



**Universidad
de Holguín**

FACULTAD
INGENIERÍA

DPTO. CONSTRUCCIONES

Determinación del comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua en la Universidad de Holguín

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

Autor: Prof. Ing. Jorge Luis Costafreda Velázquez

Tutores: DrC. Prof. Titular Ing. Reynaldo Laborde Brown

Consultante: DrC. Prof. Titular Roberto Johan Sierra Pérez

HOLGUÍN, 2018



PENSAMIENTO

“Si piensas que estás vencido, lo estás; si piensas que no te atreves, no lo harás; si piensas que te gustaría ganar, pero no puedes, no lo lograrás; si piensas que perderás, ya has perdido; en el mundo encontrarás que el éxito empieza con la voluntad del hombre”.

Fernando Vigorena Pérez

DEDICATORIA

A Lena, Jorge Luis padre, Martha, Nigga, los que están y los que ya no están, y por supuesto, a Diana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en principio a mi tutor Reynaldo Laborde Brown por el tiempo dedicado a mi consolidación como investigador y por haber influenciado de tal forma que haya decidido estudiar sobre este tema. Agradecimientos a Lena, por haber dejado el espacio que necesitaba para la conformación de este trabajo. Muchas gracias a los compañeros operadores de las bombas por su cooperación en la realización de este trabajo.

RESUMEN

El sistema de bombeo de agua de la Universidad de Holguín es uno de los factores que inciden en el consumo de energía eléctrica de dicha institución. En esta investigación se determinó el comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua. Aspectos como tiempo de encendida la bomba, volumen de agua bombeada y consumo eléctrico permitieron describir ese comportamiento, y valorar qué tan eficiente energéticamente es este. También se analizaron dos puntos muy importantes: costos e influencia al medio ambiente, ya que son detalles que son decisivos a la hora de tomar soluciones.

ABSTRACT

The water pumping system of the University of Holguin is one of the factors that affect the electric power consumption of said institution. In this investigation, the behavior of the electric energy consumption associated to the pumping of water was determined. Aspects such as the time the pump was turned on, the volume of water pumped and electricity consumption allowed us to describe this behavior, and assess how energy efficient it is. Two very important points were also analyzed: costs and influence on the environment, since these are details that are decisive when taking solutions.

Glosario de Términos y Definiciones

Bomba: es una máquina generadora que transforma la energía con la que es accionada (generalmente energía mecánica) en energía del fluido incompresible que mueve.

Motor: es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

Caudal: es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo.

Potencia: es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, es la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

Corriente eléctrica: es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del mismo.

Tensión (o voltaje): es el salto de potencial eléctrico o la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.

Gradiente hidráulico: se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua.

Tubería: es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. También sirven para transportar materiales que, si bien no son propiamente un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etc.

Pérdida: en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.

Rendimiento: en física y en el campo tecnológico, también expresable como la eficacia energética de un dispositivo, máquina, ciclo termodinámico, etc., expresa el

cociente entre la energía obtenida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada o consumida por la máquina o el proceso.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	10
Introducción.....	10
1.1. Búsqueda bibliográfica	10
1.2. Fundamentación teórica	15
1.2.1.La fuente de agua	16
1.2.2.La impulsión	18
1.2.3.Tanque de almacenamiento y regulación.....	19
1.2.4.Red de distribución.....	20
1.2.5.Piletas públicas y/o conexiones domiciliarias	20
1.3. Bombas	21
1.3.1.Tipos y aplicaciones de las bombas	22
1.3.2.Selección de las bombas.....	29
1.4. Normativas para el sistema de bombeo de agua	33
1.4.1.Datos para el proyecto	33
1.4.2.Tanque de regulación.....	36
1.4.3.Redes de distribución	36
Conclusiones del capítulo.....	41
II. MATERIALES Y MÉTODOS	43
Introducción.....	43
2.1. Caracterización de los sistemas de bombeo	43
2.1.1. Sede OLM	43
2.1.2. Sede MF	46

2.1.3. Sede JLC.....	47
2.1.4. Sede CSM.....	49
2.2. Procedimiento de la investigación.....	51
2.2.1. Etapa de mediciones.....	51
Conclusiones del capítulo.....	55
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
Introducción.....	57
3.1. Etapa de análisis e interpretación.....	57
3.2. Análisis económico y medioambiental.....	82
Conclusiones del capítulo.....	87
CONCLUSIONES GENERALES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	I

Introducción

El agua siempre ha sido el elemento más importante para la subsistencia y el desarrollo de la humanidad, así lo demuestra la estrecha relación entre los primeros asentamientos humanos y su cercanía con los afluentes hidráulicos. El uso de este recurso en la mayoría de las actividades realizadas por el hombre genera atención y motivación para procurar su uso de forma óptima.

Proveer una adecuada cantidad de agua ha sido asunto que ha inquietado desde estos primeros asentamientos. Aun en las antiguas ciudades, los abastecimientos locales eran con frecuencia inadecuados y los acueductos eran construidos para transportar agua desde fuentes lejanas. Tales sistemas de abastecimiento no distribuían agua a las residencias individuales, sino que la llevaban hasta uno o pocos lugares centrales desde donde los ciudadanos podían llevarla a sus hogares.

Hasta mediados del siglo XVII no se disponía de tuberías que pudieran soportar altas presiones. Se utilizaban tuberías hechas de madera, arcilla o plomo, que generalmente estaban ubicadas de acuerdo con la línea de gradiente hidráulico. El desarrollo de la tubería de hierro fundido y la reducción gradual de su costo, junto con el desarrollo y mejoramiento de las bombas de vapor, hicieron posible que incluso pequeñas comunidades pudieran crear abastecimientos públicos de agua que permitieran llevarla a cada residencia.

Actualmente se dispone de una gran variedad de materiales para fabricar tuberías, equipos de bombeo y sistemas de distribución que permitan dotar de agua a edificaciones ubicadas en cualquier lugar. Ahora el problema es otro, el constante crecimiento de la población y el desarrollo de grandes ciudades en las cuales comúnmente se toma como solución habitacional la construcción de grandes edificios con determinado número de niveles que varía de 2 a 20 pisos o más; la crisis económica y el aumento de precio de los materiales, hacen necesaria la implantación de nuevos sistemas de construcción que ofrezcan soluciones menos costosas y tiempos de ejecución menores teniendo como prioridad la seguridad y el confort de los habitantes.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista técnico y dado por supuesto que se hace una apropiada gestión administrativa, los problemas de las redes de abastecimiento de agua pueden resumirse en cuatro aspectos generales: fugas de agua no contabilizadas; integridad física de la red; calidad de agua a distribuir; fiabilidad y calidad de la base de datos de los sistemas de distribución de agua. Con relación al primero de ellos, el control de las pérdidas de agua ha sido una actividad asociada a los sistemas de distribución de agua desde que se construyeron las primeras redes. Incluso, en la antigua Roma ya existía conciencia de que una buena parte del agua que era inyectada a los sistemas de distribución no llegaba a los usuarios (Pilcher et al., 2007).

En países en vías de desarrollo, el segundo tipo de pérdidas puede representar más del 50% del agua inyectada a la red (Kingdom et al., 2006). En una red de distribución de agua con pérdidas del 50%, se tienen que producir 2 m³ de agua para que llegue 1 m³ a los usuarios. Se ha estimado que, en estos países, el volumen anual de pérdidas de agua alcanza 26.7 miles de millones de m³, lo que representa 5.9 miles de millones de dólares norteamericanos (USD). Con tan solo reducir este valor por la mitad, se podría abastecer hasta 90 millones de personas.

En países desarrollados la situación es distinta. El porcentaje de pérdida no suele superar el 15% (Kingdom et al., 2006); no obstante, las previsiones no indican una mejora. Un estudio, conducido por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), estima que para el año 2025, dos tercios de la población mundial será objeto de "estrés" de agua ya sea moderado o alto. Este mismo estudio, estima que en EE.UU. las extracciones de agua pasarán del 10-20% (cifra de 1995) del agua disponible, al 20-40% (Thornton et al., 2008).

Los costos de la electricidad son por lo general entre 5 y 30% de los costos totales de operación de las empresas dedicadas al agua y saneamiento urbano en todo el mundo. La participación suele ser mayor en los países en desarrollo y puede llegar hasta el 40% o más en algunos países, como en la India y Bangladesh. Tales costos de energía se traducen en altos y con frecuencia insostenibles costos de explotación,

INTRODUCCIÓN

que afectan directamente a la salud financiera de estas empresas, presiona los presupuestos públicos/municipales y puede aumentar los aranceles a sus clientes.

En los países en desarrollo las empresas dedicadas al agua y saneamiento urbano pertenecen y son operadas por el gobierno y muchas están a cargo de las autoridades municipales. Como tal, la electricidad utilizada para la prestación de los servicios de agua y saneamiento, puede tener un impacto significativo sobre el presupuesto y perspectivas de los gobiernos municipales. En la India, por ejemplo, se reportó que el suministro de agua es la partida de gasto más grande entre todos los servicios municipales.

Los programas diseñados para reducir los costos de operación en las ciudades y empresas, pueden convertirse en una alternativa atractiva, tanto para las compañías de servicios públicos municipales, como para sus propietarios, lo que podría crear un remanente fiscal para lidiar con otras prioridades socio-económicas, a la vez que disminuir la presión al alza sobre las tarifas del agua potable y el saneamiento.

Mejorar la Eficiencia Energética (EE) es la principal medida para reducir los costos operativos en las empresas dedicadas al agua y saneamiento urbano. Dado que la energía representa uno de los mayores gastos operativos controlables de la mayoría de estas entidades y muchas medidas de EE tienen un periodo de recuperación menor a cinco años, las inversiones soportan una expansión rápida y brindan mayor acceso al agua para los pobres, haciendo al sistema más barato de operar.

Las bombas e instalaciones de bombeo son componentes esenciales y vulnerables en casi todos los sistemas de agua. El diseño, operación y mantenimiento inadecuados de los sistemas de bombeo pueden representar riesgos sanitarios graves, incluida la pérdida completa del suministro de agua.

Los principales elementos de un sistema eléctrico de bombeo son: la bomba propiamente, un motor eléctrico que acciona a la bomba y un equipo de control. Un deficiente cálculo conlleva a una mala selección de equipo que a su vez desperdicia la energía tanto hidráulica como eléctrica, siendo necesario contar con un equipo adecuado, y para lograr que la utilización de estos recursos sea eficiente. Además, todos los componentes de la bomba deben estar instalados correctamente y recibir

INTRODUCCIÓN

un mantenimiento adecuado, para que se tenga la seguridad de que el sistema trabajará óptimamente y por largo tiempo.

El principal problema de los sistemas de abasto es el elevado deterioro y su obsolescencia por los años de explotación, que ocasionan pérdidas estimadas en un 58%. Esto trae como consecuencia la reducción de los horarios de servicio y las presiones de trabajo de la red de distribución, el deterioro de las vías públicas y el encarecimiento de los gastos de producción de agua debido al consumo extra de energía eléctrica y al tratamiento químico.

El Estado Cubano para mitigar los efectos que provoca esta situación ha dado prioridad al financiamiento de programas para la rehabilitación de redes y conductoras, la modernización de los sistemas de calidad del agua, el equipamiento y la rehabilitación de fuentes de abastecimiento y la garantía energética para estas.

Al triunfo revolucionario la infraestructura hidráulica era casi inexistente ya que tan solo se contaba con 13 embalses pequeños. El alcantarillado de La Habana, con medio siglo de existencia, además de no cubrir las necesidades, estaba urgido de una labor de reconstrucción; la única planta de depuración de aguas residuales, ubicada en Santa Clara, se encontraba abandonada, y los alcantarillados de Pinar del Río, Holguín y Guantánamo se mantenían en proceso de construcción. La cobertura de agua potable era del 64% y la de saneamiento de apenas el 28% del total de la población.

Esta situación, unido a las exigencias del Programa de Desarrollo Económico y Social que trazó el naciente gobierno revolucionario, determinó la priorización de un ambicioso plan de construcciones hidráulicas que se denominó "Voluntad Hidráulica".

En la actualidad Cuba presenta indicadores de abastecimiento de agua potable y saneamiento ambiental favorables respecto a los que exhiben un grupo numeroso de otros países. La cobertura nacional en agua potable y saneamiento alcanza la cifra de 96.4% y 96.1% respectivamente. A pesar de lo anterior, el volumen anual de pérdidas está calculado en los 784 millones de m³, lo que representa el 45% del total bombeado: 14% se desaprovecha en conductoras, 12% en redes de acueducto y la mayor parte, un 19%, en las redes intradomiciliarias, según cifras del Instituto

INTRODUCCIÓN

Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Esta problemática, además de reducir ese servicio y originar perjuicios a la población, ocasiona al país pérdidas económicas considerables.

Tal situación requiere mejorar la infraestructura hidráulica en la nación, para lo cual se priorizan y amplían los trabajos de rehabilitación de redes, acueductos y alcantarillados, entre otros objetivos, a la vez que continúa el programa hidráulico con inversiones de largo alcance para enfrentar eficazmente problemas de sequía y uso racional del agua, como se establece en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.

Resulta vital una mayor conciencia ciudadana sobre el uso adecuado y racional del agua, junto con la eficiente utilización de la infraestructura hidráulica disponible, la efectividad en la gestión estatal, así como el imperativo de crear en las entidades y la población en general una cultura sobre la importancia del ahorro y preservación del recurso hídrico.

Tales objetivos, contenidos en la Política Nacional del Agua aprobada en diciembre de 2012, constituyen parte esencial en las proyecciones y acciones de trabajo del INRH, según informó la ingeniera Inés María Chapman Waugh, miembro del Consejo de Estado y presidenta de ese instituto, en el espacio radiotelevisivo de la Mesa Redonda.

En el periodo 2014-2017 la provincia Holguín enfrentó una extensa sequía que afectó severamente a los municipios Calixto García, Cacocum, Urbano Noris y Holguín, siendo Calixto García y Holguín los más afectados donde el principal problema radicaba en el abasto de agua a la población.

A raíz de lo anterior, la entrada de nuevas motobombas a la provincia mejora la explotación de aguas subterráneas para el suministro a los habitantes de las zonas más afectadas, alcanzándose hasta unos mil 100 litros por segundo, como también lo es la próxima perforación de pozos con equipos capaces de llegar hasta los 150 metros de profundidad.

También los avances en la nueva conductora de polietileno de alta densidad que reemplazará a la existente y la modernización en la estación de bombeo, sistema

INTRODUCCIÓN

que abastece de agua a la ciudad cabecera desde la presa Gibara, forma parte de las medidas que se han venido tomando para el mejoramiento de los sistemas de bombeo en el territorio. Dichas tareas son comprobadas sistemática y personalmente por la máxima dirección del Partido Comunista de Cuba (PCC) y el gobierno holguinero.

