



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“DR. ANTONIO NÚÑES JIMÉNEZ”
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Título: Análisis de los parámetros de operación del bombeo para agua tecnológica en la Empresa Plásticos Cajimaya.

Autor: Wilfredo Leyva Martínez

Tutor: Ms. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Ing. Jorge Aurelio Reyes Marrero

“Año 54 de la Revolución”

Moa, 2012



Declaración de Autoridad

Yo, Wilfredo Leyva Martínez, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Ms. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Ing. Jorge Aurelio Reyes Marrero

Wilfredo Leyva Martínez



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Genaro Leyva Zalazar y Sixta Virgen Martínez Gainza por su apoyo incondicional.

A mi esposa Denis Castillo García, a mis hijos, por alentarme día a día.

A mis tutores Ms. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso y Ing. Jorge Aurelio Reyes Marrero por facilitar la elaboración de este trabajo, al claustro de profesores del departamento de mecánica.

A los que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.

A todos muchas gracias.



DEDICATORIA

A nuestra Revolución, por todas las oportunidades que me ofrece.

A mi familia y amigos.

A los centros de investigación del níquel.



PENSAMIENTO

Si tuviera que definir mi vida, diría algo muy simple: Ha sido un campo de batalla, nunca he dejado de luchar y nunca, ni en las circunstancias más adversas he perdido la fe en el futuro.

Blas Roca Calderío.

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre las limitaciones que está presentando el sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C de temperatura y una búsqueda de información sobre las propiedades del líquido, el caudal, las características específicas del circuito hidráulico, el diámetro de las tuberías y la elección correcta de los equipos adecuados.

Se realizó un análisis con el fin de mejorar la eficiencia energética en el sistema de bombeo y de promover, al mismo tiempo, el uso racional de la energía eléctrica, estableciéndose los parámetros técnicos y eléctricos así como también las bases teóricas necesarias para realizar la evaluación energética del sistema de bombeo, de donde se construyó el procedimiento para caracterizar y evaluar las medidas de ahorro de energía en este tipo de bombas.

Luego se determinan las causas que generan la pérdida de presión y eficiencia del sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C de temperatura donde se propuso la metodología para el cálculo de la red hidráulica, además de la evaluación de los resultados obtenidos teniendo en cuenta la valoración económica y el impacto ambiental en el área donde se encuentra ubicada la instalación.



Abstract

This work has to do with a study that has been done about the limitations that is presenting the system of pumping for technological water to the temperature of 15 °C. It also refers to the research made to gather information about the following aspects. The properties of water, its volume, the specific characteristics of the hydraulic circuit, the diameter of the pipes, and also, the adequate selection of equipments to carry out the work.

An analysis was done with the purpose of improving the energetic efficiency in the system of pumping; also done to promote the rational use of the electric power, which propitiates de establishment of the electric and technical parameters, as well as, the necessary theoretical bases to carry out the energy evaluation of the system of pumping, from which it was built the procedure to characterize and to evaluate the measures of energy saving in this type of pump.

It was also determined the causes that generate the loss of pressure and efficiency of the system of pumping for technological water to 15 °C of temperature, where it was proposed the methodology for the calculation of the hydraulic net; besides it was evaluated the obtained results taking into account the economic valuation and the environmental impact in the area where the installation is located.

Índice

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN----- | 1 |
| CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACIÓN----- | 4 |
| 1.1 Introducción----- | 4 |
| 1.2 Estado del arte de la mecánica de los fluidos----- | 4 |
| 1.2.1 Trabajos precedentes----- | 7 |
| 1.3 Principales características de los fluidos----- | 9 |
| 1.3.1 Consideraciones generales sobre la importancia de conservación y protección de los recursos hídricos----- | 10 |
| 1.4 Tratamiento del agua----- | 12 |
| 1.4.1 Sistema de gestión de calidad NC ISO 9001: 2001----- | 13 |
| 1.5 Descripción del esquema tecnológico----- | 15 |
| 1.6 Fundamentos para la selección y diseños de tuberías----- | 17 |
| 1.6.1 Pérdidas de carga en la tuberías----- | 18 |
| 1.6.2 Sistemas de tuberías----- | 18 |
| 1.7 Factores que influyen en la elección de una bomba----- | 21 |
| 1.8 Conclusiones parciales----- | 22 |
| CAPITULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS----- | 23 |
| 2.1 Introducción----- | 23 |
| 2.2 Relación de continuidad y número dimensional----- | 23 |
| 2.3 Ecuación general de las pérdidas de carga por el método de darcy-Weisbach---- | 24 |
| 2.3.1 Pérdidas locales----- | 30 |
| 2.4 Análisis de la cavitación del sistema----- | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1 Carga neta de succión positiva disponible ($NPSH_d$)----- | 31 |
| 2.5 Propuesta de la metodología para la evaluación de las medidas de ahorro de energía----- | 32 |
| 2.5.1 Objetivos de la metodología----- | 33 |
| 2.5.2 Descripción de las curvas características de las bombas----- | 33 |
| 2.6 Métodos alternativos para determinar el rendimiento de la bomba y el consumo de energía----- | 35 |
| 2.6.1 Determinación de los costos de operación----- | 37 |
| 2.7 Descripción de la instrumentación de la instalación----- | 38 |
| 2.8 Conclusiones parciales----- | 39 |
| CAPITULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS E IMPACTOS----- | 40 |
| 3.1 Introducción----- | 40 |
| 3.2 Análisis del consumo de energía eléctrica en la estación de bombeo----- | 40 |
| 3.3 Análisis de las cifras contratadas con el INRH ano 2012----- | 42 |
| 3.4 Obtención de los parámetros del sistema de tuberías----- | 43 |
| 3.4.1 Curva de operación del sistema----- | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5 Análisis de la cavitación del sistema----- | 47 |
| 3.6 Determinación del rendimiento de la bomba y el consumo de energía----- | 47 |
| 3.7 Impacto ambiental----- | 50 |
| 3.8 Conclusiones parciales----- | 51 |
| Conclusiones generales----- | 52 |
| Recomendaciones----- | 53 |
| Bibliografía----- | 54 |
| Anexos----- | 56 |

Introducción

En nuestro país debido a la constante necesidad de desplazar líquidos a largas distancias las bombas centrífugas se consideran como componentes simples que se pueden insertar en circuitos más complejos. Para su configuración debe estar relacionada con las características de sistema, con las necesidades de bombeo y con las exigencias específicas del usuario. Las bombas centrífugas y sistemas de transporte de líquidos son procesos que transforman el trabajo mecánico en otro del tipo hidráulico, comunicando la energía al líquido por medio de álabes en movimiento de rotación. Dentro del campo de aplicación estas se encuentran en las diferentes industrias en las que se destacan la alimenticia, cosméticos, farmacéutica, químicas entre otras.

La Empresa Plásticos Cajimaya perteneciente al ministerio de la industria sideromecánica, fundada en el año 1992, en funciones de las actividades autorizadas en su objeto empresarial está encaminada a la producción de tuberías plásticas de polietileno, PVC, polipropileno y accesorios plásticos para sistemas de riego, hidrosanitarios y eléctricos, útiles para el hogar y otros artículos comerciales.

El sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C de temperatura está compuesto por una bomba centrífuga modelo K 160/30 de fabricación URSS y un conjunto de válvulas, accesorios, medios de medición y tuberías aisladas con poliuretano expandido en coquilla de chapa galvanizada. El líquido almacenado en un foso con capacidad de 30 m³ es succionado mediante una tubería de aspiración que penetra de forma axial hasta la entrada del rodete y este alimentado por el motor eléctrico con una potencia de 37 kW proyecta el fluido a la zona externa del cuerpo de la bomba debido a la fuerza centrífuga generada por la velocidad del rodete y es enviada transformando su energía en caudal y altura hasta el taller de producción donde es consumida por la demanda del proceso productivo.

El sistema de acuerdo a sus particularidades e importancia que juega dentro del flujo productivo ha presentado déficit en cuanto a pérdida de presión y eficiencia provocado por el tiempo de explotación, trayendo como consecuencia que el sistema no se encuentre en óptima capacidad productiva esto conlleva a una mayor cantidad

posible de interrupciones en el proceso productivo generando un gran número de rechazos y la pérdida de calidad del producto final.

Para garantizar una correcta proyección de la instalación del transporte de líquidos es necesario la previa investigación en relación con el trabajo requerido por el sistema y los diferentes tipos de bomba, además los detalles precisos sobre las aplicaciones específicas, propiedades, caudal, velocidad, pérdidas hidráulicas del líquido que se va a trasladar, diámetro de la tubería y la elección correcta de los equipos adecuados para una mejor ejecución de sus capacidades con eficiencia, optimizando los recursos tecnológicos y promover el uso racional de la energía eléctrica. Una selección inadecuada puede conducir a consecuencias tales como el sobre dimensionamiento de la máquina para el sistema analizado.

Situación problemática

En la Empresa Plásticos Cajimaya se han estado presentando algunas limitaciones con el sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C de temperatura, área de gran importancia para la industria, debido a la pérdida de presión y eficiencia provocando considerable pérdidas en el proceso productivo trayendo como consecuencia altos consumos por concepto de recursos humanos, materiales y energía.

Problema

¿Cuáles son las causas que generan la pérdida de presión y el bajo rendimiento del sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C de temperatura, en la Empresa Plásticos Cajimaya?

Objeto de la investigación

Sistema de bombeo para agua tecnológica de la Empresa Plásticos Cajimaya.

Campo de acción

Consumo energético en instalaciones de bombeo tecnológico.

Hipótesis

Con la determinación los parámetros de trabajo a través de los cálculos del sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C, se podrán conocer las causas que generan las pérdidas de presión y la baja eficiencia de operación.

Objetivo general

Determinar las causas que generan las pérdidas de presión y baja eficiencia del sistema de bombeo para agua tecnológica a 15 °C.

Objetivo específicos

1. Proponer la metodología para el diseño de la red hidráulica.
2. Identificar los factores que inciden en la ineficiencia del sistema de bombeo.
3. Establecer una comparación entre los resultados obtenidos y los parámetros de la instalación actual.
4. Analizar el estado económico y ambiental del sistema.

Tareas

1. Revisión bibliográfica referente a las características del sistema.
2. Propuesta de la metodología que cumpla con las exigencias de evaluación de la red hidráulica.
3. Comparación de los resultados obtenidos de la instalación actual y propuesta de nuevos parámetros.
4. Análisis de las incidencias económicas y ambientales del proceso.

Capítulo 1. Marco Teórico Metodológico de la Investigación

1.1 Introducción

Una instalación hidráulica es un conjunto de elementos encargados de transportar el fluido a largas distancias, para la correcta evaluación de una bomba centrífuga y un sistema de tuberías es necesario la realización de algunas mediciones las cuales deben llevarse a cabo cuando el proceso esté en operación normal, se deberán registrar los diferentes parámetros de operación, debido a esto dependerá la precisión y confiabilidad de la evaluación.

Con el estudio de lo relacionado con el tema de instalaciones hidráulicas se permite detectar de forma preliminar, las diferentes características y deficiencias que existen entre las investigaciones realizadas, las teorías existentes y los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

Objetivo del capítulo: Determinar los parámetros fundamentales de operación, para garantizar la eficiencia del sistema.

1.2 Estado del arte de la mecánica de los fluidos

El deseo del hombre de comprender los fenómenos en los fluidos, surgió cuando tuvo problemas de suministro de agua, de irrigación, de navegación, y de energía hidráulica. Con sólo una rudimentaria apreciación de la física de los fluidos, cavó pozos, construyó canales, operó ruedas hidráulicas y dispositivos de bombeo rudimentarios y, al aumentar el tamaño de sus ciudades, construyó acueductos cada vez más grandes, los que alcanzaron su mayor dimensión y grandeza en la ciudad de Roma. Pero, a excepción de las ideas de Arquímedes (287-212 A. de J.C.) sobre los principios de flotación, en la mecánica de fluidos moderna aparece muy poco del escaso conocimiento de los antiguos (Vennard y Street, 1986).

Después de la caída del Imperio Romano (476 D. de J.C.) no existe, hasta la época de Leonardo da Vinci (1452-1519), registró alguno de progreso en la mecánica de fluidos. Este gran genio proyectó y construyó la primera esclusa de cámaras para un canal, cerca de Milán, e introdujo una nueva era en la ingeniería hidráulica; estudió también el vuelo de las aves y desarrolló algunas ideas sobre el origen de las fuerzas que soportaban a éstas en el aire. Sin embargo, hasta la época de Leonardo, los

conceptos sobre el movimiento de los fluidos deben considerarse más como un arte que como una ciencia. Después de la época de Leonardo, la acumulación de conocimiento sobre hidráulica ganó momentum rápidamente, siendo sobresalientes las contribuciones de Galileo, Torricelli, Mariotte, Pascal, Newton, Pitot, Bernoulli, Euler, y D'Alembert a los principios básicos de la ciencia. Aunque las teorías propuestas por estos científicos se confirmaban en general por experimentos rudimentarios, las divergencias entre la teoría y la realidad condujeron a D'Alembert a declarar en 1744, "La teoría de los fluidos deberá basarse necesariamente en la experimentación". D'Alembert demostró que no existe resistencia al movimiento de un cuerpo cuando éste se mueve a través de un fluido ideal (no viscoso o invíscido), pero es obvio que esta conclusión no puede aplicarse a los cuerpos que se mueven a través de fluidos reales (Vennard y Street, 1986).

