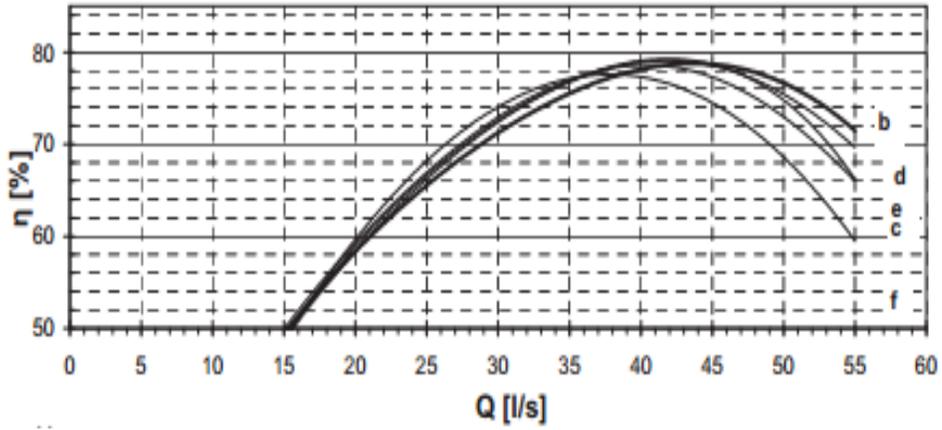


Figura 3.2 Gráfico de curva de la eficiencia contra el flujo

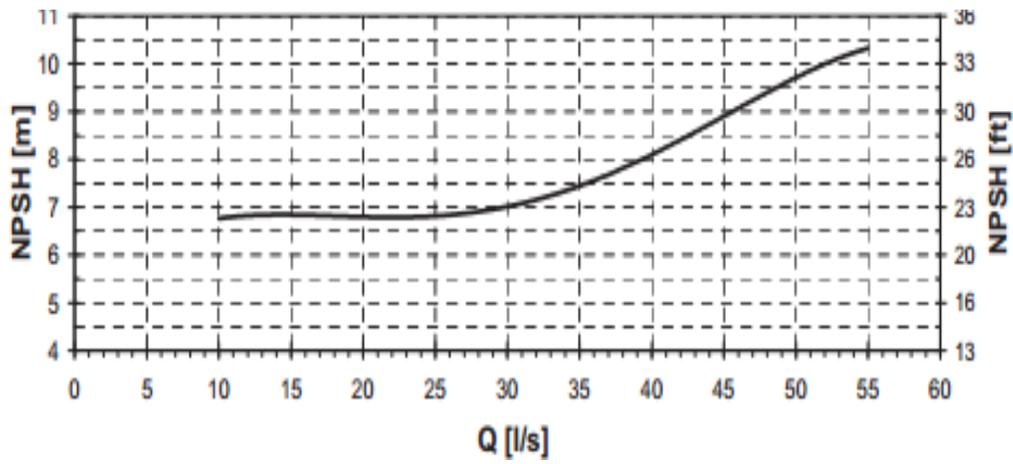


Figura 3.3 Gráfico de curva de la carga neta positiva de succión de la cabeza contra el flujo