Este programa constructivo y de mejoramiento de redes tiene un impacto muy positivo en la población holguinera, porque ha permitido abastecer de agua a lugares que no contaban con ninguna infraestructura hidráulica. De esa forma, se ampliaron los servicios hasta localidades ubicadas en los perímetros de la ciudad cabecera, tales como Alcides Pino, Los Guillenes, San Rafael, los Lirios y Las Biajacas, entre otros.

Entre las tareas hidráulicas de mayor impacto se encuentra el cierre de salideros en las redes, con lo cual se ha disminuido hasta un 10% el despilfarro del agua bombeada a la ciudad holguinera, que en años anteriores sobrepasaba el 60%.

La labor sustitutiva prevé el cambio de todos los equipos de bombeo de las estaciones que abastecen a la ciudad Holguín, por lo que se espera que en lo adelante continúen llegando equipos para las demás estaciones de bombeo.

En la Universidad de Holguín (UHo), el consumo de energía ha tenido varias afectaciones en los últimos años, ya sea por la cantidad de aires acondicionados encendidos a toda hora, los equipos clandestinos conectados en la residencia estudiantil, así como el sistema de bombeo que abastece de agua a los tanques elevados para luego distribuirla por gravedad hacia los diferentes puntos de la institución.

A partir de estas afectaciones se han tomado una serie de medidas empíricas para un poco reducir el sobreconsumo eléctrico, pero como tal no se ha llevado a cabo un estudio científico que valide cualquier acción que se tome con vistas a resolver los problemas relacionados con el consumo energético, específicamente el consumo energético desprendido del funcionamiento de los sistemas de bombeo de las cuatro sedes que comprenden a la universidad.

INTRODUCCIÓN

Partiendo de la situación problemática planteada se determina que el problema científico que da paso al desarrollo de la presente investigación es que no se ha llevado a cabo ningún estudio científico que valore el comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua en la UHo.

Una vez determinado el problema de la investigación se está en condiciones de formular el objetivo general que servirá de guía para la realización de la tesis, el cual queda de la siguiente forma: determinar el comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua en la UHo mediante el desarrollo de un diagnóstico a fin de valorar las posibilidades de un uso más racional de la energía eléctrica y de agua en el sistema de bombeo.

Para lograr este objetivo general se trazan los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar el sistema de bombeo de agua en cada una de las sedes de la UHo.
2. Determinar el comportamiento de los volúmenes de agua bombeada y la energía eléctrica por tal motivo en cada una de las sedes de la UHo y de forma general.
3. Valorar las posibilidades de ahorro energético y de agua.

El objeto de estudio es: la Universidad de Holguín. El campo de acción es: el comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua.

Hipótesis:

Si se determina el comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua en la UHo se podrá contar con un resultado científico que justifique los posibles cambios a realizar para obtener una mayor eficiencia energética en este sistema de bombeo.

Las tareas trazadas para la materialización del estudio serían:

- Búsqueda bibliográfica.
- Recopilación de datos.
- Procesamiento y discusión de la información.
- Análisis técnico-económico y medioambiental.

INTRODUCCIÓN

El aporte de la investigación es la determinación del comportamiento del consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua en la UHo para luego valorar los resultados alcanzados y en función de ellos trazar una serie de acciones encaminadas a lograr una mayor eficiencia energética.

El informe de la tesis estará conformado, a parte de la introducción, conclusiones generales, dedicatoria, recomendaciones, bibliografía y anexos, de tres capítulos. En el primer capítulo se abordará el marco teórico conceptual, en el segundo los materiales y métodos que se emplearon, y en el tercero los resultados obtenidos y su discusión.

CAPÍTULO I

I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

El uso racional del agua por medio de sistemas de bombeo se caracteriza principalmente por la detección de puntos de pérdidas, en primera instancia, y luego la eliminación parcial o completa de estas. Todo está en dependencia del presupuesto con que se cuente, el tiempo con que se cuente y más importante aún, el interés que se preste.

Una vez que se logre el manejo eficiente del agua se puede hablar entonces de eficiencia energética, es decir, menor desperdicio de agua y mayor aprovechamiento de esta, y por tanto se emplearía menor tiempo en el bombeo de agua lo que se traduce en menor consumo energético. Es a este menor consumo energético a lo que debe responder cualquier acción destinada al mejoramiento de los sistemas de bombeo.

1.1 Búsqueda bibliográfica

Reyes (2014) realiza un estudio sobre la puesta en marcha y simulación de un sistema de bombeo autónomo con bomba sumergible alimentado por un generador solar fotovoltaico (FV) o alimentado con baterías, teniendo en cuenta como parámetros esenciales: eficiencia del sistema, índice de radiación para el cual comienza el bombeo, las características eléctricas del generador eléctrico, el acoplamiento entre el generador y el conjunto motor-bomba, las pérdidas de potencia, caudal, potencia del módulo solar, tensión, intensidad, altura manométrica y presión.

Para el análisis del sistema de bombeo parte del conocimiento del comportamiento de la bomba y del sistema de bombeo al cual pertenece. Ambos quedan caracterizados cuando se tienen las curvas de trabajo de la bomba y las pérdidas en el sistema. Las curvas se determinan en base a las condiciones de operación y requieren que se conozcan las instalaciones, estos elementos representan, a través de los gráficos, el desempeño de la bomba y del sistema, y permiten determinar el funcionamiento de la bomba bajo determinadas condiciones, y los cambios que se producirán al alterar la curva de carga del sistema.

El autor concluye que, en los sistemas de bombeo FV, el caudal de agua y la potencia de la bomba son directamente proporcional a la radiación solar incidente en el plano del generador FV, e inversamente proporcional a la altura manométrica.

Sobre este tema y basados esencialmente en los principios analizados por Reyes (2014), los autores Mercado & Vergara (2014) estudian de forma similar la sostenibilidad de estos sistemas. Vidal et al. (2015) muestran una implementación de equipamiento para registro de datos, mediante el uso de software, en una experiencia comparativa eólica-fotovoltaica en funcionamiento desde fines de 2013 para un emplazamiento rural en el sur de Chile.

Facchini et al. (2013) realizan un conjunto de investigaciones, resultados y recomendaciones surgidos de la instalación de un sistema fotovoltaico (SFV) piloto conectado al sistema de bombeo y a la red eléctrica de una Empresa Distribuidora Eléctrica de San Juan (Argentina); los ensayos, la obtención de mediciones y el análisis técnico-económico asociado a fin de sentar pautas para la formulación de procedimientos técnicos-administrativos que permitan incorporar paneles fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en el sector agrícola.

En los tiempos actuales el cuidado en el uso del agua ha ido imponiendo la instalación de sistemas de riego por goteo o riego presurizado a partir de reservorios de agua en superficies. Por lo tanto, coexisten en algunas fincas la combinación de bombeo de profundidad para llenar los reservorios y luego bombeo para el riego presurizado. Esta combinación también permite disminuir costos de energía al poder decidir los horarios de bombeo. Es por ello que entre las diversas aplicaciones de la energía solar FV se encuentra el empleo de sistemas solares FV para el bombeo de agua subterránea, combinando los avances técnicos asociados a la electricidad (bombas eléctricas eficientes) junto con lo atractivo de contar con una fuente de energía autóctona y renovable.

Leduchowicz (2015) aborda el estudio técnico y operacional de los sistemas de bombeo de agua potable de 14 sistemas comunitarios de la Cordillera del Bálsamo (El Salvador), con el fin de crear una base de datos técnicos de los sistemas, para

dar pie a futuros análisis con objetivo de reducir el coste energético y mejorar su funcionalidad. El estudio consiste en el análisis de los parámetros eléctricos e hidráulicos de los sistemas, mediante relevo de información previa y en campo, y las mediciones oportunas. También se ha analizado la operación y el mantenimiento de estos, considerando la metodología de relevo de datos de los operarios, el método de trabajo, los conocimientos técnicos, la automatización de los procesos y el control de fugas e incidencias.

Tras el análisis de los gastos y diagnóstico de la eficiencia energética, investiga los cambios que se pueden llevar a cabo sobre el modelo existente para cumplir esta mejora. Después de detallar las características de cada una de estas medidas y bajo criterios técnicos, económicos, ambientales y teniendo en cuenta las perspectivas sociales, da una serie de recomendaciones con el objetivo de mejorar y mantener la autosuficiencia de la comunidad respecto a este recurso y poder así luchar por su derecho humano al agua.

Díaz et al. (2015) proponen una mejoría para el sistema de tanque elevado de un local de la Universidad de Ciencias y Humanidades (Perú), el cual tiene deficiencias en la distribución de agua en horarios de mayor afluencia y no cuenta con la presión necesaria para satisfacer las necesidades del público. Entonces logran concretar una innovación (Sistema de Presión Constante) en su sistema de distribución de agua como también en consumo de energía entre otros aspectos. Con la implementación de este nuevo sistema los autores concluyen que se obtendrá una mejor distribución de agua, ahorro de energía, mayor tiempo de vida de los equipos, lo que significa mejoras en el aspecto económico.

Fragoso et al. (2013) desarrollan un sistema de información geográfica (SIG) para la administración de la información espacial y no espacial, relacionada con la operación de una red de distribución de agua potable, la cual permite gestionar, evaluar y distribuir agua de buena calidad, además de automatizar el sistema para poder implementar y desarrollar en un futuro mecanismos que permitan tenerlo a la vanguardia tecnológica. Este SIG fue aplicado a dos unidades habitacionales de Tehuacán (Bellavista y Nueva España), Puebla, México, en el cual por medio de

herramientas computacionales se permite al usuario visualizar y efectuar operaciones con la información de la base de datos generada del SIG. Los cálculos hidráulicos fueron realizados por medio del software Epanet, obteniéndose resultados confiables y un buen diseño del sistema.

En la actualidad, los SIG están llamados a ser en un futuro cercano, los sistemas de gestión de toda la información relacionada con la operación de las redes de suministro de agua potable. La unión de la información alfanumérica con la información geográfica dentro de un SIG permite llevar a cabo un buen número de aplicaciones como son: las tareas de inventario, obtención de planos, gestión de averías, gestión de la demanda, actuaciones de mantenimiento, etc.

Pérez et al. (2016) realizan un estudio energético del sistema de bombeo del Instituto de Ciencia Animal (ICA, Cuba), en el cual se procedió a la mapeación y detección de salideros en la conductora principal, se midieron las fugas de agua en las redes interiores y se determinó el porcentaje de este líquido que se pierde por derroche. Conjuntamente se analizó el consumo energético de la bomba, se determinó la potencia real consumida y la eficiencia del motor. Los resultados obtenidos por los autores demostraron que existen pérdidas de agua respecto al total que se bombea ($1\,400\text{ m}^3$), por mal uso (39.67%) y por mal estado técnico de las redes (31.76%). El estudio energético mostró que el consumo eléctrico anual de la institución por cuestión de abasto de agua es de $310\,034.49\text{ kW}$, lo que representa 67.6 toneladas equivalentes de petróleo, para un gasto anual de la institución de $71\,962.38\text{ USD}$. Estos concluyen que si se eliminan las pérdidas de agua, se evitan 5 horarios de bombeo, lo que representa un ahorro de $51\,405.31\text{ USD}$ al año por dejar de importar 48.26 toneladas de petróleo, además se dejan de emitir a la atmósfera 131,75 t de CO_2 .

El Instituto de Ciencia Animal por su parte, al tener medio siglo de fundado, presenta un deterioro notable en los sistemas de abasto de agua. Según estudios realizados por recursos hidráulicos en el año 2015 el instituto debe consumir 400 m^3 diarios, sin embargo en las siete horas de trabajo del acueducto se bombean $1\,400\text{ m}^3$, es decir, se pierden 1000 m^3 de agua, lo que trae consigo problemas económicos,

sociales y ambientales. Por esta razón, los autores decidieron realizar un estudio energético del sistema de bombeo que permita hacer un mejor uso del recurso agua.

De conjunto con el departamento de pitometría de Aguas de la Habana se realizó un estudio de mapificación y detección de salideros en la conductora principal. La determinación del estado técnico de las redes se realizó mediante el método de sondeo directo con el empleo de un Geófono Electromagnético, marca Prime Probe, con una precisión de 0.05. La ubicación de la red central se realizó mediante el Método de Rastreo inductivo, con el empleo de un localizador de redes, marca Fisher, modelo TW-6, con una frecuencia de salida de 82.175 kHz y una precisión de 0.05 kHz.

Mena et al. (2015) analizaron la operación del sector de abastecimiento de agua potable “Bachilleres” de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México, el cual presenta servicio intermitente en dos zonas, una con dos periodos al día y otra con cuatro. Para ello llevaron a cabo el examen físico de la infraestructura, evaluaron los tiempos de operación, obtuvieron las curvas de variación horaria del sector, estimaron los volúmenes disponibles y utilizados, y realizaron el análisis del costo de bombeo.

Los resultados indican que la forma de operar los tanques ocasiona que estos sólo se aprovechan parcialmente, ya que el diseño interno y/o los accesorios de los equipos de bombeo incumplen las recomendaciones para ese tipo de instalaciones, lo que provoca que aun cuando el nivel del tirante de agua del tanque sea superior al 40%, los equipos se detengan, y con ello el suministro de agua. El realizar adecuaciones para corregir esta problemática y aprovechar el máximo volumen disponible incrementaría el tiempo de suministro continuo de agua al sector en un 73%, lo cual permitiría postergar inversiones en nueva infraestructura y reducir la explotación de los recursos hídricos y energéticos.

La finalidad de los autores es contribuir al aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos, energéticos y económicos en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Estudiaron cómo inciden en el tiempo de suministro de agua la infraestructura de regulación existente en el sector de distribución caso de estudio y presentan algunos resultados que se podrían alcanzar aprovechando al máximo la capacidad instalada para mitigar los problemas generados por el servicio intermitente.

Una de las causas determinadas por los autores del servicio intermitente de agua potable en el sector analizado es la subutilización de los tanques de regularización generada por la forma de operar los equipos.

En la literatura nacional consultada se puede referenciar diferentes trabajos relacionados con las redes de abasto de agua los cuales se encuentran citados en la revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la CUJAE. Estos trabajos están relacionado fundamentalmente con la calidad del agua y la evaluación técnica económica de los sistemas de abasto de agua (López, 2009; Martínez 2011 a, b, c). En el trabajo de Boch (2014) se analiza el funcionamiento de sistemas de abasto de agua en un municipio.

Morales (2008) propone un sistema de abasto de agua a redes rurales, Osorio (2013) realiza un diagnóstico de la planta potabilizadora de la Universidad Central de Las Villas (UCLV) con vista a mejorar la calidad del agua. De Armas (2013) propone un sistema automatizado para las plantas potabilizadoras. El trabajo más completo relacionado con la planta potabilizadora lo realiza Albert (2014) relacionado con la rehabilitación completa de dicha planta.

1.2 Fundamentación teórica

El abastecimiento de agua potable es una cuestión de supervivencia. Todos necesitan acceso a una cantidad suficiente de agua pura para mantener la buena salud y la vida. Sin embargo, no todo se reduce a los 15 o 20 litros de agua por día que se necesitan para mantenerse vivo y sano.