Esta discrepancia entre la teoría y el experimento, que se denominó la paradoja de D'Alembert, ha sido ya resuelta. No obstante, demuestra con claridad las limitaciones de la teoría de esa época para la resolución de problemas sobre fluidos. Con motivo del conflicto entre la teoría y la experimentación, surgieron dos escuelas de pensamiento para el estudio de la mecánica de los fluidos, una que trataba acerca de los aspectos teóricos y otra acerca de los aspectos prácticos del flujo de los fluidos. En cierto sentido, estas escuelas de pensamiento han subsistido hasta la actualidad, lo que ha tenido como resultado el campo matemático de la hidrodinámica, y la ciencia práctica de la hidráulica (Vennard y Street, 1986).

Antes del principio del siglo XX., se hicieron notables contribuciones a la hidrodinámica teórica, por Euler, D'Alembert, Navier, Coriolis, Lagrange, Saint-Venant, Stokes, Helmholtz, Kirchhoff, Rayleigh, Rankine, Kelvin y Lamb. En un sentido amplio, la hidráulica experimental llegó a ser el estudio de los fenómenos de flujo ocurrentes en orificios, tubos y canales abiertos. Entre los muchos investigadores precursores que dedicaron sus energías a la iniciación de este campo, se encuentran Chezy, Bosut, Borda, Du Boat, Coulomb, Venturi, de Prony, Eytelwein, Bidone, Belanger, Hagen y Poiseuille. A mediados del siglo anterior, Navier y Stokes tuvieron éxito al modificar las ecuaciones generales del movimiento de un fluido ideal para adaptarlas a las de un fluido viscoso y, al hacerlo así,

demonstraron la posibilidad de explicar las diferencias entre la hidráulica y la hidrodinámica. Casi al mismo tiempo, los estudios teóricos y experimentales sobre el movimiento de vórtice y sobre el flujo separado, hechos por Helmholtz y Kirchhoff, ayudaban a explicar muchos de los resultados divergentes entre la teoría y el experimento.

Mientras tanto, continuaba progresando la investigación hidráulica y se acumularon grandes cantidades de excelente información o se propusieron fórmulas por Darcy, Bazin, Weisbach, Ganguillet, Kutter, Manning, Francis y otros. Infortunadamente, las investigaciones conducían con frecuencia a fórmulas empíricas obtenidas por él sólo ajuste entre gráficas e información experimental, o por la sola presentación de los resultados en forma tabular, y en muchos casos, no era aparente la relación entre los hechos físicos y la fórmula resultante. Hacia fines del siglo pasado, surgieron nuevas industrias que demandaron información sobre el flujo de fluidos diferentes al agua; este hecho, aunado a los muchos adelantos significativos en el conocimiento, tendió a detener el empirismo en la hidráulica. Estos adelantos fueron: (1) las investigaciones teóricas y experimentales de Reynolds; (2) el desarrollo, por Rayleigh, del análisis dimensional; (3) el uso de modelos en la solución de problemas sobre fluidos, por Froude, Reynolds, Vernon-Harcourt, Fargue y Engels; y (4) el rápido progreso de la aeronáutica teórica y experimental, debido a los estudios de Lanchester, Lilienthal, Kutta, Joukowsky, Betz y Prandtl. Estos adelantos proporcionaron nuevas herramientas para la solución de problemas, y dieron nacimiento a la moderna mecánica de fluidos (Vennard y Street, 1986).

La contribución singular más importante fue hecha por Prandtl, cuando en 1904 introdujo el concepto de la capa límite. En su corto pero descriptivo documento, Prandtl proporcionó, de una sola vez, un eslabón esencial entre los movimientos ideal y real de los fluidos de baja viscosidad (por ejemplo, el agua), y suministró la base de una gran parte de la mecánica de fluidos moderna. En el siglo XX ha decaído el empirismo puro, y los problemas sobre fluidos se han resuelto mejorando constantemente los métodos racionales; estos métodos han producido muchos resultados fructíferos y han colaborado al conocimiento creciente de los detalles de los fenómenos en los fluidos. Esta tendencia, ciertamente tendrá que continuar. Otra

tendencia persistente es la del surgimiento de complejidades cada vez mayores y de más grandes desafíos en los problemas sobre fluidos. Subsisten los problemas sobre suministro de agua, irrigación, navegación y energía hidráulica, pero ahora a una escala nunca imaginada por los ciudadanos de Roma precristiana.

La gama de nuevos problemas aparecidos en los tiempos modernos es virtualmente infinita, incluyendo el estampido sónico del aeroplano supersónico, la dispersión de los desechos de la humanidad en los lagos, ríos y océanos, el flujo de la sangre en las venas, arterias, riñones, corazones y aparatos de corazón y de riñón artificiales, el flujo de bombeo de combustible y de escape en los cohetes lunares, el diseño de superbarcos-tanque petroleros de una megatonelada, en lo relativo a velocidad, eficiencia del bombeo de la carga y seguridad; y el análisis y simulación del clima de la Tierra y de las corrientes oceánicas. Así, la mecánica de fluidos ha llegado a ser parte esencial de campos tan diversos como la medicina, la meteorología, la astronáutica y la oceanografía, así como el de las disciplinas tradicionales de la ingeniería (Vennard y Street, 1986).

1.2.1 Trabajos precedentes

En nuestro país el creciente desarrollo, ha propiciado la aparición de sistemas industriales básicos y auxiliares que son indispensables en los procesos tecnológicos de la actividad. Los sistemas para desplazar una cantidad mayor de líquidos requieren constantemente la atención y el estudio sistemático por parte de especialistas y profesionales de la producción. La tecnología de obtención de materiales plásticos depende en gran medida de los sistemas de bombeo que favorecen la transportación del líquido (García, 1996).

Se debe recordar en la época colonial al ingeniero Francisco de Albear, proyectista y constructor del acueducto que surte de agua a nuestra capital y a los hidráulicos anónimos que durante dos siglos desarrollaron el sistema de regadío conocidos como la comunidad de regante de Güines.

Para garantizar el uso correcto de las bombas, es necesario un crecimiento profundo de las aplicaciones específicas de funcionamiento y en particular sobre los líquidos que tendrá que trasladar, asegurándose que las condiciones de trabajo sean

correctas y garantizar una larga duración del servicio. Una correcta elección de los materiales de construcción, sean estructurales como de sellado y de desgaste, realizada en función del tipo de equipo y de los fluidos, permiten resolver con seguridad y eficiencia los problemas de bombeo de líquidos incluso en procesos de trabajo más complejo (Betancourt, 2005).

La Empresa Plásticos Cajimaya teniendo en cuenta su ubicación geográfica tiene como fuente principal de abasto de agua cruda, no tratada el río cercano (arroyo) esta introduce variaciones en la composición del agua en época del año ya que no es igual en días lluvioso o de mucha sequía, debido a esto se realizó un estudio sobre la variante de recibir dicho servicio de la conductora que suministra a la CTE Felton.

El sistema formado por un conjunto de bombas y una red hidráulica de diámetro 500 mm que garantiza el agua necesaria a la CTE Felton, Poblado de Felton, Cayo Saetía y varios núcleos poblacionales que se encuentran a lo largo del recorrido de la conductora, lo que conlleva a los altos gastos por concepto de bombeo debido a los consumos de energía eléctrica, gastos de operación y mantenimiento así como los pagos por explotación. Teniendo en cuenta las primeras dificultades presentadas con el abasto de agua, INEL, (1994) realizó un estudio inicial liderado por la propia empresa y dirigido a mejorar las condiciones en el sistema de embalse, logrando represar la cantidad de agua necesaria con el propósito de garantizar un correcto proceso de filtrado antes de llegar a la succión de las bombas.

Luego Chacón, (1997) teniendo en cuenta las condiciones topográficas del terreno se hizo necesario una modificación que permitiera un mejor rendimiento de la instalación. Los controles de los consumos de agua en la mayoría de los casos son deficientes estando entre las causas principales la existencia de poco medidores para contabilizar el agua por área, la no existencia o incorrecta aplicación de indicadores que relacionan este consumo con parámetros productivos, los bajos costos de agua en algunas empresas y la no existencia de chequeos periódicos, ni gestión integrada de su uso.

Rodríguez, (2011) realizó una evaluación del sistema de abasto en la CTE Felton para un uso eficiente del agua, como resultado propone una revisión y se adopten

medidas encaminadas a minimizar las pérdidas existentes y exigir una mayor preparación del personal en la manipulación de los accesorios y mecanismos que integran el sistema de abasto a la empresa.

1.3 Principales características de los fluidos

Un fluido es aquella sustancia que; debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Basándose en su comportamiento bajo los varios tipos de esfuerzos. La aplicación de tensión, compresión, o corte a un sólido, provoca primero en el material, una deformación elástica y posteriormente si los esfuerzos exceden del límite elástico, una distorsión permanente del mismo. Los fluidos poseen propiedades elásticas sólo bajo compresión o tensión directa. La aplicación de un esfuerzo infinitesimal de corte a un fluido, resulta en una distorsión continua y permanente. La incapacidad de los fluidos de para resistir esfuerzos de corte, les proporciona su característica habilidad de cambiar de forma o de fluir.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

En general los sólidos y líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, pero ningún cuerpo (sólido, líquido, gaseoso), es estrictamente incompresible.

Sin embargo el fluido incompresible no existe en realidad.

Todos los líquidos pertenecen a la primera clase. Los gases generalmente a la segunda, pero en los gases, si las variaciones de presión que entran en juego son pequeñas; por ejemplo inferiores a 1 m.c.a el gas puede considerarse también como incompresible (Mataix, 1993).

1.3.1 Consideraciones generales sobre la importancia de conservación y protección de los recursos hídrico

El océano contiene el 97 % del agua de la Tierra; en la atmósfera está el 0,001 %. Los procesos que intercambian y transforman el agua en vapor, en líquido o en sólido son fundamentales para el clima y para la propia vida. El agua es una de las sustancias más comunes, pero tiene algunas propiedades físicas y químicas inusuales. Es uno de los pocos líquidos naturales y puede encontrarse en las tres fases: vapor de agua, agua líquida y hielo sólido. Tiene un calor específico y un calor

latente grandes, de modo que son necesarias grandes cantidades de energía para elevar su temperatura, para fundir hielo o para evaporar agua. Estas características controlan en gran medida la distribución de temperatura en la Tierra, siendo los climas oceánicos más uniformes que los continentales. Hay otras propiedades del agua poder disolvente alto, constante dieléctrica grande y tensión superficial grande, entre otras que aseguran reacciones esenciales para que la vida continúe su desarrollo. La mayoría de estas propiedades no quedan muy afectadas por la presencia de las sales disueltas que diferencian el agua salina del agua dulce, mucho menos abundante (Betancourt, 2005).

Las propiedades del agua dulce dependen de la presión y de la temperatura; las del agua de mar se ven afectadas también por la salinidad. La densidad del agua de mar, por ejemplo, depende de la temperatura, la presión y la salinidad de forma compleja: disminuye cuando la temperatura aumenta, pero crece con la salinidad y la presión. La densidad es importante porque el océano tiende a moverse de manera que el agua más densa esté en el fondo y el agua menos densa en la superficie. Otra propiedad importante del agua de mar es su gran capacidad para absorber la radiación electromagnética, en especial la del Sol. Incluso en las aguas más claras casi toda la radiación solar incidente (el 99 %) es absorbida en los 100 m superiores del océano, donde puede ser utilizada en la fotosíntesis para transformar carbono inorgánico y elementos nutrientes en organismos biológicos como el plancton. A profundidades superiores el océano es oscuro y sus propiedades sólo pueden cambiar al mezclarse.

El agua es uno de los recursos más indispensables para la vida en la tierra, y sin embargo el hombre la desperdicia sin medida, de una forma u otra, la mejor forma de contrarrestar este problema es concientizar a las personas sobre la utilización racional de este recurso. También nuestro cuerpo está formado por 70 % de agua, el agua no es solo esencial para los seres humanos, sino para los animales, las plantas y toda la vida del planeta. El agua es el elemento vital para la alimentación, higiene y actividades del ser humano, la agricultura y la industria por eso, las exigencias higiénicas son más rigurosas con respecto al las agua destinadas al consumo de la población, exigencias que están siendo cada vez menos satisfechas, por su

contaminación, lo que reduce la cantidad y calidad del agua disponible, como también sus fuentes naturales (Betancourt, 2005).