2- UPA 250C- 120/ 3f

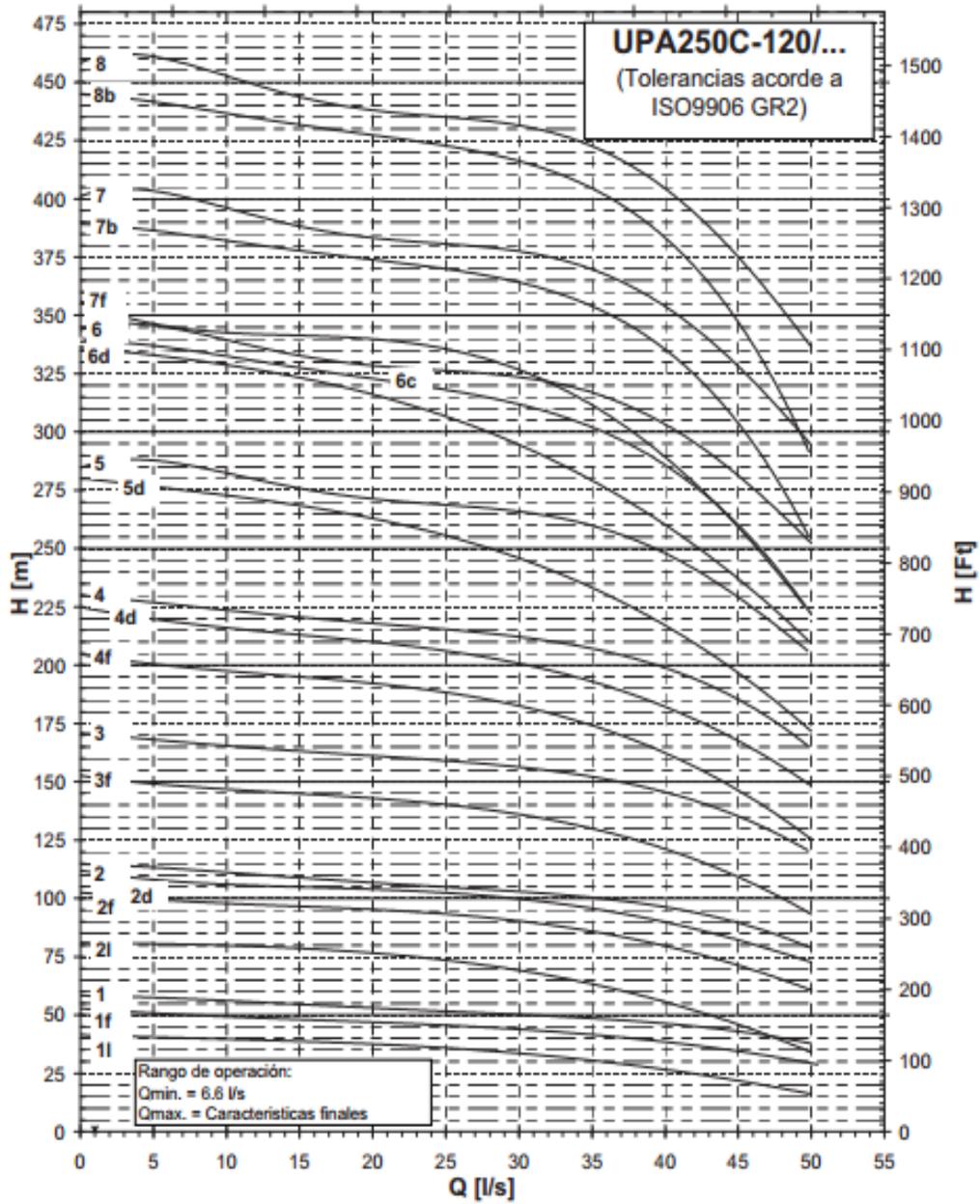


Figura 3.4 Gráfico de curva de la carga contra el flujo

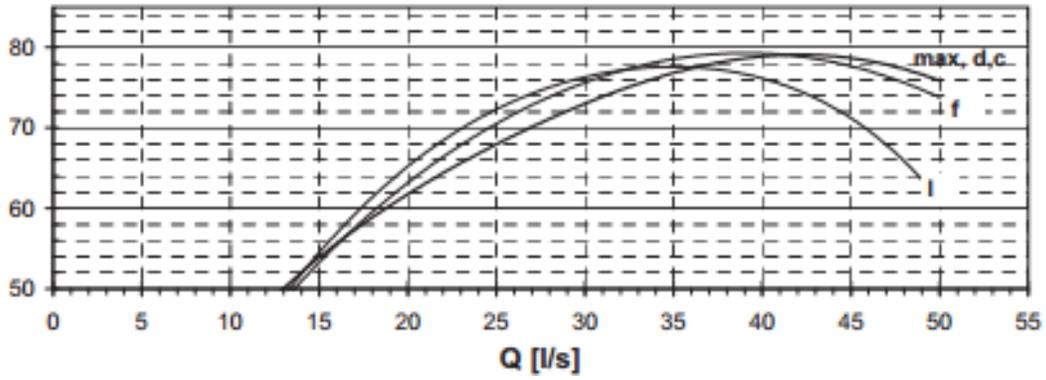


Figura 3.5 Gráfico de curva de la eficiencia contra el flujo

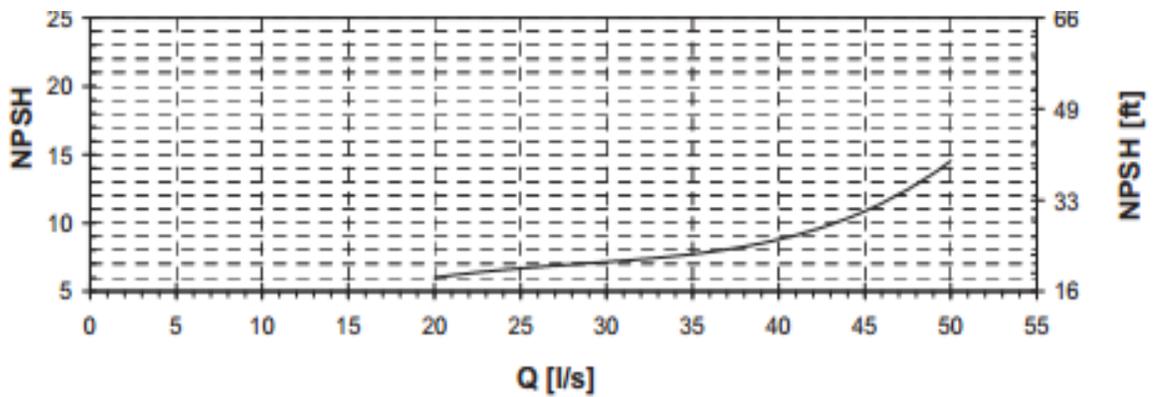


Figura 3.6 Gráfico de curva de la carga neta positiva de succión de la cabeza contra el flujo