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H_2O , y cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante, aunque sólo supone el 0.22% de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en

los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos; en forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a 0°C ; y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. El 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra formando casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos. Las personas consumen agua potable, la cual se denomina al agua que se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano según unos estándares de calidad.

Según el Manual de Operación y Mantenimiento de sistemas de Agua por Bombeo, elaborado en Bolivia (2007) se llama sistema por bombeo de agua al conjunto de instalaciones técnicas destinadas a la captación, conducción y distribución de agua para el consumo humano.

Estas instalaciones se refieren básicamente a los siguientes componentes:

- la obra de captación o fuente de agua,
- la impulsión o conducción del agua desde la fuente hasta el punto de descarga,
- un recipiente o tanque de almacenamiento del agua,
- una red de distribución del agua a la población,
- las conexiones domiciliarias o piletas públicas.

Un sistema por bombeo de agua extrae e impulsa el líquido mediante una bomba y tubería, desde la fuente de captación hasta un tanque de almacenamiento que se halla a mayor altura que los usuarios. A partir del tanque, el agua es conducida por gravedad hacia los domicilios de los usuarios a través de las tuberías que conforman la red de distribución y las conexiones domiciliarias o piletas públicas.

1.2.1 La fuente de agua

Para un sistema por bombeo, la fuente de agua generalmente está situada a un nivel más bajo que la población a servir y precisamente por ello es que se debe recurrir a un medio mecánico (bomba) para elevarla a una altura desde la cual se pueda usar.

Las fuentes de captación de agua pueden ser:

- pozos (someros, semiprofundos o profundos),
- norias o cárcamos de bombeo,
- galerías de filtración,
- otras.

Pozos de agua:

Son huecos circulares que se hacen en la tierra. Si es de poca profundidad se puede construir a mano, pero si es mayor a 30 m, se construye con máquinas rotativas o de percusión.

El pozo perforado se protege con tubería para que no se derrumbe y lleva filtros y grava en los lugares donde se encuentra el agua del subsuelo.

Norias o cárcamos de bombeo:

Generalmente son de poca profundidad (<10m) y con un diámetro entre 1 y 3 m. Aunque se pueden construir hasta unos 20 m de profundidad, todas deberían tener un muro de protección de ladrillo o de hormigón armado que sobresale en la superficie. El agua ingresa a la noria por el fondo y por huecos (barbacanas) que se dejan en las paredes laterales.

Galerías de filtración:

Son conductos de sección circular (tubos), ovoide o rectangular que se construyen o instalan bajo cursos de agua o bajo terrenos permeables para captar el agua que se filtra a través del suelo.

Durante la construcción o instalación de estos conductos se les recubre con diferentes capas de grava graduada para retener las partículas sólidas que podrían ingresar al mismo.

Una galería generalmente requiere de una cámara o cárcamo de recolección y bombeo que se construye en el punto de convergencia de los conductos.

1.2.2 La impulsión

Si el punto de descarga está relativamente cerca a la fuente, los equipos de bombeo y sus conexiones eléctricas e hidráulicas conforman un conjunto de instalaciones que se denomina “impulsión” (si la distancia fuente-descarga es relativamente grande, se prefiere darles tratamiento por separado al equipamiento y a la aducción por bombeo).

Los equipos de bombeo son la bomba (o bomba y generador), más sus controles y conexiones.

Para extraer el agua desde la fuente, sea pozo, noria, cárcamo o galería filtrante, se puede instalar una bomba del tipo más conveniente para cada caso. La bomba debe elegirse básicamente en función al caudal que se quiera extraer de la fuente y a la altura donde se quiere llegar, pero también depende de la economía de los usuarios.

Grupo generador de electricidad

Si en el lugar no existe una red de distribución de energía eléctrica, necesariamente se deberá instalar un grupo generador como fuente de energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba.

El generador es un motor como el de cualquier vehículo cuya función principal es el de generar energía eléctrica, tiene una vida útil de varios años trabajando en condiciones normales y atendiendo su manual de operación y mantenimiento.

El grupo generador de electricidad se compone de un motor de combustión interna que funciona con combustible (normalmente diésel) y cuyo consumo depende de su capacidad o potencia.

Incorporado a ese motor se encuentra un generador eléctrico de corriente alterna con una potencia de salida que se mide en kVA y una tensión de 220 o 380 V. El motor y el generador conforman un conjunto compacto y cuenta con un control de velocidad automático que regula la tensión de salida.

Tubería de impulsión

Es el conducto que lleva el agua desde la fuente (bomba) de captación hasta el tanque de almacenamiento y regulación.

Existe una gran variedad de materiales y calidades de tubería, sin embargo, para líneas de impulsión normalmente se instalan de hierro galvanizado porque deben soportar las presiones originadas por el bombeo.

1.2.3 Tanque de almacenamiento y regulación

El tanque de almacenamiento es un depósito de agua destinado precisamente a almacenar agua y regular el suministro a los usuarios en función a la demanda, la cual no es constante ya que existen horas pico durante el día, y en la noche disminuye el consumo a casi cero.

El tanque de almacenamiento debe estar ubicado en un sitio elevado natural o artificial que permita generar las presiones de servicio necesarias para la red y los usuarios. Cuando la elevación es natural (una ladera o una colina) el tanque puede ser semienterrado o superficial, y cuando no existen condiciones naturales se debe construir un tanque elevado sobre columnas y vigas.

De acuerdo a lo anterior y a los materiales de construcción los tanques se pueden clasificar como sigue:

- de hormigón ciclópeo (mezcla de cemento con grava y arena más piedra),
- de hormigón armado (mezcla de cemento, grava y arena más acero),
- de mampostería de ladrillo reforzado,
- metálicos, etc.

Los tanques superficiales pueden ser:

- de ferrocemento,
- de fibrocemento,
- de plástico,
- metálicos (tipo australiano, por ej.), etc.

A su vez, los tanques elevados pueden ser:

- de hormigón armado,
- de plástico (sobre estructura de hormigón armado, hierro reticular o de madera),
- de ferrocemento (sobre estructura de hormigón armado, hierro reticular o de madera),
- de fibra de vidrio (sobre estructura de hormigón armado, hierro reticular o de madera),
- metálicos, etc.

Sea cual fuere el material y la forma de los tanques, todos deben ser construidos de acuerdo a las especificaciones técnicas correspondientes referidos a su capacidad y resistencia estructural, así como contar con los medios y accesorios de control y limpieza propia y del agua que contendrán, de modo que el servicio que presten sea óptimo.

Los medios y accesorios mencionados se refieren a que deben contar con escaleras y tapas de acceso; cañerías de ingreso, salida, rebalse, y de limpieza; válvulas de control e hipoclorador cuando sea necesario.

1.2.4 Red de distribución

La red de distribución es una o un conjunto de tuberías normalmente enterradas en las calles de la población a servir. Estas tuberías deben estar calculadas para una adecuada distribución de caudales y presiones requeridas para el abastecimiento de los usuarios, teniendo en cuenta también aspectos económicos.

El suministro de agua para el funcionamiento de las redes proviene del tanque de almacenamiento y/o regulación. La función de la red es distribuir el líquido elemento hasta las piletas públicas o hasta las conexiones domiciliarias para el consumo de la población.

1.2.5 Piletas públicas y/o conexiones domiciliarias

Las piletas públicas y las conexiones domiciliarias son el punto de entrega de agua al usuario.

Una pileta pública es básicamente un grifo del que se sirven varias familias. Puede tener base y pedestal de hormigón, pozo de absorción o simplemente un pedestal de madera como apoyo. Su mantenimiento y operación es responsabilidad de las familias beneficiarias.

Una conexión domiciliaria beneficia a una sola familia. Usualmente comprende la conexión desde la red hasta un medidor de agua que se instala al ingreso al domicilio del propietario. Hasta este punto, la operación y mantenimiento es responsabilidad de la entidad encargada de los servicios de acueducto, hacia el interior de la vivienda es responsabilidad del usuario.

1.3 Bombas

Una necesidad muy antigua presentada al ser humano, fue la necesidad de transportar el agua de un lugar a otro, por lo que empezó a idear diversos mecanismos para su solución, iniciando así el desarrollo tecnológico en sistemas de bombeo.

Una bomba, es una máquina hidráulica que modifica energía mecánica en energía hidráulica. En definitiva, al fluido se le aporta energía cinética transformándose en energía de presión y caudal, lo que resulta fundamental para reducir las pérdidas por fricción a lo largo de la impulsión del sistema de bombeo.

Esta máquina trasmite la presión al fluido mediante cambios de velocidad y de dirección en las partículas del fluido. Esta energía se trasmite mediante un elemento móvil denominado, rodete, impulsor o hélice, dependiente de si se trata de una bomba radial o axial.

Hay una diversidad de mecanismos de bombeo (bombas), cuya capacidad, diseño y aplicación cubren un amplio rango que va desde pequeñas unidades utilizadas para dosificación de cantidades mínimas, hasta bombas centrífugas que son capaces de manejar grandes volúmenes para surtir de agua a las grandes concentraciones urbanas. Su variedad de diseños cubre desde diferentes principios de operación, hasta bombas especiales para manejo de sustancias tan diversas como el agua, metales fundidos, concreto, etc., gastos diferentes y materiales de construcción.

Conocer la potencia de determinada bomba es un dato fundamental para el momento de la selección de esta. Los valores de potencia van a depender principalmente del caudal que se quiera lograr, es decir, la cantidad de agua demanda en cierto lugar. También es clave tener en cuenta las características del líquido a impulsar, siendo la viscosidad el factor más significativo.

Se debe aclarar que existen dos valores de potencia, el teórico y el real. A través de las siguientes expresiones se pueden calcular dichos valores:

$$P_b = \rho * g * Q * h_b \quad (1)$$

Siendo:

P_b : potencia teórica de la bomba (W).

ρ : densidad del fluido (1000 kg/m³ en el caso del agua).

Q : caudal (m³/s).

h_b = ganancia de carga en la bomba, o, en otros términos, altura dinámica de la bomba (m).

La expresión 1 se puede reducir a lo siguiente:

$$P_b = \gamma * Q * h_b \quad (2)$$

Siendo:

γ : peso específico del fluido.

Entonces, para determinar la potencia real de la bomba se emplea la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_b}{P_{realb}} \quad (3)$$

Siendo:

η : rendimiento de la bomba

P_{realb} = la potencia real de la bomba (W)

1.3.1 Tipos y aplicaciones de las bombas

Debido a la diversidad de bombas ya mencionadas, hay muchas formas de clasificarlas, por rangos de volúmenes a manejar, por fluidos a mover, etc. Sin embargo, la clasificación más general es en función de la forma en que las bombas imprimen el movimiento al fluido, separándose en dos tipos principales (figura 1.1):

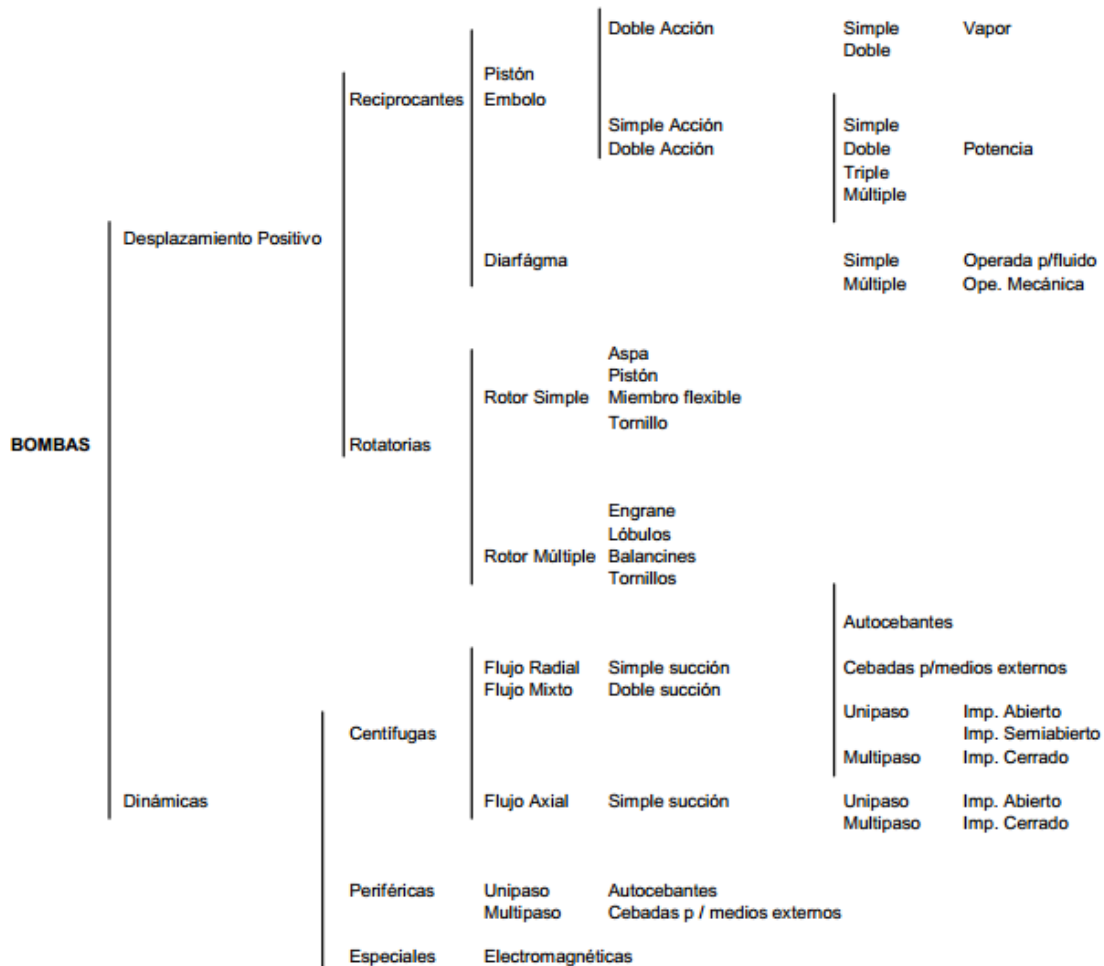


Figura 1.1. Clasificación de las bombas según la forma en que imprimen el movimiento. Fuente: Sitio web Watergy México. Eficiencia Integral en Agua y Energía (2014).

La clasificación anterior, nos permite apreciar la gran diversidad de tipos que existen y si a ello agregamos materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de

gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria.

Dentro de esta clasificación los tipos de bombas más comúnmente utilizadas son las llamadas centrífugas, rotatorias y reciprocantes. Posteriormente se analizarán de forma específica a las sumergibles ya que en una de las sedes en estudio hay presencia de una.

Bombas centrífugas

Si tenemos un cubo lleno de agua atado al extremo de una cuerda, y lo ponemos a girar, el agua contenida en el cubo permanecerá ahí, pegándose al extremo del cubo con una fuerza originada por la velocidad rotacional. Esa es la fuerza centrífuga, y es la base del principio de operación de las bombas centrífugas.