El crecimiento de la industrialización, de la urbanización y de la población humana acrecienta los problemas de contaminación y en consecuencia el suministro de agua potable y el tratamiento de las aguas. El agua es un líquido con mayor poder disolvente, posee una gran capacidad calorífica: es decir, sin provocar demasiadas variaciones en su propia temperatura, absorbe bastante calor. Las fuentes de agua de que disponemos son: el agua de lluvia, de ríos, de lagos, de mares y aguas subterráneas; se encuentran en muchas rocas y piedras durísimas y se hallan en la atmósfera en forma de nubes o nieblas. Los principales contaminantes del agua son los siguientes: Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

La mayor parte de los desechos que el hombre produce en las industrias son arrojados directamente a los ríos o llevados a través de arroyos. Como resultado el agua se contamina como ya sabemos con sustancias que alteran su condición natural. Este problema intensifica en los ríos y arroyos cercanos a fábricas e industrias, donde se acumula una gran cantidad de productos contaminantes. Para evitar existen leyes e instituciones que obligan a las industrias a realizar un tratamiento de sus desechos antes de ser tirados a arroyos y ríos (Betancourt, 2005).

1.4 Tratamiento del agua

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales (Rodríguez, (2011).

La Empresa Plásticos Cajimaya cuenta con una planta de tratamiento de agua de intercambio iónico. El sistema con flujo tecnológico tradicional, el que aparece en las industrias cubanas ejemplo: Donde existen calderas como la CTE Felton, ECIL, Hospitales, etcétera. La dureza del agua es la suma de cationes calcio y magnesio (Ca^2 Mg^2) contenido en solución, expresado ambos convencionalmente como CaCO_3 . Si la dureza está como bicarbonato se descomponen en las aguas por simple

calentamiento. Si está como sulfatos, cloruros y nitratos no se separan por simple calentamiento sino por tratamiento químico.

Las incrustaciones se deben a sustancias solubles como bicarbonatos, carbonatos, sulfatos de calcio y magnesio, silicio, aluminio, hierro y ciertas sustancias orgánicas. Las incrustaciones de sustancias insolubles son pocas resistentes pues su formación se debe a simple fenómeno de sedimentación o asiento mientras que los solubles son verdaderas costras de difícil remoción.

El sistema cuenta con un suavizador automático de botellas compuesto por:

- Botellas simple 2¹/₂" Q 1354P, capacidad 103 l, Volumen resina 85 l.
- Tanque de salmuera.
- Válvula multivía FLECK Programador electrónico y electromecánico 5600 cronométrica, caudal continuo 2,7 m³/h, caudal punta 3,8 m³/h.
- Resina de intercambio iónico.

La fuente principal de abasto de agua a la empresa es el río cercano (arroyo) y posee las características siguientes.

Tabla 1.1. Características del agua del río (Arroyo).

| | |
|---------------------------|--------|
| pH | 8,40 |
| Conductividad (µs/cm) | 670,00 |
| Dureza cálcica (p.p.m) | 122,00 |
| Dureza magnésica (p.p.m) | 102,00 |
| Dureza total (p.p.m) | 335,00 |
| Cloruros (p.p.m) | 314,00 |
| Alcalinidad total (p.p.m) | 194,50 |

1.4.1 Sistema de gestión de calidad NC ISO 9001: 2001

La calidad se ha convertido en una necesidad vital, derivada de la creciente complejidad y modernización de los medios de producción con el propósito de hacer más eficiente los procesos productivos y contribuir así al mejor desempeño de éstas. En la actualidad la calidad se alcanza con base en la satisfacción de las necesidades de los clientes así como de sus expectativas, con productos y servicios competitivos. La calidad consolida la confianza del cliente asegurando su fidelidad, ya que en algunos productos se hace obligatorio el cumplimiento de las normas establecidas para la calidad. Para el siguiente periodo, Jablonski vislumbra un panorama con las siguientes características: por una parte un Japón cada vez más competitivo, desarrollado y con un mayor poder financiero, y por otra un occidente desconcentrado que intenta copiar los sistemas administrativos para la calidad, pero que en su mayor parte desdeña la filosofía post-tayloriana para la calidad que le da soporte e intenta suplirla con los antiguos y desgastados principios taylorianos que han venido aplicando (Normas NC-ISO 9000:2001).

El objetivo de la norma es especificar los requisitos del sistema de calidad que deben utilizarse cuando se necesite demostrar la capacidad de un proveedor para diseñar y suministrar productos conformes. Además, los requisitos especificados en la norma están orientados principalmente para lograr la satisfacción del cliente, previniendo la no conformidad en todas las etapas desde el diseño hasta el servicio. Con el propósito de que una empresa sepa a que nivel de productividad debe operar, debe conocer a que nivel esta operando. La medida muestra la dirección de las comparaciones dentro de la empresa y dentro del sector al que pertenece. Por otro lado se reconoce que los cambios de la productividad tienen una gran influencia en numerosos fenómenos sociales y económicos, tales como el rápido crecimiento económico, el aumento de los niveles de vida, las mejoras de la balanza de pagos de la nación, el control de la inflación e incluso el volumen y la calidad de las actividades recreativas (Normas NC-ISO 9000:2001).

La política de calidad de nuestra Empresa está dirigida a desarrollar la calidad de los productos y la satisfacción de las necesidades y requisitos de nuestros clientes, brindándoles un servicio eficiente de excelencia en la producción y comercialización

de piezas, artículos y accesorios, así como los servicios técnicos asociados a estos. Amparados por un sistema de gestión de la calidad (SGC) conforme a las exigencias de la norma NC ISO 9001:2001 vigente y que garantice el cumplimiento de los objetivos propuestos. Como el agua es usada en todas las organizaciones y su utilización está regulada por el Decreto Ley 138, es parte de la gestión de calidad de los procesos de una organización.

1.5 Descripción del esquema tecnológico

La Empresa Plásticos Cajimaya se encuentra localizada al norte de la provincia de Holguín en Carretera a Felton Km. 2 ½ Mayarí, en una zona industrial donde sobresalen por su importancia industrias tales como: Central Termoeléctrica de Felton, y la planta procesadora de níquel “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro.

Para la producción de tuberías y mangueras plásticas, la tecnología utilizada es de la firma BANDERA, Italia, con 6 líneas de máquinas extrusoras monotonillo para la producción de mangueras de PEBD y PEAD desde diámetro 6 hasta diámetro 63 mm, con capacidad de producción de 120 kg/h; una línea extrusora monotonillo para la producción de tuberías de PEAD desde diámetro 40 hasta diámetro 125 mm con capacidad de producción de 250 kg/h; una línea extrusora bitornillo para la producción de tuberías de PVC desde diámetro 16 hasta diámetro 75 mm con capacidad de producción de 150 kg/h; una línea extrusora bitornillo para la producción de tuberías de PVC desde diámetro 75 hasta diámetro 250 mm con capacidad de producción de 520 kg/h; una línea extrusora monotonillo para la producción de tuberías de PEBD y PEAD desde diámetro 75 hasta diámetro 250 mm con capacidad de producción de 388 kg/h; con tecnología China. Una sección de mezclado con dos mezcladores con capacidad de producción de 500 kg/h, de tecnología italiana, de la firma CACCIA.

Los accesorios termoplásticos por inyección son producidos con tecnología de la firma SANDRETTO, Italia. Cuenta con 11 máquinas entre 40 y 360 t de fuerza de cierre, con capacidad de producción desde 102 hasta 407 cm³/s; una máquina sopladora para la producción de pomos con capacidad de 1 hasta 5 l con tecnología China. Para la producción de los elementos de goma se utiliza una prensa española de 40 t y una máquina de inyección canadiense de 150 t de fuerza de cierre.

La demanda de agua depende del volumen, del tipo de producción que se está realizando y la temperatura. Además el proceso de circulación de agua compuesta por tuberías, válvulas y otros elementos encargados de transportar el fluido desde los puntos de suministro hasta los puntos de consumo, se inicia con la entrega desde la fuente principal de abasto de agua del río cercano (arroyo) con una bomba centrífuga modelo: K 160/30, ésta envía el líquido hasta la cisterna con capacidad de 1800 m^3 , luego es succionado por la estación de casa bomba compuesta por tres bombas, una bomba de desplazamiento positivo modelo: D200/95 que funciona como sistema contra incendio, y dos bombas centrífugas modelo: K90/55 (principal y auxiliar) que a su vez impulsan el líquido hasta el tanque elevado con capacidad de 300 m^3 , el líquido desciende por gravedad hasta llegar a la planta de tratamiento de agua, luego de la eliminación o reducción de la contaminación del agua, es dirigida hasta la enfriadora de agua modelo: CHAWT-1602 A (CHILLER), posterior es dirigida hasta el sistema de bombeo para agua tecnológica donde succiona mediante una bomba centrífuga modelo: K160/30 con un suministro de líquido almacenado en un foso con capacidad de 30 m^3 , proyectando el líquido hasta el taller de producción donde es consumida por la demanda del proceso productivo en la figura 1.1 se muestra el esquema tecnológico de la instalación.

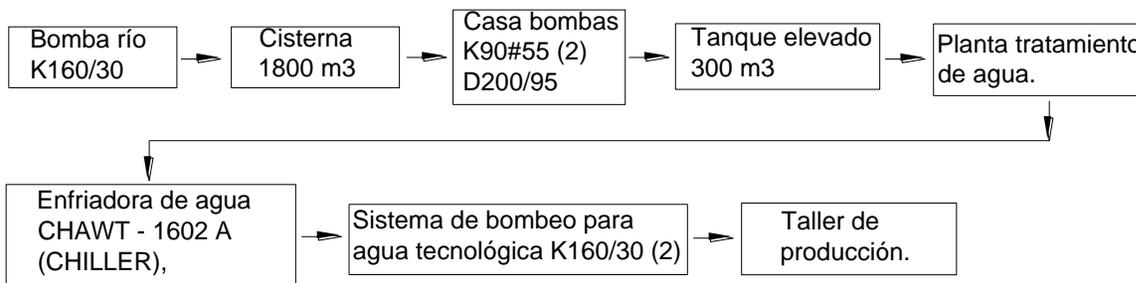


Figura 1.1. Esquema tecnológico.

1.6 Fundamentos para la selección y diseño de tuberías

El diseño del sistema de conductos o tuberías puede influir en la mayor o menor facilidad de bombeo y en el costo del mismo. El sistema de conductos debe diseñarse de modo que minimice la energía para el bombeo. La velocidad de flujo del líquido, la elevación vertical del mismo (aumento de la carga potencial del líquido) o al aumento de la presión de cola (aumento en la carga de presión) que es

preciso superar, suelen ser fijas. Sin embargo, los costos energéticos derivados de la fricción y las pérdidas por golpes, a medida que los fluidos que se procesan fluyen a través del equipo, las tuberías y los accesorios (válvulas, codos, piezas en T), se ven muy influidos por el diseño del sistema de conductos y pueden minimizarse mediante una selección cuidadosa de los componentes para minimizar estas pérdidas.

En el diseño del sistema de conductos, deben tenerse en cuenta otros aspectos importantes para minimizar las pérdidas de energía, se debe intentar entre otras cosas:

- Acortar en la medida de lo posible, la longitud total de las tuberías.
- Mantener constante el diámetro a lo largo de toda la longitud del sistema, siempre que sea posible, si fueran inevitables los cambios, deben introducirse manguitos de reducción y expansión.
- Utilización de los accesorios más correctos para una función específica, evitar, por ejemplo, el empleo de válvulas de todo o nada, como válvulas de control,
- Reducir al mínimo el número de accesorios.

Las pérdidas de carga debida a la fricción se pueden determinar sustituyendo la longitud equivalente total, para el sistema de tuberías junto con el coeficiente de fricción adecuado.

La línea queda caracterizada hidráulicamente por una serie de variables; en el caso de una línea que corresponde a un tubería, las cuatro variables hidráulicas fundamentales son: velocidad v , caudal Q , diámetro D , y pérdida de carga h_f .

1.6.1 Pérdidas de carga en las tuberías

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases, primarias y secundarias.

- **Las pérdidas primarias:** son las pérdidas debido al contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto, principalmente en los tramos de tubería de sección constante.
- **Las pérdidas secundarias:** son las pérdidas debido a la variación de las dimensiones o configuración del cauce, donde cambia la velocidad del flujo y surgen habitualmente torbellinos (estrechamiento o expansiones de la corriente).

1.6.2 Sistemas de tuberías

Los sistemas de tuberías están formados por un conjunto de tuberías de iguales o distintos diámetros dispuestas en forma muy variada.

En general, los sistemas de tuberías se clasifican en tres grandes grupos:

- a) Tuberías simples.
- b) Tuberías compuestas.
- c) Redes de tuberías.