### 3- UPA 250C – 150/3g

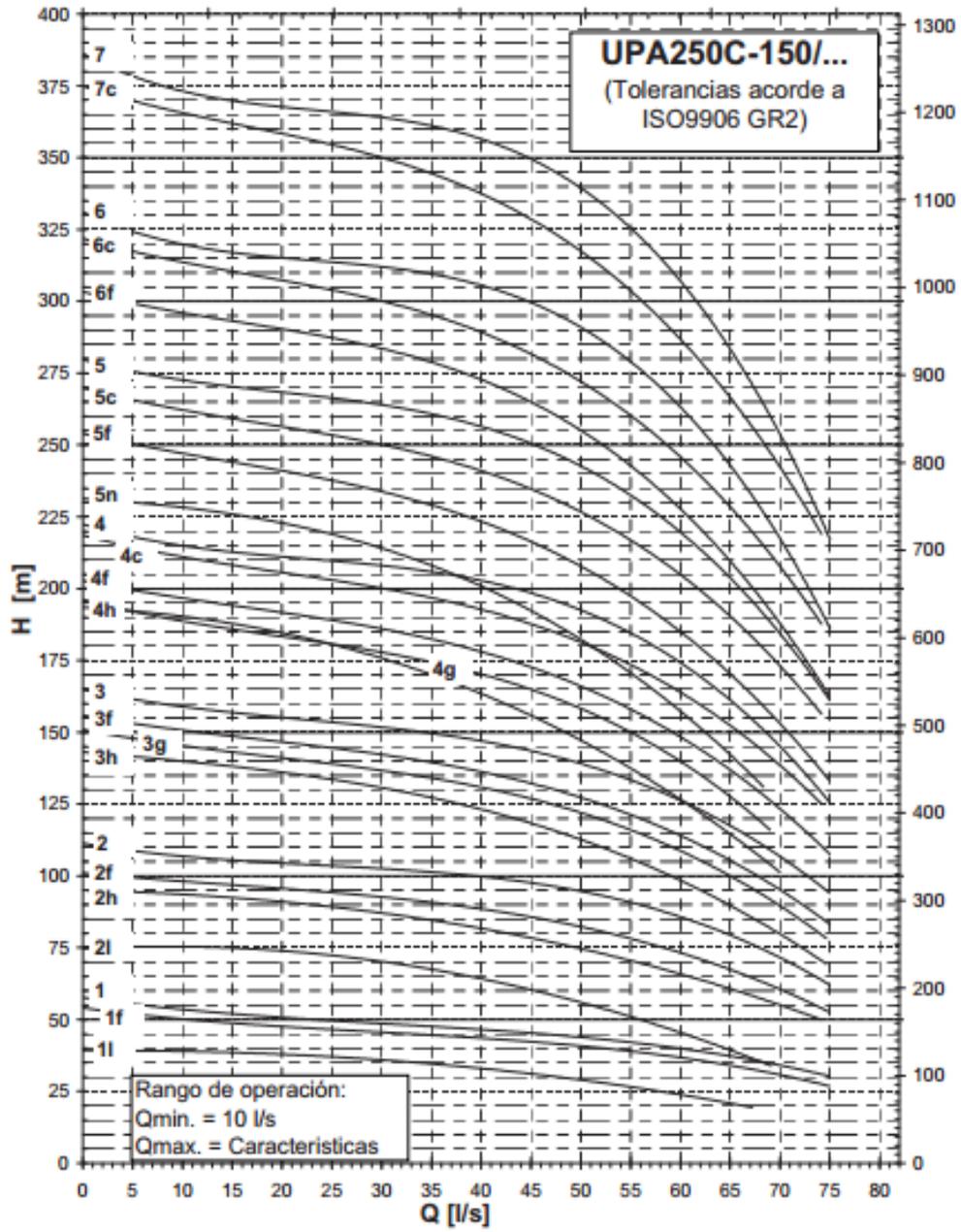


Figura 3.7 Gráfico de curva de la carga contra el flujo

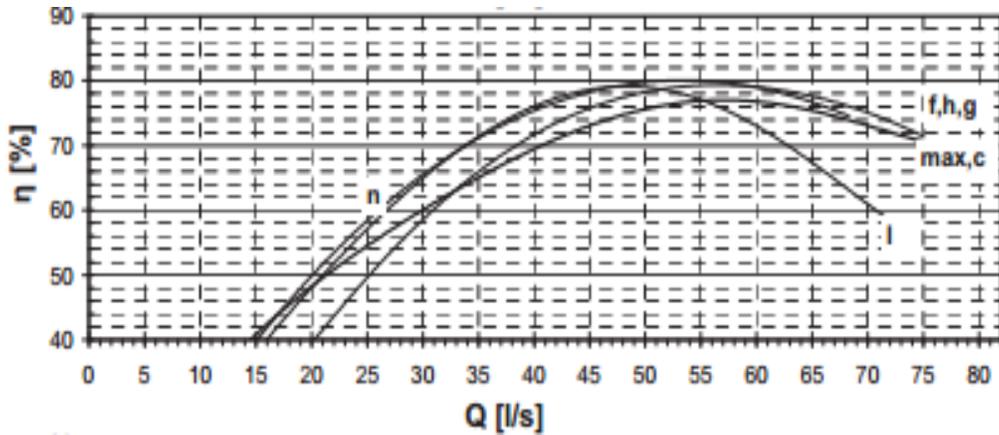


Figura 3.8 Gráfico de curva de la eficiencia contra el flujo

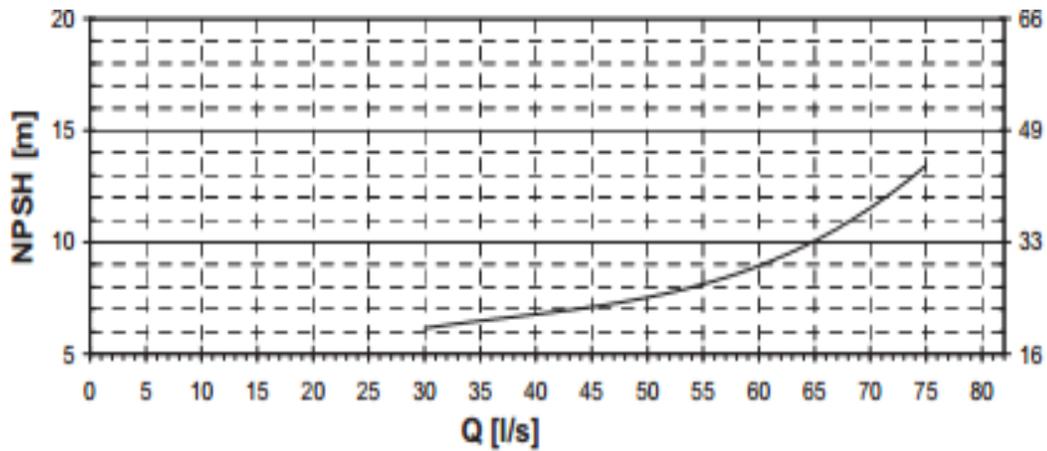


Figura 3.9 Gráfico de curva de la carga neta positiva de succión de la cabeza contra el flujo

De las tres el autor recomienda la adquisición de la bomba UPA 250C-150/3g por encima de la UPA 250C-120/3f y la UPA 200B-130/ 4e porque presenta una mejor eficiencia que las otras a la vez que cumple con los parámetros de carga y flujo que requiere el sistema.

También se propone que se compre de acero inoxidable completamente lo que elimina los gastos de mantenimiento debido a las características del material y al acabado suave y geometría altamente precisa de su diseño.