Imaginando un impulsor en reposo dentro del agua. Si dicho impulsor se pone a girar, el agua saldrá impulsada por entre los álabes del mismo. A medida que el agua es arrojada fuera de los álabes, más agua llega al centro del impulsor, por ser esta la zona de menor presión; por ello es ahí donde generalmente se coloca la solución.

Al continuar girando el impulsor, más agua es expulsada y más agua llega al centro del impulsor, manteniéndose así un flujo continuo, sin variaciones de presión; estas son las características principales de las bombas centrífugas. Si el impulsor se coloca dentro de un envolvente o carcasa, el flujo es dirigido hacia donde es requerido, para lograr de esta manera el objetivo deseado. Algunas de las características de estas bombas son las siguientes:

- Descarga de flujo continuo, sin pulsaciones.
- Puede bombear todo tipo de líquidos, sucios abrasivos, con sólidos.
- Altura de succión máxima del orden de 4.5 metros de columna de agua.
- Rangos de presión de descarga hasta de 150 kg/cm^2 .
- Rangos de volúmenes a manejar hasta de $20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$.

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, pues es el componente que imprime la velocidad al fluido; consiste en un cierto número de aspas o álabes curvados con una forma tal que permite un flujo continuo del fluido a través de ella.

El diseño de los impulsores se hace en función del fluido a bombear, pudiendo ser abiertos, semicerrados y cerrados.

La carcasa de una bomba centrífuga, también con la posibilidad de ser de diferentes diseños, tiene la función de hacer la conversión de energía cinética o de velocidad que se imparte al fluido por el impulsor, en energía de presión o potencial. Existen dos tipos básicos de carcasas: de tipo espiral y de tipo difusor. En las carcasas de tipo espiral, el impulsor descarga el fluido en un área que se expande gradualmente, disminuyendo así la velocidad para irse convirtiendo en energía de presión. La carcasa de tipo difusor, se basa en unas guías estacionarias con una trayectoria definida, que va ampliando el área desde el impulsor hacia la propia carcasa, haciendo también la conversión de energía cinética (velocidad) a energía potencial en el flujo (presión). Este tipo de carcasa es más utilizado en bombas de varias etapas.

Si la combinación de carga (presión que se tiene que vencer con la bomba) que se requiere es mayor de la que se puede desarrollar con un solo impulsor, se puede hacer una combinación de ellos, con el flujo en serie donde el primer impulsor descarga a la succión del segundo, y así sucesivamente; en estos casos el gasto se mantiene constante a lo largo de los distintos impulsores, pero la presión va adicionándose de impulsor en impulsor. Estas bombas se conocen como multietapas o de varias etapas.

A diferencia de otros tipos de bombas, las centrífugas, operando a velocidad constante proporcionan un flujo desde cero hasta su valor máximo, en función de la carga, diseño propio y condiciones de succión.

Existen curvas características, típicas, de bombas centrífugas, donde se puede interrelacionar la presión de descarga (carga), capacidad, potencia requerida y eficiencia de operación de la bomba.

La presión requerida del sistema se obtiene de la combinación de la carga estática más la presión diferencial del sistema. La curva de pérdidas de fricción es la suma de las pérdidas producidas en tuberías, conexiones y válvulas. Ya que la carga por fricción varía en proporción cuadrática al flujo, la curva característica es

generalmente una parábola. Analizando en forma sobrepuesta las curvas de capacidad-carga de la bomba con la carga del sistema, se obtienen los puntos de capacidad y carga en las cuales la bomba podrá operar para ese sistema en particular.

Bombas rotatorias

Las bombas rotatorias, en sus diferentes variedades, se consideran de desplazamiento positivo, pues su principio de operación está basado en un transporte directo del fluido de un lugar a otro.

Los elementos rotatorios de la bomba crean una disminución de presión en el lado de succión, permitiendo así que una fuerza externa (en ocasiones la presión atmosférica) empuje al fluido hacia el interior de una cavidad; una vez llena esta, los elementos rotatorios, en su propia rotación, arrastran o llevan el fluido que quedó atrapado en la mencionada cavidad, formada por la parte rotatoria de la bomba y la carcasa (estacionaria), siendo empujado hacia la descarga, forzándose a salir. El fluido así es prácticamente desplazado de la entrada hacia la salida en un movimiento físico de traslación.

Los tipos de bombas rotatorias más comunes son las llamadas de engranes, tanto externos como internos, bombas de lóbulos y bombas de tornillo. Algunas de las características de las bombas rotatorias son las siguientes:

- Producen flujo continuo, sin pulsaciones.
- Su capacidad de succión es de 0.65 atmósferas (6.5 m de columna de agua).
- Su capacidad de flujo es generalmente de bajo rango.
- Su rango de presión de descarga es medio, del orden de 20 kg/cm^2 máximo.

Por sus características de operación, la capacidad de manejo de flujo en una bomba rotatoria, está en función de su tamaño y velocidad de rotación. Pueden usarse para líquidos con cualquier índice de viscosidad, pero son bombas sensibles a la presencia de abrasivos, por la gran fricción que hay entre los engranes o lóbulos y el fluido. En particular su rango de fluidos más adecuado, son los de alta viscosidad como grasas, mezclas, pinturas.

También, por su adecuado control de volúmenes en función de la velocidad, son adecuadas para usarse como bombas dosificadoras de productos que deben ser medidos con precisión.

De los diferentes tipos de bombas rotatorias, las más conocidas y simples son las llamadas de engranes. Otra variedad, son las llamadas de tornillo, que pueden tener uno, dos o hasta tres tornillos, dependiendo de la capacidad y presión requerida. Existen modificaciones como las llamadas de "cavidad viajera", consistente en un rotor con forma de tornillo helicoidal, mientras que el estator tiene un espiral doble opuesto a la espiral del rotor. Los espacios entre rotor y estator atrapan el material, y en cada revolución lo mueven continuamente hacia la descarga.

Bombas reciprocantes.

Como su nombre lo indica, producen el bombeo de fluidos con base a un movimiento reciprocante de uno o varios pistones, siendo por ello también bombas de desplazamiento positivo.

La bomba reciprocante tiene la particularidad de producir un flujo pulsante en función del movimiento de su(s) pistón(es). Su capacidad máxima de succión recomendada es de 0.65 atmósferas (6.5 metros de columna de agua, aunque teóricamente pueden succionar a 1 atmósfera), y pueden construirse para trabajar a presiones hasta de 1 000 kg/cm².

Por sus características, su aplicación es amplia donde se requieren altas presiones, o volúmenes controlados de fluido, por lo que se usan mucho en líquidos de alta viscosidad y en el campo de medición y dosificación. Las bombas reciprocantes no hacen succión en los fluidos a manejarse. Al avanzar el pistón se hace una reducción de presión en la cámara de succión, requiriéndose de una fuerza externa (generalmente la presión atmosférica) que empuja el fluido a la cámara.

La capacidad o flujo a manejarse por la bomba está en función de la velocidad, y existe una interrelación entre la temperatura y la viscosidad del fluido, que afectan también la capacidad en el manejo del fluido.

La eficiencia varía dependiendo del tamaño, diseño y su aplicación. Dado que el suministro del líquido es función del barrido del pistón en el cilindro (carrera), y el número de carreras realizadas en una unidad de tiempo, pero como se descarga un volumen real menor al teórico por deficiencias en el llenado del cilindro, en operación real de las válvulas, fugas en el pistón, la eficiencia volumétrica se define como la relación que existe entre la descarga real y la descarga ideal (desplazamiento del pistón) siendo del orden del 95%.

Bombas sumergibles

Una bomba sumergible, como indica el nombre es una bomba que se sumerge en un líquido. Las bombas sumergibles contienen un impulsor sellado a su carcasa que permite bombear el líquido en el que se encuentran sumergidas hacia el exterior. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de bombeo significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

Este tipo de bombas son utilizadas principalmente para el bombeo y extracción de aguas residuales, para extraer el agua de pozos, útiles también para piscinas y estanques.

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en un acoplador del pie de los platos, de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Estas se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua.

Este tipo de bombas también se utilizan en depósitos de combustible. Aumentando la presión en el fondo del depósito, se puede elevar el líquido más fácilmente que aspirándolo (succión) desde arriba. Los modelos más avanzados incluyen un

separador de agua/aceite que permite reinyectar en el yacimiento sin necesidad de subirla a la superficie.

El sistema consiste en un número de rodets giratorios instalados en serie para aumentar la presión. La energía para hacer girar la bomba proviene de una red eléctrica de baja tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150°C.

Se requiere atención especial al tipo de bomba sumergible utilizado cuando se usan ciertos tipos de líquidos. En la mayoría de las aplicaciones se utilizan motores asíncronos de corriente alterna que accionan una bomba centrífuga radial, que puede ser de varias etapas conectadas en serie. Las bombas sumergibles pueden trabajar también con tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito. Sin embargo, para funcionar tienen que estar cebadas, esto es, con agua, de forma que la columna de agua comunique la bomba con el depósito. La tubería de aspiración no puede ser excesivamente alta para que no disminuya excesivamente la presión en la bomba y evitar la cavitación en la bomba. El líquido bombeado, a la circular alrededor del motor, también refrigera a éste. Además, si la bomba está situada fuera del depósito, existe la posibilidad de que se produzcan fugas de gasolina y pueda causar un incendio. Algunos tipos de bomba no están preparados para ciertas aplicaciones, como el bombeo de agua caliente o líquidos inflamables.

El uso de las bombas sumergibles en fuentes de jardín y paredes llamados muros llorones se está haciendo muy común en todo el mundo, con gran variedad de capacidades y tamaños.

1.3.2 Selección de las bombas

Para seleccionar un equipo de bombeo se deberá tener un conocimiento completo del sistema en que trabajará la bomba y motor, caso contrario puede hacer una selección errónea que causará el mal funcionamiento de la bomba, lo que a su vez afectará a la eficiencia y eficacia del sistema.

Las bombas se eligen generalmente por uno de los tres métodos siguientes:

- El cliente suministra detalles completos a uno o más proveedores, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para la aplicación.
- El comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo procediendo a elegir la unidad más adecuada de catálogos y gráficas de características.
- Una combinación de los anteriores métodos para llegar a la selección final.

Para seleccionar equipos pequeños de bombeo, como los utilizados en el medio rural, es más conveniente adoptar uno de los dos últimos métodos. No es una práctica recomendable, dejar la selección de la bomba únicamente en manos del representante del proveedor, ya que su criterio será limitado debido a su conocimiento parcial del sistema en que trabajará la bomba (solo dispondrá de la información que se le proporcione).

Contrariamente, cuando se pide una propuesta, es buena práctica proporcionar un diagrama completo del sistema en que trabajará el equipo al representante del proveedor, de esta manera sus técnicos pueden realizar sus propios cálculos y verificar los del cliente. Esta es una forma de asegurar una selección más exacta del equipo.

Los pasos básicos para la elección de cualquier tipo de bomba son:

- Elaborar un diagrama de la disposición de bomba y tuberías.
- Determinar el caudal de bombeo.
- Calcular la altura manométrica total.
- Estudiar las condiciones del líquido
- Elegir la clase y tipo de bomba.

En las tablas 1.1 y 1.2 se muestran una serie de criterios que se deben tener en cuenta para la selección de la bomba adecuada.

Tabla 1.1. Ventas y desventajas de los distintos tipos de bombas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Tipo de bomba	Ventajas	Desventajas
Bomba de eje horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinas simples y versátiles. - Facilidad de instalación, operación y mantenimiento. - Economía en su adquisición y mantenimiento. - Pueden ubicarse en un área distante del punto de captación, favoreciendo su ubicación en lugares seguros y libres de inundación, aluviones, etc. - Pueden ser utilizadas para el bombeo de considerables caudales a elevadas alturas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta limitaciones en la altura de succión (máximo 7 metros), limitado por la presión atmosférica, la temperatura y la altitud del lugar de operación. - Para ser instaladas requieren mayor área superficial que la que demanda una bomba de eje vertical. - Necesitan de la instalación de accesorios en la tubería de succión para mantenerlas cebadas durante el arranque - Son sensibles a perder el cebado durante la operación afectando al servicio que presta.
Bomba de eje vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren espacios menores para ser instaladas, en comparación a las áreas de instalación que demandan las bombas de eje horizontal, con lo cual es posible reducir los costos de construcción de la estación de bombeo. - La bomba puede trabajar alejada del motor, por tanto, ser instalada en un lugar de condición adversa o sumergida en el líquido a bombear (pozo seco o húmedo). - Pueden ser instaladas en lugares en los que la gran altura de succión u otros factores impiden la instalación de una bomba de eje horizontal (alturas mayores a 7 metros) - Pueden ser diseñadas para operar en serie mediante etapas superpuestas con un solo motor, para incrementar la presión que puede desarrollar la bomba. - Admite una diversidad de configuraciones para su accionamiento: directamente por un motor eléctrico, acoplados a un motor de combustión interna (gasolina o diesel) o tener un accionamiento mixto (eléctrico y combustión interna), asegurándose de esta manera su operación permanente. - Cuando son instaladas en pozos profundos, tienen gran flexibilidad de adaptar las condiciones de bombeo a las características del pozo, ya que presentan muchos parámetros que son susceptibles a ser ajustados. - Alta confiabilidad, su construcción robusta puede responder satisfactoriamente hasta en las condiciones más severas y prolongada vida útil. - Si se compara su funcionamiento en un pozo hasta 20 metros de profundidad, su eficiencia es mayor que la que puede lograr una bomba sumergible. 	<ul style="list-style-type: none"> - No recomendables para grandes profundidades porque requieren de un eje de transmisión excesivamente largo, lo cual puede resultar muy costoso. - El alineamiento vertical es exigente. - Elevado ruido eléctrico de los motores. - Mayor dificultad para la operación y mantenimiento; se requiere mano de obra especializada.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Tipo de bomba	Ventajas	Desventajas
Bomba sumergible	<ul style="list-style-type: none"> - La bomba y motor trabajan como un conjunto único sumergidos en el agua. - Económicamente ventajosa para pozos muy profundos. - Por debajo de 20 metros son más ventajosas que las bombas de eje vertical. - Se prefiere su instalación en pequeños diámetros por que no exigen la condición de verticalidad perfecta del pozo. - Mínima frecuencia de mantenimiento, puede operar mucho tiempo antes de requerir reparaciones. - Motor y bomba trabajan sumergidos lo cual se consigue aislar el ruido durante la operación. - Motor acoplado directamente al eje de la bomba, velocidad bomba-motor muy compacta con lo que se evitan largos tramos de eje y numerosas bocinas para el acoplamiento de ambos elementos. - Pueden ser instalados en pozos relativamente curvos o desalineados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran dificultad en la instalación la bomba, debido al que motor va sumergido - Alto costo inicial del motor. - Requieren elevados costos en la operación y mantenimiento del equipo. Requieren de costosos y complicados elementos de control. Existe rápido desgaste de piezas de hierro expuestas a corrosión. - Se debe evitar el arranque de la bomba fuera del agua. Muy sensible al ingreso de arenas y agua al motor. - Requiere mano de obra calificada para la operación y mantenimiento. - Para el mantenimiento hay que extraer la bomba y el motor del pozo, debiéndose paralizar el servicio. - Concebidas con velocidades de rotación elevadas que reduce la vida del motor. - Están disponibles en pocas velocidades y sin opción de ser variadas. - En comparación a las bombas de turbina vertical requiere un mayor consumo de energía por volumen de agua extraída.