Tuberías simples

Las tuberías simples, son sistemas formados por una sola tubería que tiene un diámetro uniforme en toda su longitud y en la cual aparece uno o varios accesorios (válvulas, tes, codos, etc.) que permiten al sistema cumplir la función para la cual fue diseñado. Los servicios a que puede estar destinada una tubería simple son los siguientes:

- a. Conducir cierto caudal de un punto a otro, conocido como **servicio en extremidad**.
- b. Distribuir un caudal determinado a lo largo de su trayectoria, **servicio en ruta**.
- c. Cumplir al mismo tiempo las dos funciones anteriores, es decir, distribuir un caudal en su recorrido y entregar el resto en el extremo aguas debajo de la tubería. Este tipo de servicio se conoce como **servicio mixto**.

Los problemas que pueden presentarse en estas son los siguientes:

- Cálculo de la pérdida de carga en una tubería determinada.
- Cálculo del caudal o la velocidad en una tubería determinada.
- Cálculo del coeficiente de fricción de una tubería determinada.
- Cálculo de la longitud necesaria para lograr un objetivo determinado.

Tuberías compuestas

Las tuberías compuestas, están formadas por varias tuberías simples conectadas en serie, o en paralelo, o por combinaciones de tuberías en serie y en paralelo (mixtas).

Estas pueden clasificarse en tres grupos:

- Tuberías en serie
- Tuberías en paralelo
- Tuberías mixtas

Tuberías en serie

Están formadas por varias tuberías una a continuación de la otra. En el caso de tuberías en serie se aplican las fórmulas siguientes:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad (1.1)$$

$$H_f = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} + \dots \quad (1.2)$$

$$V_1 \cdot D_1^2 = V_2 \cdot D_2^2 = V_3 \cdot D_3^2 = \dots \quad (1.3)$$

En efecto:

- El caudal que circula por los tramos 1, 2, 3,...de diámetros D_1 , D_2 , D_3 ,...es el mismo.
- La pérdida total es igual a la suma de las pérdidas parciales.
- Se cumple la ecuación de continuidad.

Tuberías en paralelo

Están formadas por dos o más tuberías dispuestas de modo tal, que sus extremos sean comunes.

Para estos casos se aplican las siguientes fórmulas:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad (1.4)$$

$$H_f = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} = \dots \quad (1.5)$$

En efecto:

- El caudal total Q se reparte entre todas las tuberías.

- La presión al comienzo y al final de cada rama es la misma para todas las ramas, luego la caída de altura de presión (diferencia de lecturas en los tubos piezométricos), H_r será también la misma en todas las ramas.

Tuberías mixtas

Las tuberías mixtas están formadas por combinaciones de tuberías en serie y en paralelo.

En las redes mixtas, únicamente se instalan distribuidores ciegos cuando el complejo urbano lo requiera, como pueden ser los fondos de saco y los puntos de consumo aislados, su longitud no será mayor de 300 m, ni podrán abastecer a más de 200 viviendas.

El buen funcionamiento y la razonable duración de una red de distribución obligan a que los valores de la presión, en la misma, queden dentro de límites recomendables (30 a 45 m.c.a).

De forma general y resumiendo, los principales problemas que pueden presentarse en las tuberías compuestas son:

- a) cálculo de la pérdida de carga.
- b) Cálculo del gasto o caudal.

Redes de tuberías

Las redes de tuberías pueden ser de dos tipos:

- a) Redes ramificadas o abiertas.
- b) Redes en mallas.

1.7 Factores que influyen en la elección de una bomba

Terminado el diseño del sistema de tuberías, es preciso seleccionar una bomba que se adapte bien al sistema. La bomba es el “corazón” del proceso de transferencia del fluido y, si no se halla adecuadamente adaptada la operación de bombeo puede ser ineficaz e incluso causar daño a los productos y paradas que resultan caras.

Entre los factores que deben ser tenidos en cuenta a la hora de seleccionar una bomba, para una función determinada, cabe citar:

1. El flujo volumétrico (caudal) de líquido a transferir, influye en el tipo y en el tamaño de la bomba a usar. Para grandes capacidades puede necesitarse más de una bomba.
2. La carga total del sistema contra la que se va a bombear el líquido. Está determinada por la combinación de diversos factores, entre los que se encuentran:
 - a. La velocidad del líquido en el sistema de tubería funcionando al caudal preciso.
 - b. La elevación vertical precisa.
 - c. La presión del sistema
 - d. Las pérdidas de energía por fricción y choque.
3. La carga de la bomba (H), necesaria para transferir una unidad de masa del fluido de densidad (ρ), a una velocidad media (u), a través del sistema, bajo las condiciones de funcionamiento precisas.

1.8 Conclusiones parciales

- Se realizó una breve reseña histórica acerca de los primeros estudios de la materia de los fluidos, esto nos permite actualizarnos en cuanto a las temáticas de los fundamentos y teorías de los fluidos.
- Mediante el estudio bibliográfico y de la situación actual del sistema de bombeo para agua tecnológica, se determinó cuáles son los parámetros fundamentales del sistema, garantizará una evaluación adecuada para la mejora del rendimiento del sistema.

Capítulo 2. Materiales y Métodos

2.1 Introducción

El análisis de una instalación de transporte hidráulico requiere de un examen atento de múltiples datos para ofrecer el producto adecuado a las exigencias del sistema de movimiento, un cierto margen de seguridad, pérdidas eventuales de carga que se deben tener en cuenta y los elementos necesarios para un correcto funcionamiento, conociendo las propiedades del líquido, el caudal del líquido, las características específicas del circuito hidráulico, implementando la incorporación del uso racional de la energía eléctrica, creando la base para realizar la evaluación de las medidas de ahorro de energía, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema.

Objetivo del capítulo: Plantear la metodología a seguir para el análisis del sistema de bombeo para agua tecnológica.

2.2. Relación de continuidad y número dimensional

Para la selección de los tramos se tuvo en cuenta las características de la instalación y el comportamiento del fluido en la misma (diámetro, temperatura y viscosidad, etc.). En el caso de velocidades del fluido en cada tramo, se tomó en cuenta el caudal de la bomba y diámetro para todos los tramos.

$$Q = A \cdot v \quad (2.1)$$

Donde:

Q- flujo volumétrico; (m³/s)

v- velocidad del fluido; (m/s)

A – área interna de la sección transversal de la tubería; (m²)

Siendo área interna de la sección transversal de la tubería:

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

Donde:

D- diámetro interior de la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (2.3)$$

Las investigaciones de Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, si es laminar o turbulento depende del diámetro de la tubería, de la densidad y viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo (Martínez y Jáuregui, 2007).

El número de Reynolds es:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (2.4)$$

Donde:

Re - número de Reynolds; (adimensional)

ν - viscosidad cinemática; (m^2/s)

Una vez determinado el régimen de trabajo del fluido, se define que se encuentran en el régimen turbulento, y se procede a la evaluación de las pérdidas.

2.3. Ecuación general de las pérdidas de carga por el método de Darcy-Weisbach

Debido a los orígenes no empíricos, la ecuación darcy-weisbach es considerada por muchos ingenieros como el método más preciso para modelar pérdidas de fricción. Se describe comúnmente de la manera siguiente (Aguirre et al., 1996; streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007):

El flujo de los fluidos en las tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí, consecuentemente, por pérdidas de energía disponible. En siglos pasados, fueron realizados experimentos con tubería de agua de diámetro constante, los cuales demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

La fórmula fundamental que expresa lo anterior es la ecuación de Darcy-Weisbach (para las pérdidas primarias):

$$\sum h_f = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v_m^2}{2 \cdot g} \quad (2.5)$$

Donde:

1.1 $\sum h_f$ - pérdida de carga primaria; (m)

λ - coeficiente de pérdida de carga; (adimensional)

L- longitud de la tubería; (m)

Otra forma de expresión de la ecuación de Darcy es:

$$\sum h_f = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot 2 \cdot g} = \lambda \cdot \frac{1}{d^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g} \quad (2.6)$$

Esta expresión es válida tanto para flujo laminar como turbulento en fluidos incompresibles.

Donde para flujo laminar

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.7)$$

Siendo para tubos lisos, régimen turbulento ($3 \times 10^5 \leq Re \leq 10^5$)

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.8)$$

Una función de transición empírica para tubos comerciales en la región entre tubos lisos y la zona de turbulencia completa ha sido desarrollada por Colebrook.

Para régimen turbulento. Tubos rugosos comerciales.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -0,869 \cdot \ln \left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,523}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.9)$$

ε , rugosidad absoluta de la tubería; (m)

d, diámetro de la tubería; (m)

ε / d , rugosidad relativa; (adimensional)

En lugar de la expresión anterior, la cual es muy compleja, se puede utilizar la siguiente fórmula explícita para λ con las restricciones puestas a ella, teniendo en

cuenta: $(10^{-6} \leq \varepsilon/d \leq 10^{-2} \text{ y } 5000 \leq R_e \leq 10^8 \quad 5000 \leq R_e \leq 10^8)$

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{5,74}{R_e^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.10)$$

En la figura 2.1. Se muestra el diagrama de Moody, flujo laminar y turbulento en tuberías lisas y rugosas, para la obtención del coeficiente de pérdida de carga.

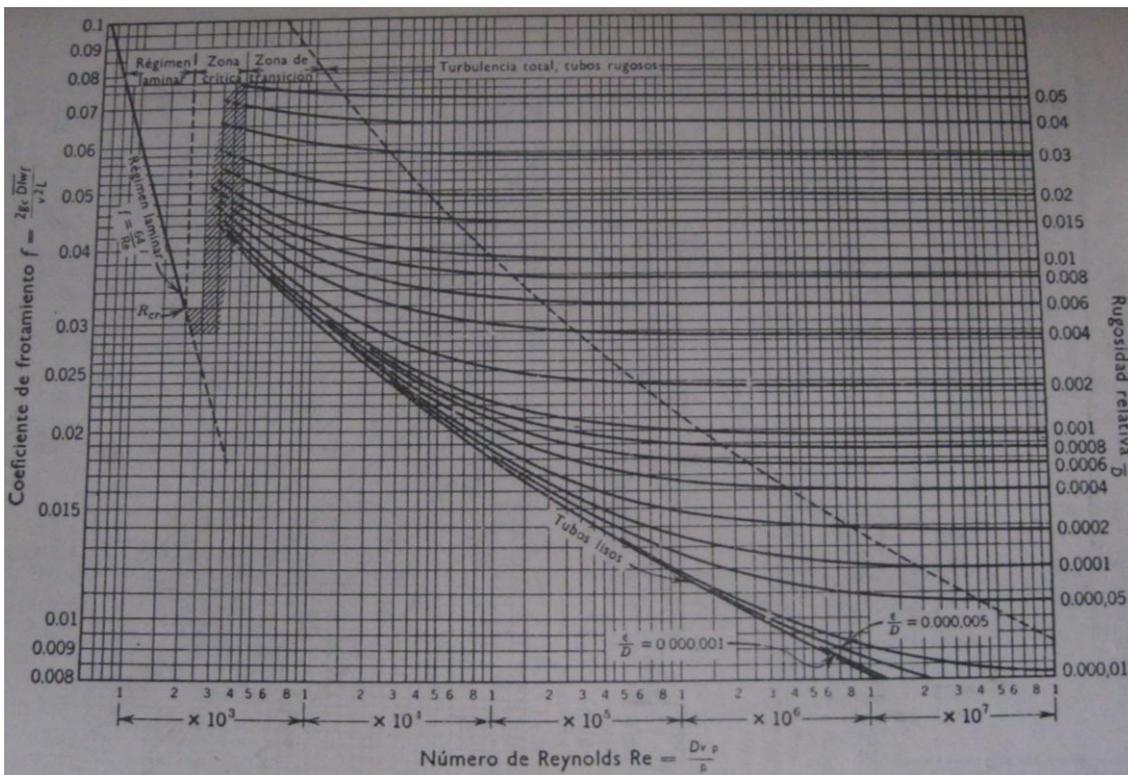


Figura 2.1. Diagrama de Moody.

Aplicando la ecuación de Bernoulli se obtiene la ecuación para una tubería simple, ecuación.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2.g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2.g} + \sum h_{f_{1-2}} \quad (2.11)$$

Trabajando la ecuación (2.11) se llega a la siguiente:

$$H_{nec} = \Delta Z + \frac{P_2}{\gamma} + \sum h_f \quad (2.12)$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$

γ - es la altura piezométrica necesaria para que el fluido fluya; (m)

ΔZ - altura geométrica a la que asciende el fluido en el proceso de flujo; (m)

$$\Delta Z' = \Delta Z + \frac{P_2}{\gamma}$$

A la suma $\frac{P_2}{\gamma}$ se la denomina carga estática y es la altura que el fluido debe vencer para comenzar a fluir.

$\sum h = R.Q^m$ - representa la pérdida total de energía que se produce en el transporte del fluido, incluye la tubería recta y los accesorios.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \Delta Z' + \sum h = \Delta Z' + R.Q^m \quad (2.13)$$

Donde,

R- es la constante hidráulica de la tubería; (s/m²)

m- es el exponente que depende del tipo de régimen de flujo

m = 1- si el régimen o flujo es laminar

m = 2- si el régimen o flujo es turbulento

Flujo Laminar

$$R = \frac{128.v(1 + l_{eq})}{\pi.g.d^4} \quad (2.14)$$

L_{eq} es la longitud equivalente a la pérdida hidráulica en los accesorios; (m)

Flujo Turbulento

$$R = \left(\sum k + \lambda \cdot \frac{1}{d} \right) \frac{8}{\pi^2 \cdot g \cdot d^4} \quad (2.15)$$

La curva de operación del sistema queda definida por la carga estática total y las pérdidas de presión en el sistema de bombeo (carga dinámica).