Tabla 3.2 Opciones de material

Bomba UPA	G	B	C2
	(Estandar)	(Bronce)	(CrNiMo)
Carcasa	Hierro gris (A48CL30) <sup>1)</sup>	Bronce (B584:C90500) <sup>2)</sup>	Acero CrNiMo (A743:CF8M) <sup>3)</sup>
Impulsor	Bronce (B584:C90500) <sup>2)</sup>		Acero CrNiMo (A743:CF8M) <sup>3)</sup>
Flecha	Acero Cr (A276:410Ti)		Acero Cr (A276:410 Ti) <sup>4)</sup>
Anillo de desgaste	Bronce (B271:C90500) <sup>5)</sup>		Acero CrNiMo (AISI 316)
Tornillo, birlos y tuercas	Gr. 2	Acero CrNi (AISI 304)	Acero CrNiMo (AISI 316)

### 3.3 Resultado del cálculo económico y medio ambiental

Teniendo en cuenta que la bomba de Bello 10 en funcionamiento trabaja como promedio 7 horas diarias por 365 días al año y el costo del kW-h es de \$ 0.18, se calculara el costo energético anual.

-Consumo energético.

$$Consumo = N_{el} * h_{trabajo} / dias * dias / año$$

$$Consumo = 134.6kW * 7h * 365$$

$$Consumo = 343903kW / h$$

-Cálculo del costo energético anual

$$Costo = Consumo * tarifa$$

$$Costo = 343903kW / h * \$0.18 / kW / h$$

$$Costo = \$61902 / año$$

-Cálculo del impacto ambiental

$$1127gCO_2 / kWh.$$

$$1127gCO_2 / kWh * 343903kW / año = 38757868KgCO_2 / año$$

## Conclusiones

- 1- La bomba de la estación de bello 10 presenta una eficiencia menor a la que requiere el sistema debido al tiempo de explotación de la misma
- 2- El sistema sobrecarga de trabajo a las bombas ya que en su diseño deben trabajar 5 bombas y no 4.
- 3- La instrumentación nueva ha sido de gran ayuda en el análisis de la bomba ya que facilita de gran manera el mismo.
- 4- Es necesario la adquisición de una nueva bomba sumergible para aliviar la sobrecarga de trabajo del sistema en general para ello seleccionó la UPA 250C-150/3g con los siguientes parámetros: Carga: 150m, Flujo: 400m<sup>3</sup>/h, Eficiencia: 80%.
- 5- Se demostró que la bomba de la estación de Bello10 tiene un gran impacto en la contaminación del medio ambiente debido a la gran emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## **Recomendaciones**

1. Realizar un análisis a las redes de distribución de agua que abastece la cisterna con el objetivo de repararlas llevando las pérdidas al mínimo.
2. Realizar un estudio mayor sobre el Analizador de Redes para conformar un manual en el futuro.
3. Respetar el plan de mantenimiento previo de los equipos.
4. Aplicarle un plan de mantenimiento general a la bomba de la estación en Bello 10.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-Alemán. (2017). *Metodología para la evaluación y ahorro de energía en sistema de bombeo centrífugo*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- 2-Arrastía. (2014). *Electricidad y emisiones de CO2*.
- 3-Artiles. (2018). *Procedimiento para el monitoreo de las bombas de alto consumo de energía de la CTC*. Antonio Guiteras, Camilo Cienfuegos.
- 4-Atlántico y Occidente. (2015). *Ahorro de energía en sistemas de bombeo*.
- 5-Catálogo de bombas KSB. (2019). Obtenido de [www.ksb.com](http://www.ksb.com)
- 6-Colectivo de Autores. (2005). *Ahorro de Energía en Sistemas de Suministro Eléctrico*. Cienfuegos, Cuba: Universidad de Cienfuegos.
- 7-Correa. (2016). *Proyecto de banco de pruebas para bombas centrífugas*.
- 8-Crane. (2006). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: McGraw-Hill.
- 9-Energy. (2004). *Variable speed pumping*.
- 10-Fernández. (2014). *Bombas Centrífugas y Volumétricas*.
- 11-Fernández. (2017). *Biblioteca sobre energía energética "Bombas"*.
- 12-Gómez y León. (2005). *Procesos virtuales. Evaluación de bombas, un caso de estudio*.
- 13-González. (2012). *Análisis de las posibilidades de mejorar la eficiencia de la instalación de bombeo de agua de la UMCC*. Matanzas.
- 14-Lau. (2007). *Trabajo de diploma*. Matanzas, Cuba.
- 15-METREL. (2007). Obtenido de Ljubljanska Cesta 77 1354 Horjul Eslovenia. PowerQ (MI2492) y PowerQ Plus (MI 2392) Manual de funcionamiento: [www.metrel.com](http://www.metrel.com)
- 16-Peréz. (2004). *Minería y Geología*.
- 17-Ramos. (1995). *Bombas, Ventiladores y Compresores*.
- 18-Robledo. (2006). *Análisis de Falla del eje de una Bomba Centrífuga*. Universidad Autónoma del Caribe Colombia.
- 19-Santos y Muñoz. (2014). *Procedimiento para la elaboración de la curva de NPSHr en bombas centrífugas a partir de parámetros adimensionales*.
- 20-Shanghai Cixi. (2013). Obtenido de TDS-100P Portable Ultrasonic Flowmeter User manual instrument Co, ltd: [www.gnflowmeter.com](http://www.gnflowmeter.com)
- 21-Streeter. (1966). *Mecánica de los Fluidos*. México: McGraw-Hill.
- Tiravanti. (2008). *Eficiencia en los sistemas de bombeo y de aire comprimido*.