Fuente: <https://dragoit.com/blog/sistemas-de-bombeo/>. (2017).

Tabla 1.2. Tipo de bomba recomendado según el tipo de fuente.

Tipo de fuente	Tipo de bomba recomendado
Pozo profundo.	<ul style="list-style-type: none"> - Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta). - Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica angosta)
Pozo excavado para agua potable.	<ul style="list-style-type: none"> - Bomba centrífuga vertical sumergible - Bomba axial vertical sumergible - Si altura de succión menor a 4m: - Bomba centrífuga horizontal, no sumergible - Bomba centrífuga vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) - Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil). - Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil).
Cámara de aspiración de agua residual	<ul style="list-style-type: none"> - Bombas centrífuga vertical, no sumergible.

Fuente: <https://dragoit.com/blog/sistemas-de-bombeo/>. (2017).

1.4 Normativas para el sistema de bombeo de agua

El presente epígrafe pretende exponer en forma clara y sencilla los lineamientos para elaborar los proyectos hidráulicos de los sistemas de abastecimiento de agua potable. El objetivo de un sistema de abastecimiento es proporcionar un sistema eficiente, considerando cantidad, calidad y continuidad.

En la elaboración de un proyecto se deben plantear varias alternativas, definiendo para cada una de ellas, las obras que lo integran, realizando un análisis y selección de la más conveniente, en función de los aspectos de eficiencia, constructivos y económicos.

1.4.1 Datos para el proyecto

Para llevar a cabo los proyectos de agua potable de los fraccionamientos y condominios, se deben conocer los siguientes datos (tabla 1.3):

Tabla 1.3. Datos a considerar en el diseño de proyectos de agua potable.

No.	Datos	Características
1	Tipo de desarrollo	Habitacional Comercial Industrial Mixto
2	Tabla de áreas de usos del suelo (m ²)	Terreno
3	Número de lotes	Cantidad (habitacional, comercial, etc.)
4	Densidad de población	Hab/ha
5	Población de proyecto	Habitantes (total para el desarrollo)
6	Dotación	l/hab/día
7	Gasto medio diario	l/s

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

8	Gasto máximo diario	l/s
9	Gasto máximo horario	l/s
10	Coeficiente de variación diaria	1.2 a 1.5
11	Coeficiente de variación horaria	1.5 a 2.0
12	Tipo de tubería a emplear	Material, características
13	Coeficiente de rugosidad de la tubería	f (material de la tubería)
14	Punto de conexión	Ubicación del cruce de conexión
15	Presión disponible en el punto de conexión	Definir carga que proporcionará el punto de conexión
16	Tipo de conducción	Gravedad, bombeo, combinada
17	Regularización	Tanque superficial, tanque elevado
18	Capacidad de la regularización	m ³
19	Rebombeo	Tanque superficial
20	Capacidad de rebombeo	m ³
21	Tipo de distribución	Gravedad, bombeo, combinada
22	Definir si habrá reúso de aguas negras o grises	Describir

Fuente: Claro (2016).

Línea de conducción

Se llama línea de conducción al conjunto de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será regulada y posteriormente distribuida.

La conducción por bombeo se requiere cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica menor a la requerida en el punto de entrega, es decir, se encuentra en un nivel inferior al del tanque de regulación o la red de distribución.

Conceptos a considerar para el diseño (Mayol, 1981 y 1983)

Las tuberías de conducción deberán de cumplir con los aspectos mencionados a continuación:

- Contar con el perfil y el trazo del terreno donde se ubicará la línea.
- No cruzar terrenos particulares.
- Dejar pasillos de servicio entre terrenos para ubicar la línea de conducción. Estos pasillos de servicio deberán ser de 4.00m de ancho mínimo (2.00m a cada lado), con acceso libre de construcciones y obstáculos, no se permitirá ningún tipo de construcción.
- Buscar el recorrido más corto entre la fuente de abastecimiento y el tanque de regulación.
- Deberá de ubicarse la línea de conducción en zanjas separadas de las redes de distribución.
- En la conducción nunca deberán de conectarse tomas domiciliarias.
- Deberá de contar con válvulas de admisión y expulsión de aire (combinadas) en los sitios más elevados del perfil, en las zonas sensiblemente planas a distancias entre 400 m y 800 m. Lo anterior es para eliminar el aire presente en el agua y permitir la correcta operación de la línea durante el llenado y vaciado de la misma.
- En los puntos bajos del perfil deberán de colocarse válvulas de desagüe.

En la tabla 1.4 se presentan las velocidades permisibles según el tipo de material de la tubería:

Tabla 1.4. Velocidades permisibles según el tipo de material de la tubería

Material de la tubería	Velocidad	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado a partir de 60cm de diámetro	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30

Acero sin revestimiento		
Acero galvanizado		
Asbesto cemento		
Hierro fundido		
Hierro dúctil		
PEAD (Polietileno de Alta Densidad)		
PVC (Policloruro de Vinilo)		

Fuente: Claro (2016).

1.4.2. Tanque de regulación

La regularización tiene por objeto lograr la transformación de un régimen de aportaciones (de la conducción) que normalmente es constante, en un régimen de consumos o demandas (de la red de distribución) que siempre es variable. El tanque de regularización debe proporcionar un servicio eficiente bajo normas estrictas de higiene y seguridad, procurando que su costo de inversión y mantenimiento sea mínimo.

Adicionalmente a la capacidad de regulación, se puede contar con un volumen para alimentar la red de distribución en condiciones de emergencia (incendios, desperfectos en la captación o en la conducción). Este volumen adicional debe justificarse en aspectos técnicos y financieros, y se define como el volumen de almacenamiento.

En el cálculo de la capacidad de los tanques se debe considerar tanto el número de horas de alimentación o bombeo como su horario.

1.4.3 Redes de distribución

La red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua potable desde los tanques de regulación (y almacenamiento) o desde el punto de conexión con alguna red ya existente hasta las tomas de los edificios o hidrantes públicos.

De acuerdo a su función, la red de distribución puede dividirse en red primaria y red secundaria. A la tubería que conduce el agua desde el tanque de regulación hasta el punto donde se inicia la distribución se le denomina línea de alimentación y se le considera como parte de la red primaria, sujetándose a los mismos criterios de diseño que la red de distribución en general. La red de distribución se diseña con el Gasto Máximo Horario (QMh).

Las redes de distribución (Saldarriaga, 1998) de agua potable se pueden dividir, en función de la morfología de las mismas, en dos grandes tipos:

- Redes arborescentes: sin ningún circuito cerrado o, dicho de otro modo, donde el agua tan sólo puede circular en un único sentido.
- Redes malladas: con circuitos cerrados o, dicho de otro modo, donde el agua puede realizar como mínimo dos trayectos distintos para servir cada punto de consumo. Este es el que más se asemeja al trazado actual de la universidad.

Formas de distribución

Por gravedad. El agua de la fuente de abastecimiento se bombea hasta un tanque de regulación localizado en algún punto elevado del terreno que pueda proporcionar la suficiente presión, para de ahí ser distribuida por gravedad a través de la línea de alimentación. Éste es el método más conveniente de operación, debiéndose de utilizar siempre que se disponga de cotas de terreno elevadas con un tanque superficial o en terrenos planos con un tanque elevado que nos proporcione la carga hidráulica requerida.

Por bombeo directo a la red a partir de un tanque central de almacenamiento. Este sistema de operación, consiste en el abastecimiento directo a la red a través de un equipo de bombeo que garantice la carga hidráulica adecuada para el suministro en los puntos cercanos al tanque que no presenten desnivel con respecto a la ubicación del mismo, considerando equipos de bombeo con variadores de velocidad para generar parámetros de presión constante en la red y gasto de acuerdo a la demanda que se presenta durante el día.

Criterio del cálculo hidráulico

Cuando la operación de la red es a presión y los gastos que circulan en sus tuberías no cambian con el tiempo, se tiene el caso de flujo permanente y corresponde a una red estática, que es el caso que se considerará para el cálculo de las redes de distribución (Auli, 1990).

Las siguientes reglas se deben de considerar en el cálculo de redes:

- La pérdida de carga en un conducto varía como una potencia del gasto.
- La suma algebraica de todos los gastos de entrada y salida en cualquier unión de los tubos es igual a cero.
- La suma algebraica de todas las pérdidas de carga entre dos puntos cualesquiera, es la misma por cualquier ruta.
- La suma algebraica de todas las pérdidas de carga alrededor de un circuito, es igual a cero.

Procedimiento para el cálculo de redes abiertas (Cátedra de Mecánica de los Fluidos, 1987)

1. Se hace el trazo de la red a partir del tanque.
2. Se obtiene el coeficiente de gasto por metro de tubería o gasto específico.
3. Se marca en un plano topográfico la que será la línea principal de distribución a partir del tanque.
4. Se calculan los gastos principales y secundarios.
5. Se calculan para la línea principal los gastos acumulados del final de la red, hasta el inicio de ella.
6. Se estiman los diámetros.
7. Se determinan las pérdidas de carga por fricción a partir del tanque para cada tramo de la línea principal.
8. Se determinan las elevaciones piezométricas y las cargas de presión en cada crucero.
9. Se determina el diámetro de las tuberías secundarias.
10. Se termina la numeración de los cruceros faltantes y se efectúa su diseño, colocando las válvulas de seccionamiento en forma adecuada.

Recomendaciones. Presión, velocidad, válvulas

La Norma Mexicana (1994) propone que las redes primarias o el circuito se dividen en dos ramales y el diámetro mínimo a utilizar es de 100 mm (4 pulgadas), aunque en zonas rurales se acepta hasta 50 mm (2 pulgadas). Para las redes secundarias su diámetro estará comprendido entre 50 y 60 mm y no se calculan hidráulicamente, su trazo puede ser biplanar o monoplanar.

En la tabla 1.5 se establecen las velocidades permisibles según la Norma Mexicana (1994):

Tabla 1.5. Velocidades permisibles según la Norma Mexicana

Diámetro interior, mm	Velocidades máximas, m/s
<150	1.5
<600	2.0
>600	2.5

Fuente: Claro (2016).

La Norma Peruana (2012) propone:

- Diámetro mínimo: el diámetro mínimo de las tuberías principales será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial.
- En casos excepcionales, debidamente fundamentados, podrá aceptarse tramos de tuberías de 50 mm de diámetro, con una longitud máxima de 100 m si son alimentados por un solo extremo o de 200 m si son alimentados por los dos extremos, siempre que la tubería de alimentación sea de diámetro mayor y dichos tramos se localicen en los límites inferiores de las zonas de presión.
- El valor mínimo del diámetro efectivo en un ramal distribuidor de agua será el determinado por el cálculo hidráulico. Cuando la fuente de abastecimiento es agua subterránea, se adoptará como diámetro nominal mínimo de 38 mm o su equivalente.
- La velocidad máxima será de 3 m/s.
- En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s.
- La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red.

- En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m.

Ubicación y recubrimiento de tuberías

- Se fijarán las secciones transversales de las calles del proyecto, siendo necesario analizar el trazo de las tuberías nuevas con respecto a otros servicios existentes y/o proyectos.
- En todos los casos las tuberías de agua potable se ubicarán, respecto a las redes eléctricas, de telefonía, conductos de gas u otros, en forma tal que garantice una instalación segura.
- En las calles de 20 m de ancho o menos, las tuberías principales se proyectarán a un lado de la calzada como mínimo a 1.20 m del límite de propiedad y de ser posible en el lado de mayor altura, a menos que se justifique la instalación de 2 líneas paralelas (NC 1021 del 2014).
- En las calles y avenidas de más de 20 m de ancho se proyectará una línea a cada lado de la calzada cuando no se consideren ramales de distribución.
- El ramal distribuidor de agua se ubicará en la vereda, paralelo al frente del lote, a una distancia máxima de 1.20 m desde el límite de propiedad hasta el eje del ramal distribuidor.
- La distancia mínima entre los planos verticales tangentes más próximos de una tubería principal de agua potable y una tubería principal de aguas residuales, instaladas paralelamente, será de 2 m, medido horizontalmente.
- La mínima distancia libre horizontal medida entre ramales distribuidores y ramales colectores, entre ramal distribuidor y tubería principal de agua o alcantarillado, entre ramal colector y tubería principal de agua o alcantarillado, ubicados paralelamente, será de 0.20 m. Dicha distancia debe medirse entre los planos tangentes más próximos de las tuberías.
- En vías vehiculares, las tuberías principales de agua potable deben proyectarse con un recubrimiento mínimo de 1 m sobre la clave del tubo. Recubrimientos menores, se deben justificar. En zonas sin acceso vehicular el recubrimiento mínimo será de 0.30 m.

- El recubrimiento mínimo medido a partir de la clave del tubo para un ramal distribuidor de agua será de 0.30 m.

Válvulas (NC 176)

- La red de distribución estará provista de válvulas de interrupción que permitan aislar sectores de redes no mayores de 500 m de longitud.
- Se proyectarán válvulas de interrupción en todas las derivaciones para ampliaciones.
- Las válvulas deberán ubicarse, en principio, a 4 m de la esquina o su proyección entre los límites de la calzada y la vereda.
- Las válvulas utilizadas tipo reductoras de presión, aire y otras, deberán ser instaladas en cámaras adecuadas, seguras y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.
- Toda válvula de interrupción deberá ser instalada en un alojamiento para su aislamiento, protección y operación.
- Deberá evitarse los “puntos muertos” en la red, de no ser posible, en aquellos de cotas más bajas de la red de distribución.
- El ramal distribuidor de agua deberá contar con válvula de interrupción después del empalme a la tubería principal.

Conclusiones del capítulo

Los estudios relacionados con la eficiencia energética en los sistemas de bombeo de agua se han venido desarrollando desde el siglo pasado. Los avances tecnológicos y el cambio climático han sido pretextos suficientes para incentivar a la comunidad científica a tratar estos temas de una manera innovadora y perdurable.

Existe una gran variedad de bibliografía a nivel internacional sobre este tema y en Cuba el potencial de investigaciones relacionado con esto no es tan basto como a nivel internacional pero sí avanza, y más cuando el país persigue un mayor ahorro de energía.

CAPÍTULO II

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

El análisis energético del sistema de bombeo de la Universidad de Holguín, donde se incluyen a tres de las cuatro sedes componentes de dicha institución, pretende determinar el tiempo de bombeo, la cantidad de agua que se bombea en cada caso y la energía que se consume por tal motivo.