La carga estática total se determina conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga y la línea de centros de la bomba, así como las presiones en esos mismos puntos.

La carga dinámica total representa las pérdidas de presión, las cuales se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser intercambiadores de calor u otros.

Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del gasto. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios y las características del líquido bombeado. La curva de operación del sistema se muestra en la figura 2.2, se recomienda calcular por la ecuación:

$$H_{red} = \Delta Z + R \cdot Q^2 \quad (2.16)$$

Donde:

ΔZ - altura geométrica.

Los coeficientes R y m tienen diferentes valores en dependencia del régimen de la corriente (Vennard, 1986).

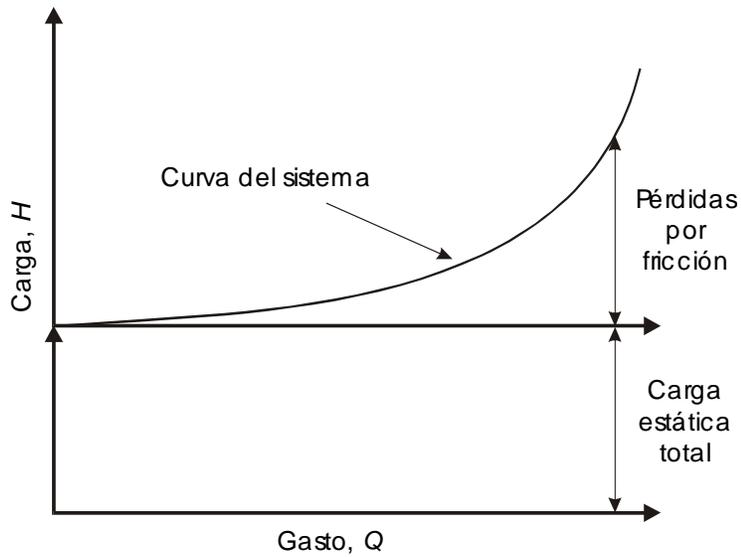


Figura 2.2. Curvas de operación del sistema

2.3.1. Pérdidas locales

El coeficiente de resistencia k se define como el coeficiente de resistencia hidráulica local. Está asociado con el diámetro al cual se refiere la velocidad. En muchos sistemas de tuberías las pérdidas originadas por los accesorios son superiores a las originadas por las tuberías a lo largo del flujo.

$$\sum h_L = k \cdot \frac{v_m^2}{2 \cdot g} \quad (2.17)$$

En la tabla 2.1, se muestran diferentes valores según el accesorio.

Tabla 2.1. Coeficientes aproximados de pérdidas locales. (Kasatkin 1985).

| <i>Accesorio</i> | k |
|---------------------------------------|----------|
| Válvula de retención abierta | 2,5 |
| Válvula de compuerta abierta | 0,2 |
| Codo 90° St. | 0,9 |
| Te St. paso a 90° | 1,8 |
| Te derecha reducida $d/D = 0,3$ a 90° | 4,0 |
| Te derecha reducida $d/D = 0,5$ a 90° | 2,3 |

2.4. Análisis de la cavitación del sistema

La cavitación ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por debajo de la presión de vapor del fluido, generándose burbujas de vapor. Estas implotan en los alabes del impulsor cuando llegan a una zona de presión más alta. Aunque esta no es exactamente una medida de ahorro de energía, sí es de importancia observar si una bomba está cavitando, ya que bajo estas condiciones la bomba no cumplirá con las exigencias que de ella se esperan. Por lo tanto, cuando una bomba cavita consume energía que no aprovecha.

Cuando se bombea un líquido, la presión dentro de la bomba nunca deberá ser menor a la presión de vapor del líquido a la máxima temperatura de bombeo.

Siempre se debe tener suficiente energía disponible en la succión de la bomba para lograr que el fluido llegue al impulsor y contrarreste las pérdidas entre la succión y la entrada al impulsor.

A cada sistema de bombeo puede asignarse su NPSH correspondiente, valor que depende de la configuración geométrica existente en el mismo sistema y se denota como NPSH disponible (NPSHd).

Por otra parte, los fabricantes de bombas manufacturan sus equipos para operar satisfactoriamente hasta ciertos valores NPSH. A este valor se le denomina NPSH requerido (NPSH_r).

Cuando en la operación de una bomba el NPSH requerido es mayor que el disponible, una fracción del líquido se vaporiza en el interior de la bomba y en consecuencia, esta entregará una cantidad menor de gasto y carga, pudiendo llegar incluso a no bombear. A este fenómeno se le llama cavitación.

2.4.1. Carga neta de succión positiva disponible (NPSH_d)

El NPSH es la presión absoluta en la entrada de la bomba expresada en unidades de altura del líquido, más la energía de velocidad, menos la presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo (punto de saturación) y corregida a la línea de centros de la bomba (en el caso de bombas horizontales).

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, la expresión para la determinación del NPSH disponible es:

$$NPSH_d = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} - h_f \pm h_{es} \quad (2.18)$$

Donde:

NPSH_d- es la carga neta de succión positiva disponible.

P_s- es la presión del depósito de succión.

h_f- son las pérdidas por fricción en la línea de succión.

h_{es}- es la altura geométrica de la succión.

P_{vap}- es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

ρ- es la densidad del fluido.

g- es la aceleración de la gravedad.

El valor de NPSHr se determina experimentalmente por el fabricante del equipo y tiene un valor determinado para un cierto tipo de bomba. En la práctica se recomienda como margen de seguridad añadir 0.5 m al valor de NPSHr.

Para evitar la cavitación de la bomba es necesario que el NPSH disponible sea mayor que el NPSH requerido, es decir:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr} \quad (2.19)$$

2.5. Propuesta de la metodología para la evaluación de las medidas de ahorro de energía

Con el fin de mejorar la eficiencia energética en los sistemas de bombeo y de promover, al mismo tiempo, el uso racional de la energía eléctrica y los recursos hídricos se elaboró la presente metodología.

Esta metodología se diseñó especialmente para el personal encargado de la selección, operación, supervisión y mantenimiento de los distintos procesos y equipos que incorporan en su operación bombas centrífugas horizontales.

La metodología de evaluación energética de bombas centrífugas horizontales está formada por las siguientes secciones:

- Recopilación de información.
- Mediciones.
- Bases teóricas para realizar la evaluación de las medidas de ahorro de energía.
- Procedimientos de evaluación de las medidas de ahorro de energía.

2.5.1. Objetivos de la metodología:

- Establecer los parámetros técnicos y eléctricos así como también las bases teóricas necesarias para realizar la evaluación energética de bombas centrífugas horizontales.
- Establecer los procedimientos para caracterizar y evaluar las medidas de ahorro de energía en este tipo de bombas.
- Ejemplificar la evaluación de las medidas de ahorro de energía identificadas.

2.5.2. Descripción de las curvas características de las bombas

Una bomba centrífuga que opera a velocidad constante puede descargar cualquier capacidad desde cero a un valor máximo que depende del tamaño, diseño y condiciones de la succión (Karassik y Carter, 1968). La carga total que genera la bomba, la fuerza requerida para moverla y la eficiencia resultante varían con la capacidad. Estas curvas se obtienen gráficamente y se interrelacionan en:

- Curva de carga contra gasto.
- Curva de NPSH contra gasto.
- Curva de eficiencia contra gasto.
- Curva de potencia contra gasto.

Diversos autores como Bienvenido (1973), Turiño (1994), León y Percy, (2000) y Turro (2002), coinciden en establecer el siguiente modelo para la característica de carga-flujo de las bombas centrífugas a velocidad de giro constante en la figura 2.3 se muestra la curvas características de la bomba.

$$H = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2. \quad (2.20)$$

Donde:

$A(m)$, $B,(s/m^2)$, $C,(s^2/m^3)$ - coeficientes que se pueden obtener de análisis de la curva característica suministrada por el fabricante.

Q - Caudal para un punto H de trabajo de la bomba; (m^3/s)

El sistema cuenta con una bomba centrífuga modelo K 160/30 T2 de fabricación URSS, de la documentación técnica de la bomba se obtienen los datos característicos como son: gasto, carga, potencia y eficiencia.

Tabla 2.2. Datos de la bomba obtenidos de su catálogo

| Q(L/s) | H(m) | N(Hp) | η (%) |
|--------|------|-------|------------|
| 44,4 | 30 | 25 | 70 |

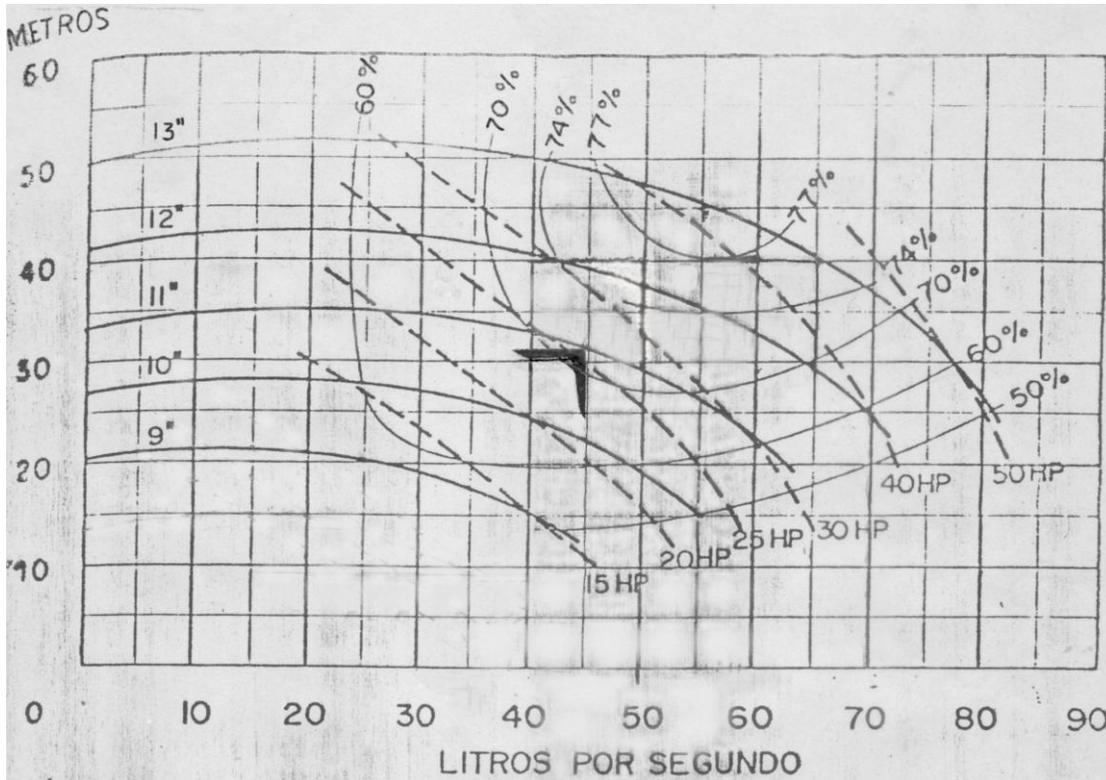


Figura 2.3. Curvas características de la bomba

2.6. Método alternativo para determinar el rendimiento de la bomba y el consumo de energía

En caso de no contar con las curvas características de la bomba, se puede determinar la eficiencia de la bomba mediante el siguiente procedimiento.