22-Toro. (2018). *Evaluación de bombas en la sede Camilo Cienfuegos de la Universidad de Matanzas*. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.

23-Varas. (2008). *Bombas*.

24-Washington. (2005). *U.S.D.O.E Maintain Pumping Systems Effectively*.

25-Yiga. (2013). *Análisi de Sistema de bombeo de agua a la planta de tratamiento de residuales de la Empresa Comercializadora de Combustible de Matanzas*.

## ANEXOS

### Anexo # 1 Bombas UPA 200B-130 y UPA 250C-120



Fuente: Catálogo de bombas KSB 2019

Anexo #2: Diseño de una instalación vertical de una bomba sumergible para pozos profundos.



## Motor

Tipo de motor. . . . . Motor sumergible  
 tipo jaula de ardilla, 2  
 polos

Tipo de protección. . . . . IP 68

Frecuencia. . . . . 60 Hz

Tipo de corriente. . . . . Trifásica (3~)

Voltaje nominal U. . . . . 220 V, 440 V

Potencia nominal PN. . . . . hasta 225 Kw. (301.7 hp)

Frecuencia de arranques. . . . . 15/h <sup>1)</sup> y 10/h <sup>2)</sup>

Retrazo mínimo

Antes de reiniciar . . . . . 1 min <sup>1)</sup> y 3 min <sup>2)</sup>

1) Motor UMA 150D

2) Motores UMA 200B, 250M, UMA250D

Fuente: Catálogo de motores KSB 2019

Anexo # 4: Opciones de materiales para los motores

Motor UMA		G	B	C2
		(Estandar)	(Bronce)	(CrNiMo)
Flecha	150D	Acero CrNi (A276:420)	Acero CrNi (A276:420) <sup>4)</sup>	
	200B	Acero CrNi (A276:420)	Acero CrNi (A276:420) <sup>4)</sup>	
	250D	Acero CrNi (A276:420)	Acero CrNi (A276:420) <sup>4)</sup>	
	300D		N/A	(1.4462)
Soporte de Chumacera	150D	Hierro gris (A48CL30) <sup>1)</sup>	Bronce (B584:C90500) <sup>2)</sup>	Acero CrNiMo (A743:CF8M) <sup>3)</sup>
	200B	Hierro gris (A48CL30) <sup>1)</sup>	Bronce (B584:C90500) <sup>2)</sup>	Acero CrNiMo (A743:CF8M) <sup>3)</sup>
	250D	Hierro gris (A48CL30) <sup>1)</sup>	Bronce (B584:C90500) <sup>2)</sup>	Acero CrNiMo (A743:CF8M) <sup>3)</sup>
	300D	Hierro gris (A48CL30) <sup>1)</sup>	N/A	Acero CrNiMo (1.4517)
Camisa Estator	150D	Acero CrNi (A276:304)		
	200B	Acero CrNi (A276:304)		
	250D	Acero CrNi (A276:304)		
	300D	Acero CrNi (A276:304)	N/A	Acero CrNiMo (1.4462)
Tomillos birlos y tuercas	150D	Acero CrNi (AISI 304)	Acero CrNi (AISI 304)	Acero CrNiMo (AISI 316)
	200B	Acero CrNi (A276:304)		Acero CrNiMo (AISI 316)
	250D	Acero CrNi (A276:304)		Acero CrNiMo (AISI 316)
	300D	Acero CrNiMo (A4-70)	N/A	Acero CrNiMo (A4-70)

Fuente: Catálogo de motores KSB 2019