Dependiendo de los resultados obtenidos de las acciones que comprenden el análisis energético, se podrán formular una serie de observaciones, medidas y recomendaciones con el objetivo de mejorar las condiciones actuales de cada sistema de bombeo, y por tanto alcanzar una mayor eficiencia energética en los mismos.

2.1 Caracterización de los sistemas de bombeo

La UHo está compuesta por cuatro sedes, “Oscar Lucero Moya (OLM)”, “José de la Luz y Caballero (JLC)”, “Manuel Fajardo (MF)” y “Celia Sánchez Manduley (CSM)”. En cada una de estas sedes existe un sistema de distribución de agua por medio de bombeo y luego por gravedad, es decir, se bombea el agua almacenada en la fuente (cisterna o pozo) por medio de una bomba hacia un tanque elevado, y luego por acción gravitatoria se distribuye el agua hacia las diferentes zonas.

En el momento de la concepción de esta investigación se decidió incluir a las cuatro sedes para que los resultados a obtener fueran de mayor envergadura e importancia para la institución. Una vez que se llevaron a cabo las actividades de reconocimiento y caracterización visual de los sistemas de bombeo se pudo determinar que todos son diferentes, no con una gran diferencia, pero sí lo necesario como para argumentar la decisión final de analizar las cuatro sedes de la universidad.

A continuación, se hará una caracterización detallada de los cuatro sistemas de bombeo de los que se ha venido comentando y de los que en fin se basa este estudio.

2.1.1 Sede “OLM”

La sede “OLM” cuenta con una plantilla de trabajadores de 984, y una matrícula de estudiantes del Curso Regular Diurno (CRD) de 1767 y del Curso Por Encuentros (CPE) de 1496.

El sistema de bombeo está integrado por la caseta del operador (turbinero) en la cual se encuentran dos bombas, el interruptor de las mismas, los conductos eléctricos y parte de la distribución de agua (conductos o tuberías). En la parte exterior se hallan dos cisternas y un tanque elevado, a esto se le suma la parte restante de la distribución de agua, ya sea el agua que se transporta de la cisterna al tanque elevado como la que se reparte del tanque elevado a los distintos edificios del lugar.

Las dos bombas son de fabricación soviética, funcionando en la actualidad solo una (figura 2.1). La que está en explotación ha sido reparada en dos ocasiones ignorándose lo que se hizo para repararla y también se desconocen los motivos por lo que la bomba averiada no se ha reparado.



Figura 2.1. Bombas del sistema de bombeo. Fuente: elaboración propia (2018).

El motor eléctrico que acciona a la bomba tiene una potencia nominal de 22 kW, frecuencia de 60 Hz y tensión de 220 V.

Las cisternas son de diferentes dimensiones, siendo la más grande la fuente de donde primero se extrae el agua y la pequeña funge como depósito de reserva. En la

tabla 2.1 se muestran las dimensiones de ambas cisternas y la capacidad de almacenamiento de agua:

Tabla 2.1. Dimensiones de las dos cisternas del sistema de bombeo.

Cisterna	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m³)
1	32.5	12	2.5	975
2	16	6	2.5	240

Fuente: elaboración propia (2018).

El tanque elevado es de tipología hongo, tipología prefabricada empleada en varias instituciones, tanto educacionales como de otra índole, en todo el país. Este tanque tiene un fuste de 30 m y una capacidad de agua de 300 m³. El aviso de llenado del tanque es por medio del desborde, punto en el cual el operador debe apagar el motor de la bomba.

Las tuberías de distribución de agua desde la cisterna hasta el tanque elevado son de hierro galvanizado y tienen las siguientes medidas:

- Toma de la cisterna: 29.5 cm de diámetro.
- Salida de la caseta del sistema de bombeo hacia el tanque elevado: 19.5 cm de diámetro.
- Entrada al tanque elevado: 36.5 cm de diámetro.
- Tubería para limpieza del tanque: 36.5 cm de diámetro. La limpieza del tanque se realiza cada seis meses, según los operadores, utilizando esta tubería para descargar el agua sedimentada.

Las tuberías de distribución de agua destinadas al abastecimiento de los distintos edificios tienen las siguientes medidas:

- Salida del tanque elevado a los distintos edificios: 54 cm de diámetro.

El sistema de bombeo es accionado todos los días, incluyendo los meses de receso escolar (vacaciones), debido a la presencia de estudiantes extranjeros que permanecen en la universidad. Son dos los operadores que accionan el interruptor,

haciéndolo de forma alterna, es decir, un operador trabaja dos días y los siguientes dos el otro.

2.1.2 Sede “MF”

La sede “MF” cuenta con una plantilla de trabajadores de 221, y una matrícula de estudiantes del CRD de 208 y del CPE de 339.

El sistema de bombeo está integrado por la caseta del operador en la cual se encuentran una bomba, el interruptor de la misma, los conductos eléctricos y parte de la distribución de agua (conductos o tuberías). En la parte exterior se hallan una cisterna y dos tanques elevados, a esto se le suma la parte restante de la distribución de agua, ya sea el agua que se transporta de la cisterna a los tanques elevados como la que se reparte de los tanques elevados a los distintos edificios del lugar.

El motor eléctrico que acciona a la bomba tiene una potencia nominal de 11 kW, frecuencia de 60 Hz y tensión de 220 V (figura 2.2).



Figura 2.2. Bomba del sistema de bombeo. Fuente: elaboración propia (2018).

Las dimensiones de la cisterna se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Dimensiones de la cisterna del sistema de bombeo.

Cisterna	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
1	18	12	2.90	626.4

Fuente: elaboración propia (2018).

En este caso existen dos tanques elevados de hormigón prefabricados con base de hormigón también. Tienen una capacidad de 18 m³ y 15 m³ que comparada con la de los demás tanques es muy inferior, pero relacionado con las características de este centro (más pequeño y menos cantidad de trabajadores y estudiantes) no existen problemas de abasto de agua.

Las tuberías de distribución de agua desde la cisterna hasta el tanque elevado son de acero y tienen las siguientes medidas:

- Toma de la cisterna: 19.5 cm de diámetro.
- Salida para los tanques elevados dentro de la caseta: 15.5 cm de diámetro.
- Salida para los tanques elevados fuera de la caseta: 19.5 cm de diámetro.
- Subida para los tanques elevados: 23.5 cm de diámetro.

Las tuberías de distribución de agua destinadas al abastecimiento de los distintos edificios tienen las siguientes medidas:

- Salida de los tanques elevados a los distintos edificios: 23.5 cm de diámetro.

El sistema de bombeo es accionado seis días a la semana debido a que solo existe un operador, y este necesita un día para descansar. Esta situación no ocurre en las demás sedes ya que la cantidad de operadores es mayor.

2.1.3 Sede “JLC”

La sede “JLC” cuenta con una plantilla de trabajadores de 661, y una matrícula de estudiantes del CRD de 923 y del CPE de 1154.

El sistema de bombeo está integrado por la caseta del operador en la cual se encuentran el interruptor de la bomba, los conductos eléctricos y parte de la distribución de agua (conductos o tuberías). En la parte exterior se hallan una cisterna, un pozo y un tanque elevado, a esto se le suma la parte restante de la

distribución de agua, ya sea el agua que se transporta de la cisterna al tanque elevado como la que se reparte del tanque elevado a los distintos edificios del lugar.

La bomba es de tipo sumergible y está ubicada en el pozo existente a unos 30 m de profundidad aproximadamente según comentarios de los operadores. El motor eléctrico que acciona a la bomba tiene una potencia nominal de 11 kW, frecuencia de 60 Hz y tensión de 220 V (figura 2.3).



Figura 2.3. Bomba del sistema de bombeo. Fuente: elaboración propia (2018).

La cisterna perteneciente a esta sede no está en uso, siendo la fuente de agua un pozo natural, el cual en tiempo de eventos extraordinarios ha servido de abasto de agua para la población.

El tanque elevado es de tipología hongo, tipología prefabricada empleada en varias instituciones, tanto educacionales como de otra índole, en todo el país. Este tanque tiene un fuste de 30 m y una capacidad de agua de 300 m³. El aviso de llenado del tanque es por medio del desborde, punto en el cual el operador debe apagar el motor.

Las tuberías de distribución de agua desde la cisterna hasta el tanque elevado son de hierro galvanizado y tienen las siguientes medidas:

- Toma del pozo: 19.5 cm de diámetro.
- Salida para el tanque de la cocina: 19.5 cm de diámetro.
- Salida para el tanque elevado: 28.5 cm de diámetro.
- Tubería para limpieza del tanque: 36.5 cm de diámetro.

Las tuberías de distribución de agua destinadas al abastecimiento de los distintos edificios tienen las siguientes medidas:

- Salida del tanque elevado a los distintos edificios: 50.5 cm de diámetro.

El sistema de bombeo es accionado todos los días, incluyendo los meses de receso escolar (vacaciones), debido a la presencia de estudiantes extranjeros que permanecen en la universidad. Son dos los operadores que accionan el interruptor, haciéndolo de forma alterna, es decir, un operador trabaja dos días y los siguientes dos el otro.

2.1.4 Sede “CSM”

La sede “CSM” cuenta con una plantilla de trabajadores de 570, y una matrícula de estudiantes del CRD de 489 y del CPE de 743.

El sistema de bombeo está integrado por la caseta del operador en la cual se encuentran dos bombas, el interruptor de las mismas, los conductos eléctricos y parte de la distribución de agua (conductos o tuberías). En la parte exterior se encuentra una cisterna y un tanque elevado, a esto se le suma la parte restante de la distribución de agua, ya sea el agua que se transporta de la cisterna al tanque elevado como la que se reparte del tanque elevado a los distintos edificios del lugar.

Las dos bombas son de la marca Rentax, funcionando en la actualidad solo una (figura 2.4).



Figura 2.4. Bombas del sistema de bombeo. Fuente: elaboración propia (2018).

Las dimensiones de la cisterna se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Dimensiones de la cisterna del sistema de bombeo.

Cisterna	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
1	17.50	15.20	3.20	850

Fuente: elaboración propia (2018).

En este caso existe un tanque elevado rectangular de hormigón armado sobre una estructura de vigas y columnas de hormigón armado. El mismo tiene una capacidad de 70 m³.

El sistema de bombeo tiene la particularidad de que es automático, es decir, una vez que el tanque llega hasta un nivel determinado, por medio de sensores envía una señal de apagado de la bomba. Lo mismo ocurre cuando el tanque está a un nivel casi de vacío y mediante sensores envía una señal de encendido.

Esta sede tiene como aspecto distintivo que la entrada de agua a la cisterna y al resto del centro es casi diaria, por tanto, el sistema de bombeo es poco accionado. Se habla de aproximadamente 15 días sin que se accione el mismo. A partir de lo que sucede en este lugar, se tomó la decisión de no continuar con el estudio que se

plantea en esta investigación. No obstante, la determinación del caudal de la bomba sí se llevó a cabo a manera de conocimiento.

2.2 Procedimiento de la investigación

El análisis energético del sistema de bombeo de la UHo consta de dos etapas fundamentales. La primera abarca las mediciones tanto de caudal de la bomba y la cantidad de agua bombeada, como la energía que se emplea con tal fin. La segunda etapa está determinada por el análisis e interpretación de los resultados que se obtienen de las acciones desarrolladas en la primera etapa.

A raíz de estos resultados, y en caso que fuere necesario, se puede concebir una serie de medidas con el propósito de revertir la situación si esta fuera desfavorable.

2.2.1 Etapa de mediciones

En la etapa de mediciones se trazaron varios objetivos, siempre teniendo en cuenta una serie de tareas que permitieran el cumplimiento de los mismos. A continuación, se mencionan estos objetivos:

- Determinar el caudal de las bombas.
- Obtener la cantidad de agua que se bombea.
- Medir los parámetros eléctricos.

Determinar el caudal de las bombas

La determinación del caudal de cada una de las bombas se realizó mediante el método de estimación por intervalo, ignorándose el valor existente en las chapillas de las bombas debido a que este es un valor nominal. A partir de las mediciones por este método se logran valores más cercanos al comportamiento real del sistema de bombeo.

El trabajo de campo consistió en tomar mediciones en periodos de tiempo determinados en cada una de las cisternas:

- Primero, la bomba tenía que estar encendida, es decir el proceso normal de bombeo.

- Segundo, se establecieron periodos cortos de tiempo de 15 minutos con una frecuencia determinada, atendiendo a las condiciones y particularidades del lugar, para obtener un promedio.
- Tercero, con el empleo de una cinta métrica se midió cuánto descendía el nivel de agua en la cisterna en los 15 minutos.
- Cuarto, conociendo ese desnivel que se origina en los 15 minutos y las dimensiones de largo y ancho de la cisterna, se puede calcular el volumen que se bombea en cada frecuencia con ese tiempo.
- Quinto, luego de calcular todos los valores de volumen bombeado, correspondientes a cada periodo de 15 minutos, se puede determinar el volumen promedio que se bombea por medio de métodos estadísticos.
- Sexto, con el valor promedio de volumen que se bombea se realiza el proceso de conversión de unidades con el objetivo de conocer el caudal.

Se debe tener en cuenta (sedes OLM, CSM y MF) a la hora de trabajar con las dimensiones de las cisternas que se le descuenta a estas 0.40 m, debido al espesor de los muros de la estructura.

Obtener la cantidad de agua que se bombea

Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario establecer un periodo de estudio en el cual el operador de cada uno de los sistemas de bombeo debía registrar el horario en que encendía la bomba y la apagaba, incluyendo otros horarios en el mismo día. También debían registrar en un apartado para las observaciones los motivos por los cuales no accionaban el sistema de bombeo en determinadas ocasiones.

Con los datos generados a partir del registro de encendido y apagado de las bombas se pueden obtener gráficos de comportamiento que describen las particularidades de cada una de las sedes, dando paso a la interpretación de los resultados.

Con esta información se puede determinar la cantidad de agua aproximada que se bombea diariamente en cada una de las sedes en cuestión, dando lugar a calcular cuánto se consume en cuanto a energía. Además, se puede conocer, en términos

aproximados, la cantidad de agua consumida por los trabajadores y estudiantes en un día.

Para determinar la cantidad de agua aproximada que se bombea diariamente se determinó el caudal Q de la bomba por cada medición realizada, utilizándose la siguiente expresión:

$$Q = \frac{q_i}{60} * 1000 \quad (4)$$

Siendo:

Q: caudal de la bomba por cada medición en l/s

q_i: caudal perteneciente a cada medición i (m³/15 min).

15: es el valor correspondiente a los 15 minutos en los que se dividió cada periodo de medición.

60: es el valor referido a los 60 segundos que tiene 1 minuto.

1000: es el valor de conversión de m³ a litros.

Una vez que se determinan todos los valores de Q se promedian los valores y se obtiene un valor medio de Q +/- que es el que se utiliza para calcular el volumen de agua que se bombea por día. Se expresa Q +/- debido al cálculo de la desviación estándar que se produce en el registro de varias mediciones y que traen consigo un error. El valor de volumen bombeado se halla por la siguiente expresión:

$$V_{\text{agua}} = t * Q_{\text{prom}} \quad (5)$$

siendo:

V_{agua}: volumen de agua que se bombea diariamente (l).

t: tiempo de encendida la bomba (h).