1. Determinar la potencia requerida por la bomba en la flecha (potencia demandada por la bomba o la entregada por el motor), mediante la ecuación:

$$P_f = N_m \cdot \eta_m \quad (2.21)$$

P_f - potencia en la flecha; (hp o kW)

N_m - potencia del motor; (kW)

η_m - rendimiento del motor; (%)

2. Establecer la potencia hidráulica de la bomba mediante la siguiente ecuación.

$$P_h = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{1,000 \text{ W/kW}} \quad (2.22)$$

P_h - Potencia hidráulica; (kW)

Q- gasto; (m^3/s)

H- carga total; (m)

ρ - densidad del fluido; (kg/m^3)

g- aceleración de la gravedad; (m/s^2)

De tal manera que la eficiencia de la bomba queda definida como:

$$\eta_B (\%) = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{P_f \cdot 1,000 \text{ W/kW}} \quad (2.23)$$

η_B - rendimiento de la bomba; (%)

Si se conoce la potencia en la flecha y la eficiencia del motor, se puede determinar la potencia requerida (kW) por el conjunto bomba-motor con la ecuación:

$$P_R = \frac{P_f}{\eta_m} \quad (2.24)$$

P_f - potencia requerida; (kW)

El consumo de energía se determina con la potencia que demanda el conjunto bomba-motor (kW) y el tiempo de operación del mismo (horas al año).

$$C = P_m \cdot h_o \quad (2.25)$$

C- consumo de energía; (kWh/año)

P_m - potencia medida; (kW)

h_o - horas de operación; (h/año)

2.6.1. Determinación de los costos de operación

Los costos de operación se determinan considerando los siguientes parámetros y expresiones:

- La tarifa aplicada en la empresa
- Región
- Costo por demanda; (\$/kW)
- Costo por consumo; (\$/kWh)
- La demanda promedio de la bomba-motor; (kW)
- El consumo de energía anual; (kWh/año)

El costo de la demanda es:

$$C_D = N_m \cdot C_d \cdot 12 \quad (2.26)$$

C_D - costo por demanda; (\$/kW)

El costo por consumo se expresa de la siguiente forma:

$$C_c = C_e \cdot C_t \quad (2.27)$$

C_c - Costo por consumo; (\$/año)

C_e - Consumos de energía; (\$/kWh)

C_t - Costo por tarifa; (\$/año)

Para el caso de tarifas horarias se debe considerar el costo para cada periodo de facturación (consumo de energía en horas base, intermedia, punta y semi-punta).

Entonces, el costo total de operación queda definido como la suma de los costos por demanda más los costos por consumo.

$$C_{to} = C_d + C_c \quad (2.28)$$

C_{to} - Costo total de operación; (\$/año)

2.7. Descripción de la instrumentación de la instalación

Una forma práctica de obtener la caída de presión en el sistema de bombeo, es a través de mediciones en campo, por ejemplo, instalando manómetros en la descarga de la bomba (inmediatamente después de la brida) y al final de la línea de suministro.

Los manómetros instalados poseen las siguientes características.

- Diámetro de carátula 150 mm
- Rango de medición (0 - 25 Kg/cm²).
- Precisión (1 Kg/cm²).
- Cantidad instalado en la estación (1).

Características del flujómetro utilizado:

- Rango 0 - 200 N
- Cantidad instalado (7).

Los termómetros instalados poseen las siguientes características.

- Diámetro de carátula 100 mm
- Rango de medición (0 - 60 C).
- Precisión (1C).
- Cantidad instalado (7).

2.8. Conclusiones parciales

1. Se plantearon las metodologías de cálculos para el análisis de los parámetros, que garanticen la presión y eficiencia necesaria para el funcionamiento de la red de bombeo para agua tecnológica.

2. Se detallan las características de la bomba instalada, así como las gráficas que las caracterizan, donde se explican los métodos y técnicas que se debe seguir para poder realizar un análisis preliminar de la instalación de bombeo para agua tecnológica.

Capítulo 3. Análisis de los resultados e impactos

3.1. Introducción

Para el diseño y explotación con efectividad del sistema es necesario seleccionar correctamente el equipamiento de bombeo para las condiciones correctas de la instalación, determinar y analizar el régimen de trabajo de las bombas para así lograr una correcta operación. Basándonos en los datos obtenidos de las mediciones realizadas se procede a realizar los gráficos comparativos que nos permiten obtener los resultados obtenidos de cada metodología para la evaluación del uso eficiente del agua.

Objetivo del capítulo: Analizar los resultados producto de la investigación, permitiendo sentar las bases para futuros trabajos que sobre la temática se desarrollen.

3.2. Análisis del consumo de energía eléctrica en la estación de bombeo

Para el análisis del cálculo del consumo de energía de la bomba partimos de la potencia que debe desarrollar estas para poder vencer la carga dinámica total, y conociendo el tiempo de bombeo se calculó lo que consume la bomba para poder llevar a cabo el bombeo del líquido hasta los consumidores.

A continuación tomamos los datos del año 2011, del consumo real de la estación de bombeo y lo analizamos en función de los datos técnicos de la bomba instalada.

Partiendo del análisis del punto de operación de la bomba en la estación de bombeo obtenemos los siguientes datos, que nos facilitarán analizar el comportamiento del consumo de electricidad.

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3, relacionaremos algunas graficas comparativas que ilustran los valores contenidos en las tablas # 1, 2 y 3 (ver anexos 1).

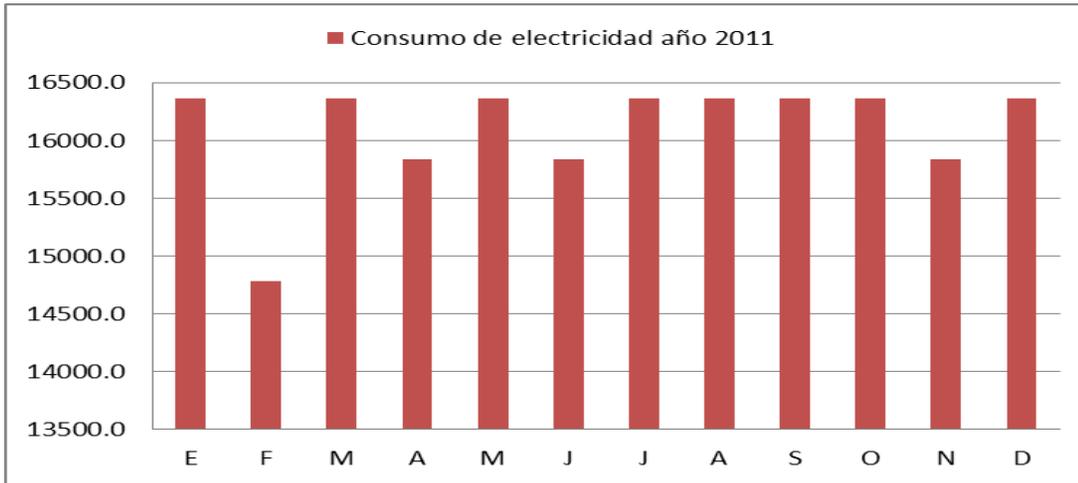


Figura 3.1. Consumo de electricidad año 2011.

El consumo de electricidad en los meses de febrero, abril, junio y noviembre se observa un comportamiento decreciente en los valores obtenidos, esto se debe a la falta del fluido eléctrico por mantenimiento a las redes eléctricas. En la figura 3.2, se realiza una evaluación del consumo de energía entre lo real consumido y lo que se debía consumir trabajando con los parámetros nominales de la instalación.

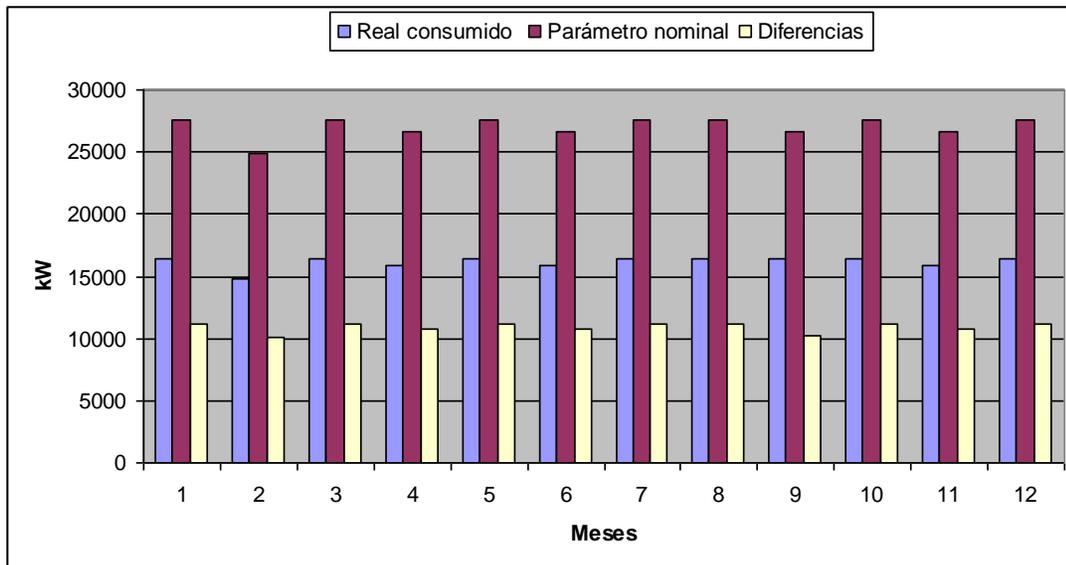


Figura 3.2. Consumo de energía (relación entre lo real consumido y lo que se debía consumir trabajando con los parámetros nominales).

Como se puede apreciar en el consumo de energía entre lo real consumido y lo que se debía consumir, se realiza el análisis sobre el comportamiento de forma general entre la diferencias existentes, en el mes de febrero y noviembre se nota un ligero

descenso debido al mantenimiento planificado de la bomba. En la figura 3.3, se refleja el total consumido en el año 2011.

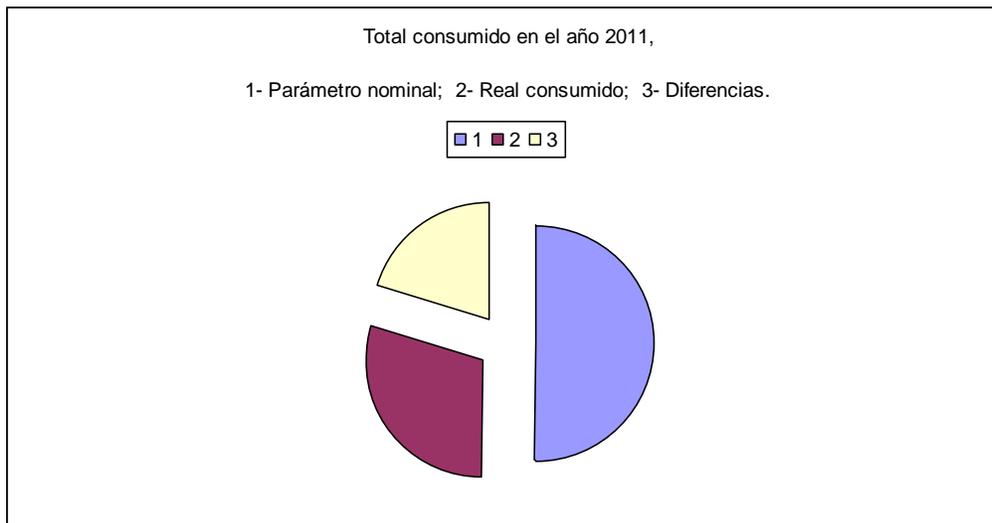


Figura 3.3. Consumo de energía (relación entre lo real consumido y lo que se debía consumir trabajando con los parámetros nominales).

El grafico muestra el comportamiento del total consumido en la instalación, se observa que el valor de las diferencias entre el parámetro nominal y el real consumido, lo que representa un consumo de 130,872 kW al año, cifra significativa para la mejora del uso racional de la energía eléctrica.

3.3. Análisis de las cifras contratadas con el INRH año 2012

En la tabla 3.1 mostramos los volúmenes que autoriza el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) a la Empresa Plásticos Cajimaya donde se evidencian las tarifas por explotación o uso de una fuente hídrica, así como el valor total contratado.

Tabla 3.1. Cifras contratadas en el año 2012.

| Fuente | Asignación Um (Hm ³) | | | | |
|--------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | Total |
| Río cajimaya | 0,009 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,039 |

3.4. Obtención de los parámetros del sistema de tuberías

Para la obtención de los parámetros del sistema tomamos los datos de la bomba que está trabajando, se tiene en cuenta el gasto de diseño por el cual se selecciona la bomba, tenemos la longitud de la tubería desde la estación de bombeo hasta los consumidores.

El procedimiento de cálculo para la valoración económica de la instalación se realizó en correspondencia y los parámetros a utilizar, logrando la aplicación de la metodología descrita en las literaturas. Este permite un análisis de los resultados, lo cual constituye una herramienta importante para el análisis de la instalación.

Con los datos obtenidos se procede a calcular las pérdidas que ocurren en el trayecto desde la toma a la descarga. Esto se refleja en una tabla que aparece a continuación donde se procede al cálculo de la carga dinámica total que debe vencer la bomba para poder llevar el líquido hasta los consumidores, en la Tabla 3.2, (ver anexos 2) se muestra el cálculo de operación del sistema actual.

Tabla 3.2. Cálculo de operación del sistema actual.

| Lectura | Q (m ³ /s) | Re | λ | R(s ² /m ⁵) | $\Sigma h=R.Q^2$ (m) |
|---------|-----------------------|----------|-----------|------------------------------------|----------------------|
| 1 | 0,00021 | 4,70E+03 | 0,07 | 207773,4 | 0,01 |
| 2 | 0,00021 | 2,35E+03 | 0,03 | 4879,6 | 5,35 |
| 3 | 0,00303 | 3,33E+04 | 0,07 | 2093,2 | 5,87 |

Tabla 3.2. Cálculo de operación del sistema actual (continuación).

| | | | | | |
|---|---------|----------|------|---------|-------|
| 4 | 0,00414 | 4,55E+04 | 0,07 | 12557,5 | 31,80 |
| 5 | 0,02903 | 3,19E+05 | 0,07 | 35719,0 | 61,89 |
| 6 | 0,02908 | 3,20E+04 | 0,07 | 13844,9 | 76,60 |

Al analizar el sistema de bombeo, para delimitar cuales eran las causas que originaban las caídas de presión en el mismo, se pudo arribar a los siguientes resultados. La bomba que se encuentra instalada al sistema no satisface las

condiciones de operación establecidas, puesto que la carga máxima que ella desarrolla no cumple con los requerimientos exigidos por el sistema.