Q_{prom}= caudal promedio (l/h)

Luego de que se obtiene el volumen de agua bombeada por día es posible determinar un volumen promedio, con la intención de determinar la cantidad de agua

que consumen los trabajadores y estudiantes diariamente como se planteó anteriormente.

A partir de ese total de trabajadores y estudiantes en cada sede, se espera que el bombeo de agua y el consumo de energía por tal razón difieran en cada uno de los casos de estudio. No cabe duda que este estudio, al abarcar a tres de las sedes de la Universidad de Holguín brindará una información relevante para posteriores intervenciones en tal aspecto.

Medir los parámetros eléctricos

El último objetivo de esta primera etapa es medir los parámetros eléctricos en cada uno de los sistemas de bombeo. Se está hablando de las corrientes, las tensiones y las potencias. Estas mediciones se realizaron con la utilización de un medidor de pinza de potencia digital (marca UNI-T, modelo UT233). Este es un dispositivo inteligente de mano, medidor de potencia, que tiene las dos características de medición: corriente y potencia. El medidor puede medir tensión, corriente, potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, factor de potencia, fase ángulo, frecuencia, energía activa y secuencia de fase.

Para obtener estos parámetros era necesario que la bomba estuviera en funcionamiento, es decir, se debía estar presente en el periodo en el que el tanque elevado todavía se estuviera llenando, ya que una vez llenado este, como se ha explicado en epígrafes anteriores, la bomba debe ser apagada. En este aspecto, los motores eléctricos presentes en los tres casos de estudio son trifásicos, es decir, la alimentación eléctrica es generada a través de tres fases. Por tanto, se midieron los parámetros de potencias, corrientes y tensiones antes mencionados para cada una de las fases, denominándolas: fase a, fase b y fase c.

Se debe seguir el mismo procedimiento utilizado para la obtención del volumen de agua bombeado, es decir, determinar valores de potencias, corrientes y tensiones promedios para luego expresar qué cantidad de energía se está consumiendo diariamente en las tres sedes en estudio, generándose también una serie de tablas y gráficos que requieren una posterior interpretación.

A partir de los valores promedios de potencias, cuya denotación sería potencia trifásica promedio ($P_{3\phi_{prom}}$), y el tiempo de encendida la bomba se puede obtener la energía consumida en ese tiempo. Lo anterior se calcula por la siguiente expresión:

$$\text{Energía} = P_{3\phi_{prom}} * t \quad (6)$$

siendo:

Energía: la energía que se consume en un tiempo determinado (kWh).

$P_{3\phi_{prom}}$: la potencia trifásica promedio (kW).

t: tiempo de encendida la bomba (h).

Lo anterior se debe relacionar con el aspecto económico del asunto, se está hablando de cuánto gasta la Universidad de Holguín en el bombeo de agua. Si es poco o si es mucho se determinará con la presente investigación, tomándose las medidas necesarias y brindándose las recomendaciones pertinentes.

Conclusiones del capítulo

Los materiales y métodos empleados para desarrollar la presente investigación, aunque simples, demuestran ser confiables para este fin, ya que se trabaja para un 95% de confiabilidad, lo que significa que de 100 veces que se mide, 95 son aceptables.

CAPÍTULO III

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

En este capítulo se discuten los resultados que se obtienen a partir de la aplicación de los métodos y materiales que se enunciaron en el capítulo anterior, y que fueron utilizados para esta investigación. Además, se realiza un análisis económico-medioambiental relacionado con el bombeo de agua en la universidad.

3.1 Etapa de análisis e interpretación

En la etapa de análisis e interpretación se cierra el ciclo de la selección del método a emplear para el desarrollo de la investigación y las mediciones realizadas. Esta finalización arroja una serie de resultados que necesitan ser procesados y luego graficados, para luego establecer la fase de interpretación de dichas acciones.

El análisis e interpretación de los resultados se hace por sedes, llegando a conclusiones parciales. Luego es pertinente hacer una comparación entre los tres casos de estudio y arribar a las conclusiones generales de la investigación.

Sede “OLM”

En la figura 3.1 se muestran los valores promedio del tiempo de encendida la bomba por cada día de la semana. Se tiene en cuenta la cantidad de veces que fue encendida la bomba en el día. En algunos días no se registraron datos, siendo los responsables los operadores en cada sede, pero de forma general, el promedio cubre la semana completa.

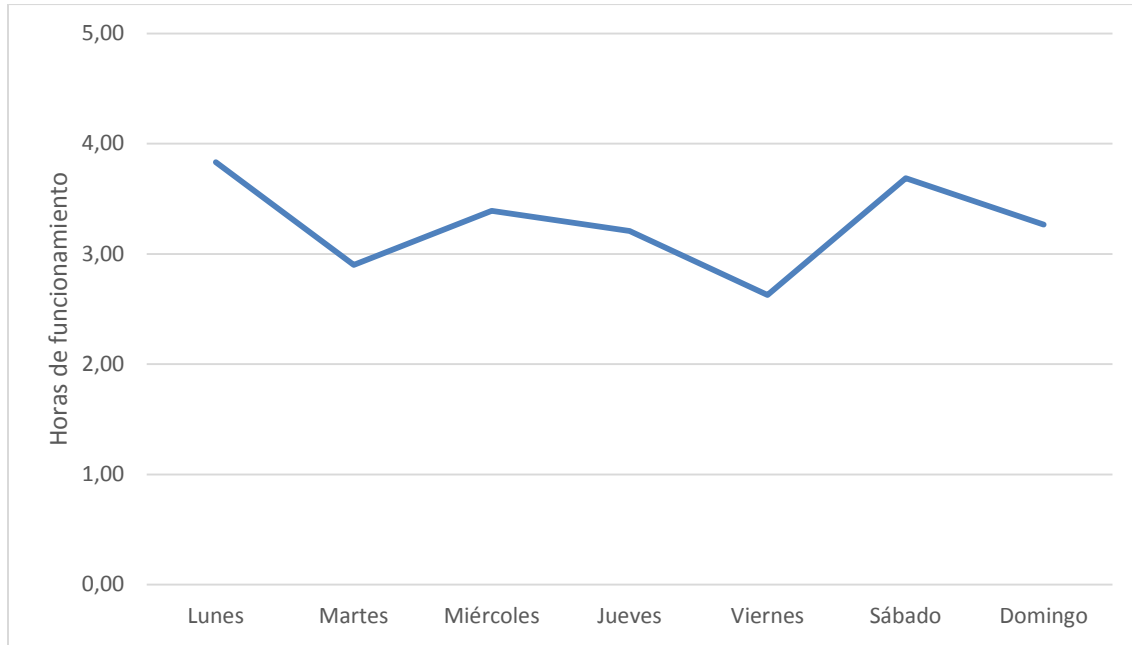


Figura 3.1. Tiempo promedio de encendida la bomba. Fuente: elaboración propia (2018).

Según lo que se aprecia en la figura anterior el tiempo de encendida de la bomba va disminuyendo de lunes a viernes. Esto se corresponde con la salida de los estudiantes de la residencia los viernes y su llegada los domingos o lunes, así como la tendencia de los trabajadores de acumular trabajo a inicios de semana por lo que su presencia a finales de semana disminuye. Se debe señalar que el tiempo de encendida la bomba está directamente relacionado con la cantidad de agua que se consume.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de caudal de la bomba para cada volumen de agua bombeada, así como el promedio, el valor máximo y mínimo, y la desviación estándar.

Tabla 3.1. Valores de caudal de la bomba.

Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /15 min)	Caudal (l/s)
23,4	23,4	26,00

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

23,4	23,4	26,00
23,4	23,4	26,00
25,35	25,35	28,17
23,4	23,4	26,00
23,4	23,4	26,00
23,4	23,4	26,00
	Promedio	26,31
	σ	0,81892302
	Máximo	28,17
	Mínimo	26,00
	Caudal promedio (l/h)	94714,29

Fuente: elaboración propia (2018).

A partir de lo mostrado en la tabla anterior se debe reiterar que el valor de caudal promedio obtenido se debe expresar como +/-, debido a la desviación estándar que se desprende de las mediciones. El valor de caudal promedio se expresa en l/h para facilitar el cálculo del volumen de agua que se bombea.

La tabla 3.2 registra los valores de volumen de agua bombeada por día, dependiendo directamente del tiempo en el que la bomba está encendida.

Tabla 3.2. Valores de volumen de agua bombeada diariamente.

Día	Tiempo de encendido (h)	Volumen de agua bombeada (l)	Día	Tiempo de encendido (h)	Volumen de agua bombeada (l)
Mayo			Junio		

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

20	1	94714,29	3	3,5	331500,02
21	3	284142,87	4	5,33	504827,17
22	2,5	236785,73	5	3,5	331500,02
23			6	3	284142,87
24	3,33	315398,59	7	3,5	331500,02
25	1	94714,29	8	4,67	442315,73
26	5,17	489672,88	9	3,33	315398,59
27	4,33	410112,88	10	4,5	426214,31
28	4	378857,16	11		
29	2	189428,58	12	4,5	426214,31
30	3,67	347601,44	13	3,5	331500,02
31	3,5	331500,02	14	2,5	236785,73
Junio			15		
1	1,17	110815,72	16	3,25	307821,44
2	3	284142,87	17	3	284142,87
			18	3	284142,87
			19	2	189428,58
			Promedio		308376,66

Fuente: elaboración propia (2018).

Según lo que se observa en la tabla anterior el valor de volumen promedio de agua bombeada diariamente es mayor que el volumen de almacenamiento del tanque elevado, el cual es de 300 m³. Lo anterior se justifica primeramente por el tiempo que se emplea para el bombeo y las veces que se enciende la bomba en el día. Se debe destacar que los valores de volumen de agua bombeada que corresponden con un tiempo de 3 horas o menor son menores de 300 m³, lo que se puede concluir que el

tanque elevado se llena en aproximadamente 3 horas. En la figura 3.2 se resume lo planteado anteriormente.

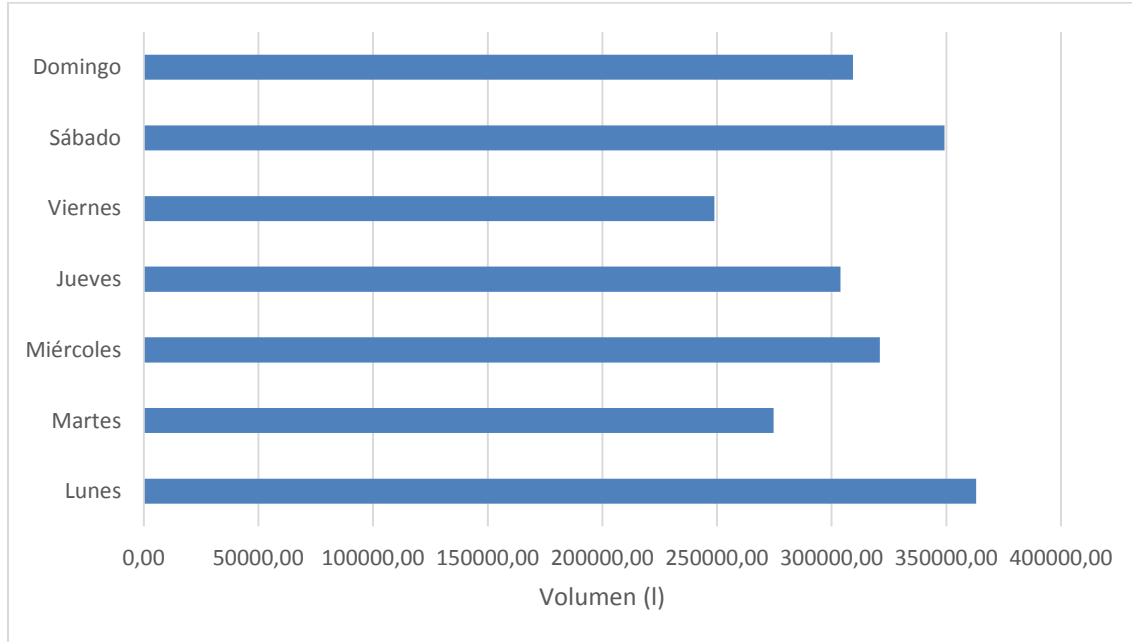


Figura 3.2. Volumen promedio de agua bombeada. Fuente: elaboración propia (2018).

De la anterior figura se afirma lo comentado en la figura 5, es decir, la dependencia directa del volumen de agua con respecto al tiempo de bombeo. Debido a esta relación, el lunes es el día donde mayor cantidad de agua se bombea. También se aprecia una disminución de esta cantidad a medida que pasan los días, teniendo un alza el sábado. El sábado es un día en el que no hay docencia y los estudiantes que decidan quedarse en la residencia permanecen a tiempo completo en esta, argumentando esto ese fenómeno. En cuanto al consumo de energía eléctrica en la tabla 3.3 se exponen los datos relacionados con esto.

Tabla 3.3. Valores de consumo de energía eléctrica diariamente

Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía	Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía (kWh)

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

		(kWh)			
Mayo			Junio		
20	1	18,61	3	3,5	65,14
21	3	55,83	4	5,33	99,19
22	2,5	46,53	5	3,5	65,14
23			6	3	55,83
24	3,33	61,97	7	3,5	65,14
25	1	18,61	8	4,67	86,91
26	5,17	96,21	9	3,33	61,97
27	4,33	80,58	10	4,5	83,75
28	4	74,44	11		
29	2	37,22	12	4,5	83,75
30	3,67	68,30	13	3,5	65,14
31	3,5	65,14	14	2,5	46,53
Junio			15		
1	1,17	21,77	16	3,25	60,48
2	3	55,83	17	3	55,83
			18	3	55,83
			19	2	37,22
				Promedio	60,59

Fuente: elaboración propia (2018).

La tabla anterior refiere lo que se está consumiendo por hora, en cuanto a energía eléctrica, por motivos de consumo de agua. El valor promedio calculado de 60.59 kWh, multiplicado por los siete días de la semana resulta en 424.13 kWh, lo que

quiere decir que esto es lo que se consumiría en una semana (energía eléctrica) al bombear agua.

La siguiente figura (figura 3.3) refleja los datos manejados en la tabla anterior por cada día de la semana.