3.4.1. Curva de operación del sistema

La curva de operación del sistema de tuberías representa la energía por unidad de peso (carga) que es necesario suministrarle al sistema, para que circulen a través del mismo los caudales que se deseen. Cada punto de la curva representa la carga necesaria H_{red} , para que circule el caudal Q , que le corresponda. En este caso se tomó en cuenta desde que el agua es bombeada desde la estación hasta los consumidores. Efectuando el cálculo mediante la ecuación (2.16), en la tabla 3.3 se realiza una muestra de los cálculos de la curva del sistema.

Tabla 3.3. Datos de la Curva del sistema.

| Lectura | Q (m ³ /s) | H_{red} (m) |
|---------|-------------------------|---------------|
| 1 | 0,00021 | 6,00158 |
| 2 | 0,00039 | 6,00531 |
| 3 | 0,00056 | 6,01123 |
| 4 | 0,00074 | 6,01933 |
| 5 | 0,00092 | 6,02962 |

Tabla 3.3. Datos de la Curva del sistema (continuación).

| | | |
|----|---------|---------|
| 6 | 0,00110 | 6,04210 |
| 7 | 0,00128 | 6,05677 |
| 8 | 0,00145 | 6,07363 |
| 9 | 0,00167 | 6,09681 |
| 10 | 0,00199 | 6,12316 |
| 11 | 0,00210 | 6,15268 |

| | | |
|----|---------|----------|
| 12 | 0,00265 | 6,24313 |
| 13 | 0,00302 | 6,3168 |
| 14 | 0,00358 | 6,44386 |
| 15 | 0,00413 | 6,59228 |
| 16 | 0,00613 | 7,30355 |
| 17 | 0,00813 | 8,29179 |
| 18 | 0,01146 | 10,55434 |
| 19 | 0,01346 | 12,28116 |
| 20 | 0,01546 | 14,28495 |
| 21 | 0,01746 | 16,56571 |
| 22 | 0,01946 | 19,12343 |
| 23 | 0,02169 | 22,29019 |
| 24 | 0,02569 | 28,85204 |
| 25 | 0,02902 | 35,16654 |
| 26 | 0,02907 | 35,26711 |

A partir de los datos obtenidos en la tabla 3.3, se procede a la elaboración de la curva de operación del sistema representada en la figura 3.4.

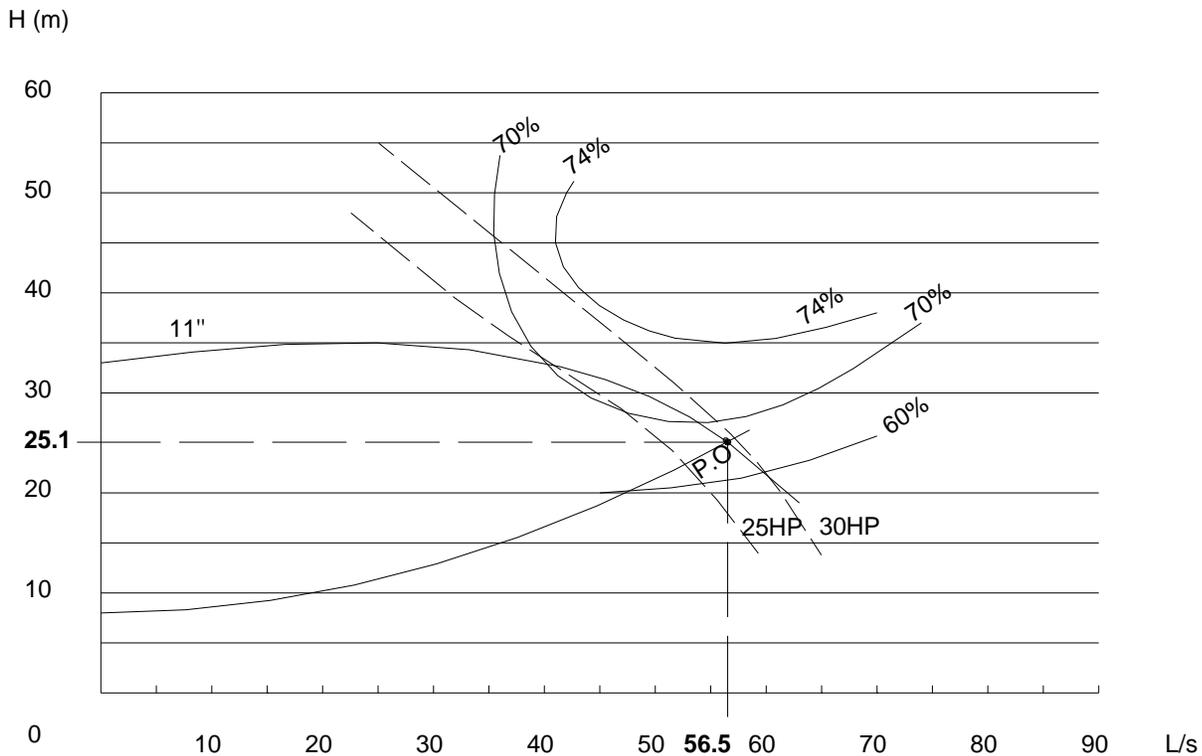


Figura 3.4. Curva característica del sistema.

Utilizando la metodología para el cálculo hidráulico y energético de la instalación se pudo obtener el punto de operación de la misma, obteniendo los siguientes valores.

$$H_{red} = 25,1 \text{ m} \quad \eta = 69 \% \quad N = 29 \text{ Hp} = 22 \text{ kW} \quad Q = 56,5 \text{ l/s}$$

El proceso trabaja a una presión de 2,5 kg/cm². Según los cálculos realizados al sistema, las condiciones exigidas son de Q= 104,6 m³/h y presión de 7,6 kg/cm² parámetros que no son satisfecho por la bomba, debido a las pérdidas originadas por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas y accesorios, según el análisis de la ecuación (2.3), teniendo en cuenta la velocidad recomendada para el agua en tuberías, las características de la bomba y del sistema, se refleja que el diámetro actual de la tubería principal igual a 0,10 m, es mucho menor que el diámetro recomendado por el sistema igual a 0,15 m, esto trae como consecuencias que a menor diámetro aumenta la velocidad del fluido y disminuye la presión. Además el

sistema está compuesto por 32 válvulas y 52 accesorios, de diferentes tipos, por lo que no le permiten al sistema cumplir la función para la cual fue diseñado.

3.5. Análisis de la cavitación del sistema

Cuando en la operación de una bomba el NPSH requerido es mayor que el disponible, una fracción del líquido se vaporiza en el interior de la bomba y en consecuencia, esta entregará una cantidad menor de gasto y carga, pudiendo llegar incluso a no bombear. A este fenómeno se le llama cavitación y se le puede identificar por las siguientes manifestaciones:

- Ruido intenso y continuo al trabajar la bomba (parecido al de un molino de bolas).
- Vibración.
- Calentamiento.
- Frecuente mantenimiento (erosión por cavitación en el impulsor).
- Gasto insuficiente.

Según el análisis de la ecuación (2.18), podemos expresar que la bomba no cavita por lo que se cumple la condición que el NPSH disponible es mayor que el NPSH requerido.

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

$$5,6 > 3,5$$

3.6. Determinación del rendimiento de la bomba y el consumo de energía

Según la metodología planteada en el capítulo 2, se procede al cálculo de las principales características técnicas de la instalación, los que se resumen en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Principales características determinadas.

| Parámetros técnicos | Instalación actual | Ecuación |
|-----------------------------------|--------------------|----------|
| Potencia en la flecha (hp o kW) | 18,7 | 2,21 |
| Potencia hidráulica (kW) | 13,05 | 2,22 |
| Eficiencia de la bomba (%) | 69 | 2,23 |
| Potencia requerida (kW) | 22 | 2,24 |
| Consumo de energía (kWh/año) | 192720,0 | 2,25 |
| Costo por demanda (\$/año) | 628320,0 | 2,26 |
| Costo por consumo (\$/año) | 4788,19 | 2,27 |
| Costo total de operación (\$/año) | 633108,19 | 2,28 |

Según los cálculos realizados en la metodología de evaluación de las medidas de ahorro de energía, podemos observar el comportamiento del costo por consumo con valor 4788,19 (\$/año), con relación al pago por consumo de electricidad con valor 4781,82 (\$/año), existiendo una diferencia mínima de 6,37(\$/año).

En la tabla 3.5, reflejamos los pagos por concepto de consumo de electricidad en el año 2011.

Tabla 3.5. Pagos por concepto de consumo de electricidad.

| Meses | Estación de bombeo (CUP) | Parámetro nominal. (CUP) | Diferencia (CUP) | Relación (CUP/kW) |
|---------|--------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| Enero | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |
| Febrero | 360,13 | 620,45 | 260,32 | 0,0250 |
| Marzo | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |

Tabla 3.5. Pagos por concepto de consumo de electricidad (continuación).

| | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|--------|
| Abril | 394,94 | 664,22 | 269,28 | 0,0249 |
| Mayo | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |
| Junio | 394,94 | 664,22 | 269,28 | 0,0249 |
| Julio | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |
| Agosto | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |
| Septiembre | 394,94 | 642,80 | 247,85 | 0,0241 |
| Octubre | 401,75 | 675,66 | 273,92 | 0,0245 |
| Noviembre | 386,46 | 664,73 | 278,27 | 0,0250 |
| Diciembre | 408,11 | 686,36 | 278,26 | 0,0249 |
| Total año 2011 | 4781,82 | 8050,27 | 3268,45 | 0,298 |

A continuación mostramos el valor de servicios y forma de pago que emite el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) a la Empresa Plásticos Cajimaya por la explotación o uso de la fuente hídrica.

- 0,10 CUP/ m³ hasta la norma de consumo,
- por encima de la norma 0,30 CUP/ m³.

El valor de este contrato es \$ 3900.0 CUP de acuerdo con el volumen planificado.

3.7. Impacto medioambiental

El medio ambiente es un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales, que evoluciona a través del proceso histórico de la sociedad, abarca la naturaleza, la sociedad, el patrimonio histórico-cultural, lo creado por la humanidad, la propia humanidad, y como elemento de gran importancia las relaciones sociales y la cultura. Esta interpretación de su contenido explica que su estudio, tratamiento y manejo, debe caracterizarse por la integralidad y el vínculo con los procesos de desarrollo.

Para las bombas, en su interacción con el medioambiente, se destaca que existe un nivel de ruido medio respecto a las normas internacionales establecidas.

Los niveles máximos admisibles de ruido y los aspectos de protección contra el ruido, constituyen los requisitos higiénicos sanitarios que habrá de observarse en los puestos y locales de trabajo, con el objetivo de disminuir los efectos nocivos del ruido sobre los trabajadores que desarrollan su actividad laboral en los mismos.

En mediciones realizadas a la instalación se comprobó que los niveles de ruido oscilaban en (42-45) dB(A), lo que demuestra que aunque estén en la norma, afectan por acumulación y constancia el tímpano del oído y ocurre la pérdida de la audición.

El agua del sistema de bombeo para agua tecnológica no reúne los requisitos para ser consumida, ni para uso de aseo, durante la elaboración del producto existe un intercambio con el fluido, este posee varios componentes químicos con efecto contaminante, pudiendo existir la posibilidad de proporcionales enfermedades al ser humano, principalmente microorganismos, parásitos y alguna enfermedad profesional.

3.8. Conclusiones parciales

1. La aplicación del software Microsoft Excel sirvió para desarrollar con mayor facilidad los cálculos para la obtención de los valores de la curva de la bomba y el sistema de tuberías.
2. Se valoraron los efectos de las pérdidas originadas por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes.
3. Se obtuvo la valoración sobre la metodología energética aplicada a la estación de bombeo, obteniendo de acuerdo a los parámetros determinados un consumo de energía de 192720,0 kWh/año, un costo por consumo de 4788,19 CUP/año y un costo total de operación de 633108,19 CUP/año.

Conclusiones generales

1. La bomba centrífuga seleccionada para la operación del sistema, no satisface los parámetros establecidos por la baja presión que entrega, la presión de trabajo del proceso es de 2.5 kg/cm^2 y las condiciones que requiere el sistema es $Q=104.6 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 7.6 kg/cm^2 dejando de entregar 5.1 kg/cm^2 .
2. El sistema de tuberías instalado desde la succión hasta la descarga posee cuantiosas pérdidas de energía debido a las ramificaciones, tuberías de diámetros 1", 2" y 4", a 32 válvulas y 52 accesorios existentes.
3. Se demostró que existe un consumo de energía eléctrica real con valor ascendente a 192544.0 kW/año, para ello se realiza la implementación de un plan de medida con el fin de mejorar la eficiencia energética en el sistema de bombeo para agua tecnológica.
4. El nivel de ruido en la instalación oscila entre (42-45) dB(A), no es significativo, pero existe una afectación al oído por acumulación y constancia, el agua del sistema de bombeo para agua tecnológica no reúne los requisitos para su utilización, por poseer varios componentes químicos con efecto contaminante.

Recomendaciones

1. Implementando un plan de medida de ahorro energético, se podrá disminuir el consumo de energía.
2. Realizar el diseño de la red de distribución, teniendo en cuenta el criterio técnico-económico, lo que garantizará satisfacer la demanda de operación del agua de enfriamiento con el mínimo de pérdidas.

Bibliografía

1. Betancourt L. Gestión ambiental empresarial. [Metodología](#) para la realización de una revisión medio ambiental inicial. Tomado de www.monografias.com/trabajos16/gestion-ambiental.shtml, junio 2005.
2. Brow G. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Editorial Revolucionaria, La Habana, 1984
3. Crane. "Flujo de fluidos; en válvulas, accesorios y tuberías". México. Edición McGRAW – HILL/interamericana de México, S.A de C.V. 1995.
4. Catálogo de Bomba centrifugas, 1989
5. Contrato No 3/12 sobre pago por servicios derecho de uso de las terrestres y vertimiento de residuales, 2012.
6. Chacón, L. Proyecto topográfico del sistema de suministro de agua en la central termoeléctrica Lidio Ramón Pérez. 1997.
7. Fernández, H. K. Universidad de oriente, facultad de construcciones. 2003.
8. García, P.O. Análisis del sistema de bombeo bodega-llenadora de cerveza. Trabajo de diploma. 1996. IST, Holguín.
9. INEL. Estudio inicial del abasto de agua en la central termoeléctrica Lidio Ramón Pérez. Proyecto hidr'aulica. 1994
10. Jáuregui, J.; Martínez, L: Mecánica de los fluidos y máquinas de flujo, texto básico para la maestría de eficiencia energética, universidad central de las villas, 2007.
11. Mataix. Claudio. Turbomaquinas Hidráulicas. Ed. ICAI.1975.
12. Normas NC-ISO 9000:2001. Sistema de Gestión de la Calidad.
13. Nekrasov, B.: Hidráulica. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, 1968.
14. Pérez, J.L., Simulación tridimensional de la interacción entrada- impulsor de una bomba hidr'aulica de disco. Revista técnica ing. Universidad Zulia, Venezuela, vol. 29 No. 1, 49-57,2006.
15. Rodríguez, F.L. Evaluación del sistema de abasto en la central termoeléctrica Lidio Ramón Pérez para uso eficiente del agua. Maestría en ciencias técnicas. 2011. ISMM, Moa.
16. Streeter V., Mecánica de los Fluidos, Editorial Pueblo y Educacion, La Habana, 1968.



17. Turro, A. Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal. Tesis doctoral. ISMMANJ. Moa. 2002.
18. Turiño, I. M., Determinación aproximada de las características de funcionamiento de una bomba centrífuga. Centro azúcar, No. 1, 1994.
19. Vennard, J.K.; Street, R.L.: Elementos de mecánica de los fluidos. Ed. Revolucionaria. La Habana, 1986.

ANEXOS

ANEXOS 1**Tabla 1.** Consumo de electricidad en el año 2011, estación de bombeo.

| Consumo de electricidad en el año 2011 | | | | | | |
|---|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
| Estación de bombeo | 16368,0 | 14432,0 | 16368,0 | 15840,0 | 16368,0 | 15840,0 |
| | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Estación de bombeo | 16368,0 | 16368,0 | 16368,0 | 16368,0 | 15488,0 | 16368,0 |

Tabla 2. Datos del sistema de bombeo.

| | Datos del sistema de bombeo | | | |
|--------------------|------------------------------------|-----------|---------------|----------------|
| | Gasto (m ³ /s) | Carga (m) | Potencia (kW) | Eficiencia (%) |
| Estación de bombeo | 0,04 | 30 | 13,06 | 70 |

Tabla 3. Tablas comparativas.

| | Real Consumido(kW) | | | Datos Técnicos(kW) | | | Diferencias(kW) | | |
|------------|--------------------|----------|--------|--------------------|----------|--------|-----------------|----------|--------|
| | Mes | 24 Horas | 1 Hora | Mes | 24 Horas | 1 Hora | Mes | 24 Horas | 1 Hora |
| Enero | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,0 | 37,0 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Febrero | 14432,0 | 515,0 | 21,4 | 24864,0 | 888,00 | 37,00 | 10432,0 | 372,5 | 15,5 |
| Marzo | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,00 | 37,00 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Abril | 15840,0 | 528,0 | 22,0 | 26640,0 | 888,00 | 37,00 | 10800,0 | 360,0 | 15,0 |
| Mayo | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,00 | 37,00 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Junio | 15840,0 | 528,0 | 22,0 | 26640,0 | 888,00 | 37,00 | 10800,0 | 360,0 | 15,0 |
| Julio | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,00 | 37,00 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Agosto | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,00 | 37,00 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Septiembre | 16368,0 | 545,0 | 22,7 | 26640,0 | 888,00 | 37,00 | 10272,0 | 342,4 | 14,2 |
| Octubre | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,00 | 37,00 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Noviembre | 15488,0 | 516,0 | 21,5 | 26640,0 | 888,0 | 37,0 | 11152,0 | 371,7 | 15,4 |
| Diciembre | 16368,0 | 528,0 | 22,0 | 27528,0 | 888,0 | 37,0 | 11160,0 | 360,0 | 15,0 |
| Total | 192544,0 | 6329,30 | 263,72 | 32412,0 | 10656,0 | 444,0 | 131576,0 | 4326,7 | 180,2 |

ANEXOS 2

Tabla 4. Cálculo de operación del sistema actual.

| Lectura | Q (m ³ /s) | Re | λ | R(s ² /m ⁵) | $\Sigma h= R.Q^2$ |
|---------|-----------------------|----------|-----------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 2 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 3 | 0,0033 | 7,33E+04 | 0,065 | 296918,30 | 3,29909 |
| 4 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 5 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 6 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 7 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,18767 |
| 8 | 0,0022 | 4,89E+04 | 0,065 | 296918,30 | 1,46626 |
| 9 | 0,0040 | 8,80E+04 | 0,065 | 296918,30 | 4,75069 |
| 10 | 0,0033 | 7,33E+04 | 0,065 | 296918,30 | 3,29909 |
| 11 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 29522,82 | 1,18767 |
| 12 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,18767 |
| 13 | 0,0033 | 7,33E+04 | 0,065 | 25800,72 | 3,29909 |
| 14 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,18767 |
| 15 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,18767 |
| 16 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,18767 |
| 17 | 0,0020 | 4,40E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,18767 |
| 18 | 0,0022 | 4,89E+04 | 0,065 | 25800,72 | 1,46626 |
| 19 | 0,0040 | 8,80E+04 | 0,065 | 25800,72 | 4,75069 |
| 20 | 0,0033 | 7,33E+04 | 0,065 | 25800,72 | 3,29909 |



| | | | | | |
|----|--------|----------|-------|---------|---------|
| 21 | 0,0249 | 2,74E+05 | 0,048 | 366,35 | 0,22694 |
| 22 | 0,0249 | 2,74E+05 | 0,048 | 1099,05 | 0,68081 |
| 23 | 0,0216 | 2,37E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,52769 |
| 24 | 0,0176 | 1,93E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,35001 |
| 25 | 0,0153 | 1,69E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,26701 |
| 26 | 0,0133 | 1,47E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,20190 |
| 27 | 0,0113 | 1,25E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,14587 |
| 28 | 0,0093 | 1,03E+05 | 0,048 | 1135,68 | 0,09893 |
| 29 | 0,0073 | 8,07E+04 | 0,048 | 1135,68 | 0,06107 |

Tabla 4. Cálculo de operación del sistema actual (continuación).

| | | | | | |
|----|--------|----------|-------|------------|-----------|
| 30 | 0,0040 | 4,40E+04 | 0,049 | 1159,34 | 0,01855 |
| 31 | 0,0020 | 2,20E+04 | 0,050 | 1183,00 | 0,00473 |
| 32 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 1594349,58 | 0,05039 |
| 33 | 0,0004 | 1,56E+04 | 0,066 | 1547456,95 | 0,19563 |
| 34 | 0,0005 | 2,35E+04 | 0,066 | 773728,47 | 0,22008 |
| 35 | 0,0011 | 4,69E+04 | 0,065 | 1861481,29 | 2,11795 |
| 36 | 0,0005 | 2,35E+04 | 0,066 | 773728,47 | 0,22008 |
| 37 | 0,0004 | 1,56E+04 | 0,066 | 1547456,95 | 0,19563 |
| 38 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 1594349,58 | 0,05039 |
| 39 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 484088,30 | 0,0152996 |
| 40 | 0,0004 | 1,56E+04 | 0,066 | 416719,21 | 0,0526815 |
| 41 | 0,0005 | 2,35E+04 | 0,066 | 416719,21 | 0,1185335 |
| 42 | 0,0005 | 2,35E+04 | 0,066 | 416719,21 | 0,1185335 |
| 43 | 0,0004 | 1,56E+04 | 0,066 | 416719,21 | 0,0526815 |
| 44 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 484088,30 | 0,0152996 |
| 45 | 0,0011 | 1,17E+04 | 0,042 | 7693,32 | 0,0087533 |
| 46 | 0,0006 | 2,42E+04 | 0,066 | 476272,86 | 0,1440725 |
| 47 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 484088,30 | 0,0152996 |
| 48 | 0,0006 | 2,42E+04 | 0,066 | 1547456,95 | 0,4681057 |
| 49 | 0,0002 | 7,82E+03 | 0,068 | 1594349,58 | 0,0503893 |
| 50 | 0,0007 | 3,20E+04 | 0,065 | 845474,20 | 0,4478143 |
| 51 | 0,0007 | 8,00E+03 | 0,042 | 1282,22 | 0,0006791 |

| | | | | | |
|----|--------|----------|-------|-----------|-----------|
| 52 | 0,0004 | 1,65E+04 | 0,066 | 476272,86 | 0,0669759 |
| 53 | 0,0004 | 1,65E+04 | 0,066 | 734182,35 | 0,1032444 |
| 54 | 0,0004 | 4,12E+03 | 0,042 | 2564,44 | 0,0003606 |
| 55 | 0,0002 | 9,41E+03 | 0,068 | 484088,30 | 0,0221463 |
| 56 | 0,0002 | 9,41E+03 | 0,068 | 484088,30 | 0,0221463 |
| 57 | 0,0006 | 2,82E+04 | 0,065 | 412811,49 | 0,1699694 |
| 58 | 0,0002 | 4,70E+03 | 0,056 | 41031,06 | 0,0018771 |
| 59 | 0,0002 | 4,70E+03 | 0,056 | 41031,06 | 0,0018771 |
| 60 | 0,0006 | 2,82E+04 | 0,065 | 666813,27 | 0,2745511 |
| 61 | 0,0010 | 1,12E+04 | 0,042 | 1602,78 | 0,0016566 |

Tabla 4. Cálculo de operación del sistema actual (continuación).

| | | | | | |
|----|--------|----------|-------|--------------|-----------|
| 62 | 0,0017 | 1,92E+04 | 0,042 | 1251,08 | 0,0038071 |
| 63 | 0,0028 | 3,09E+04 | 0,042 | 5769,99 | 0,0455965 |
| 64 | 0,0028 | 3,09E+04 | 0,042 | 2862,10 | 0,0226173 |
| 65 | 0,0006 | 2,44E+04 | 0,066 | 476272,86 | 0,1469978 |
| 66 | 0,0006 | 2,44E+04 | 0,066 | 476272,86 | 0,1469978 |
| 67 | 0,0006 | 2,44E+04 | 0,066 | 257909,49 | 0,0796017 |
| 68 | 0,0006 | 2,44E+04 | 0,066 | 257909,49 | 0,0796017 |
| 69 | 0,0011 | 2,44E+04 | 0,056 | 32287,53 | 0,0398612 |
| 70 | 0,0011 | 1,22E+04 | 0,042 | 4167,22 | 0,0051447 |
| 71 | 0,0001 | 4,40E+03 | 0,070 | 12247105,73 | 0,0306178 |
| 72 | 0,0001 | 4,40E+03 | 0,070 | 90391493,24 | 0,2259787 |
| 73 | 0,0001 | 4,40E+03 | 0,070 | 630237011,19 | 1,5755925 |

ANEXOS 3

Empresa Plásticos Cajimaya

Diagrama monolineal para agua tecnológica 15 °C