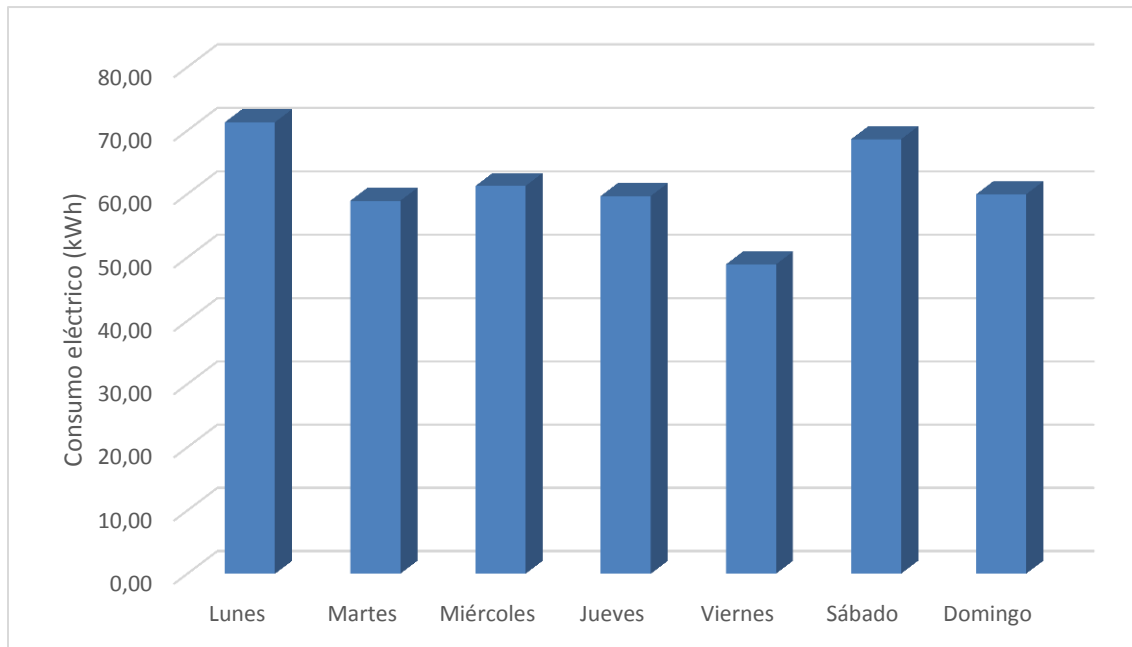


Figura 3.3. Consumo promedio de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia (2018).

La figura 3.3 evidencia la relación directa que existe también entre el consumo de energía eléctrica y el tiempo que se emplea para el bombeo de agua. En definitiva, mientras mayor sea el tiempo de bombeo de agua mayor será el consumo eléctrico. El lunes sigue siendo el día con los mayores valores, esto se debe a la principal razón ya comentada, la presencia, casi en la totalidad, de estudiantes y trabajadores en la sede.

Sede “MF”

En esta sede existe la particularidad de que no se registraron datos los domingos, debido a lo que se planteó en el capítulo dos de la presente investigación. Por tanto, no se tienen datos ni de tiempo empleado para el bombeo de agua, ni de volúmenes

de agua bombeada ni de consumo de energía eléctrica. De todas formas, dadas las características de este caso y por ser domingo el día faltante, se asume que los valores mayores siempre van a corresponder con los lunes.

En la figura 3.4 se representa el tiempo que se empleó para el bombeo de agua en esta sede.

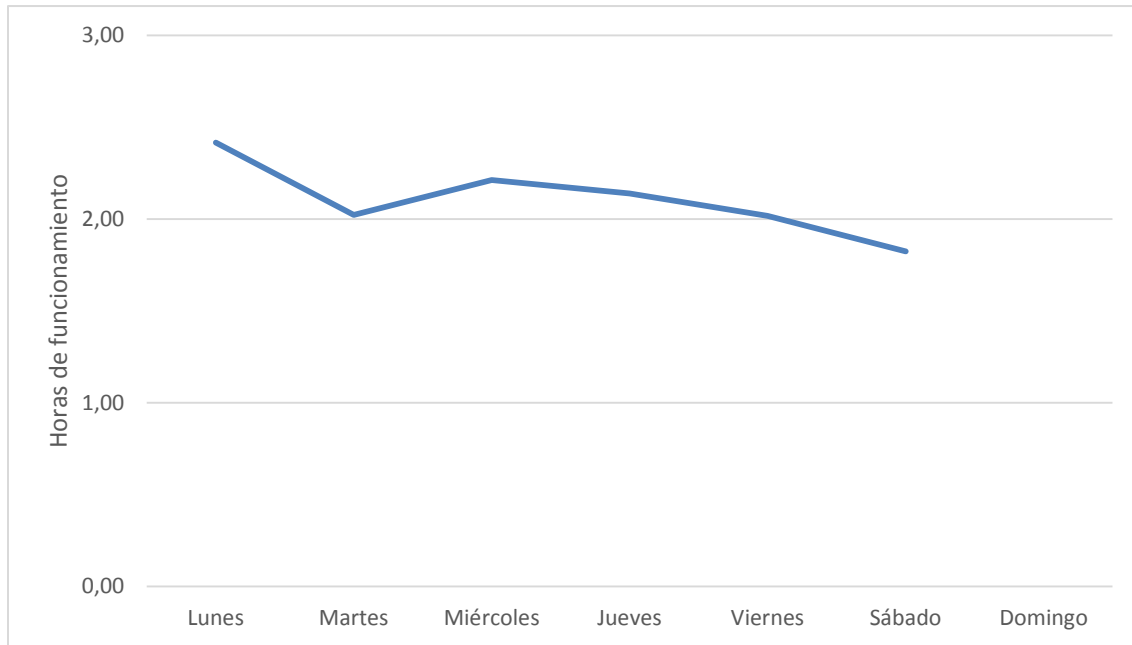


Figura 3.4. Tiempo promedio de encendida la bomba. Fuente: elaboración propia (2018).

La situación que se observa en la figura anterior es relativamente similar a la que se genera en la sede “OLM”, solo diferenciándose en el fin de semana. A partir de lo anterior se reafirman los lunes como los de mayores valores y en este caso sí se aprecia una disminución hacia el sábado. Las razones son las mismas, mayor presencia de docencia a principio de semana y menos movilidad a finales.

En la tabla 3.4 se muestran los valores de caudal de la bomba para cada volumen de agua bombeada, así como el promedio, el valor máximo y mínimo y la desviación estándar.

Tabla 3.4. Valores de caudal de la bomba.

Volumen (m³)	Caudal (m³/15 min)	Caudal (l/s)
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
4,08	4,08	4,54
	Promedio	4,54
	σ	0
	Máximo	4,54
	Mínimo	4,54
	Caudal promedio (l/h)	16332,8

Fuente: elaboración propia (2018).

Como mismo se argumentó en el caso de la sede “OLM” el valor de caudal obtenido debe expresarse como intervalo, es decir +/- el valor.

En la siguiente tabla (tabla 3.5) se encierran los valores de volumen de agua bombeada diariamente. En este caso debe recordarse que se cuenta con dos tanques elevados, uno de 18 m³ y otro de 15 m³, y que el tiempo de bombeo va a depender del llenado de los tanques, al final es como si se tuviera un solo tanque elevado de 33 m³.

Tabla 3.5. Valores de volumen de agua bombeada diariamente.

Día	Tiempo de	Volumen de	Día	Tiempo de	Volumen
------------	------------------	-------------------	------------	------------------	----------------

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	encendido (h)	agua bombeada (l)		encendido (h)	de agua bombeada (l)
Marzo			Mayo		
22	2,75	44915,20	1	1,5	24499,20
23	2,63	42955,26	2	2,33	38055,42
24	2,17	35442,18	3	2,27	37075,46
25			4	1,88	30705,66
26	2,92	47691,78	5	1,67	27275,78
27	2,23	36422,14	6		
28	2,92	47691,78	7	2,33	38055,42
29	2,33	38055,42	8	2,1	34298,88
30	2,67	43608,58	9	1,73	28255,74
31	1,83	29889,02	10	1,85	30215,68
Abril			11		
1			12	1,85	30215,68
2	2,33	38055,42	13		
3	1,93	31522,30	14	1,95	31848,96
4	3,08	50305,02	15	1,92	31358,98
5	2,67	43608,58	16	1,77	28909,06
6	2,08	33972,22	17	1,92	31358,98
7	1,67	27275,78	18	2,35	38382,08
8			19	1,75	28582,40
9	2,5	40832,00	20		

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10	2,67	43608,58	21	2,25	36748,80
11	2,27	37075,46	22	1,87	30542,34
12	2,33	38055,42	23	1,87	30542,34
13	1,92	31358,98	24	2,23	36422,14
14	1,98	32338,94	25	2,47	40342,02
15			26	1,75	28582,40
16	3,33	54388,22	27		
17	2,08	33972,22	28	2,12	34625,54
18			29	1,73	28255,74
19	1,75	28582,40	30	1,92	31358,98
20			31	2,13	34788,86
21	2,08	33972,22	Junio		
22			1	1,7	27765,76
23	2,25	36748,80	2	1,93	31522,30
24	2,42	39525,38	3		
25	1,92	31358,98	4	2,13	34788,86
26	2,02	32992,26	5	1,55	25315,84
27	1,42	23192,58	6	1,97	32175,62
28	2,08	33972,22	7	1,68	27439,10
29			8	1,18	19272,70
30	2,13	34788,86	9	1,37	22375,94
			10		
			11	2,75	44915,20

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	12	2,27	37075,46
	13	2,43	39688,70
	14	1,87	30542,34
	15	1,85	30215,68
	16	1,58	25805,82
		Promedio	34453,38

Fuente: elaboración propia (2018).

Si se asume lo planteado anteriormente sobre considerar los dos tanques elevados como uno solo y se relaciona con los resultados que muestra la tabla anterior se concluye, primero, el valor promedio de volumen bombeado es mayor que el volumen de almacenamiento de agua con el que cuenta la sede y segundo, en los valores de tiempo de encendida la bomba menores e iguales que 2 horas aproximadamente, se bombean volúmenes menores a los 33 m³. Por tanto, la capacidad de almacenaje de agua en este caso se logra en aproximadamente dos horas.

En la figura 3.5 se especifica el volumen promedio de agua bombeada por cada día de la semana. Al no establecerse un registro de tiempo de encendida la bomba los domingos no se puede obtener la cantidad de agua que se bombea.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

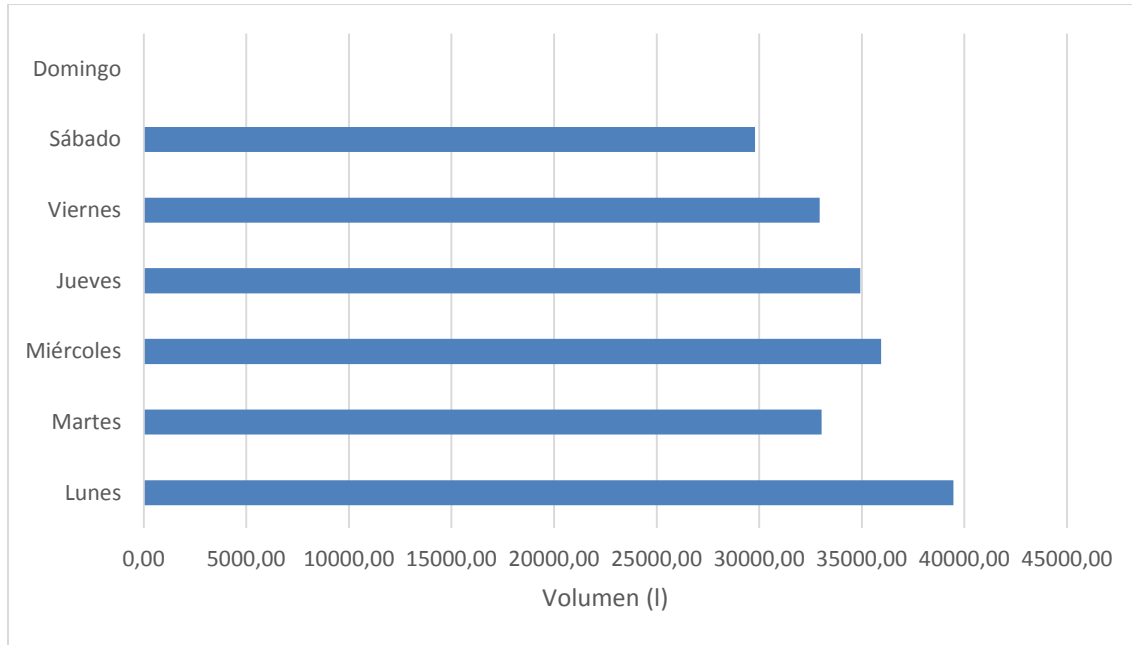


Figura 3.5. Volumen promedio de agua bombeada. Fuente: elaboración propia (2018).

Si se sigue la misma relación entre tiempo para el bombeo de agua y volumen de agua es claro identificar su proporcionalidad directa. Los lunes destacan como los días de mayor bombeo de agua y los sábados como los de menor.

El consumo eléctrico que se evidencia en esta sede por día se registra en la siguiente tabla:

Tabla 3.6. Valores de consumo de energía eléctrica diariamente.

Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía (kWh)	Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía (kWh)
Marzo			Mayo		
22	2,75	19,61	1	1,5	10,70
23	2,63	18,75	2	2,33	16,61
24	2,17	15,47	3	2,27	16,19
25			4	1,88	13,40

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

26	2,92	20,82	5	1,67	11,91
27	2,23	15,90	6		
28	2,92	20,82	7	2,33	16,61
29	2,33	16,61	8	2,1	14,97
30	2,67	19,04	9	1,73	12,33
31	1,83	13,05	10	1,85	13,19
Abril			11		
1			12	1,85	13,19
2	2,33	16,61	13		
3	1,93	13,76	14	1,95	13,90
4	3,08	21,96	15	1,92	13,69
5	2,67	19,04	16	1,77	12,62
6	2,08	14,83	17	1,92	13,69
7	1,67	11,91	18	2,35	16,76
8			19	1,75	12,48
9	2,5	17,83	20		
10	2,67	19,04	21	2,25	16,04
11	2,27	16,19	22	1,87	13,33
12	2,33	16,61	23	1,87	13,33
13	1,92	13,69	24	2,23	15,90
14	1,98	14,12	25	2,47	17,61
15			26	1,75	12,48
16	3,33	23,74	27		

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

17	2,08	14,83	28	2,12	15,12
18			29	1,73	12,33
19	1,75	12,48	30	1,92	13,69
20			31	2,13	15,19
21	2,08	14,83	Junio		
22			1	1,7	12,12
23	2,25	16,04	2	1,93	13,76
24	2,42	17,25	3		
25	1,92	13,69	4	2,13	15,19
26	2,02	14,40	5	1,55	11,05
27	1,42	10,12	6	1,97	14,05
28	2,08	14,83	7	1,68	11,98
29			8	1,18	8,41
30	2,13	15,19	9	1,37	9,77
			10		
			11	2,75	19,61
			12	2,27	16,19
			13	2,43	17,33
			14	1,87	13,33
			15	1,85	13,19
			16	1,58	11,27
				Promedio	14,96

Fuente: elaboración propia (2018).

De la tabla anterior se deduce que el valor promedio de consumo de energía eléctrica es 14.96 kWh. Ahora, si se multiplica por 30 se obtiene un valor de 448.8 kWh, que representa lo que se consumiría en un mes.

En la siguiente figura (figura 3.6) se analiza el comportamiento del consumo eléctrico promedio en cada día de la semana:

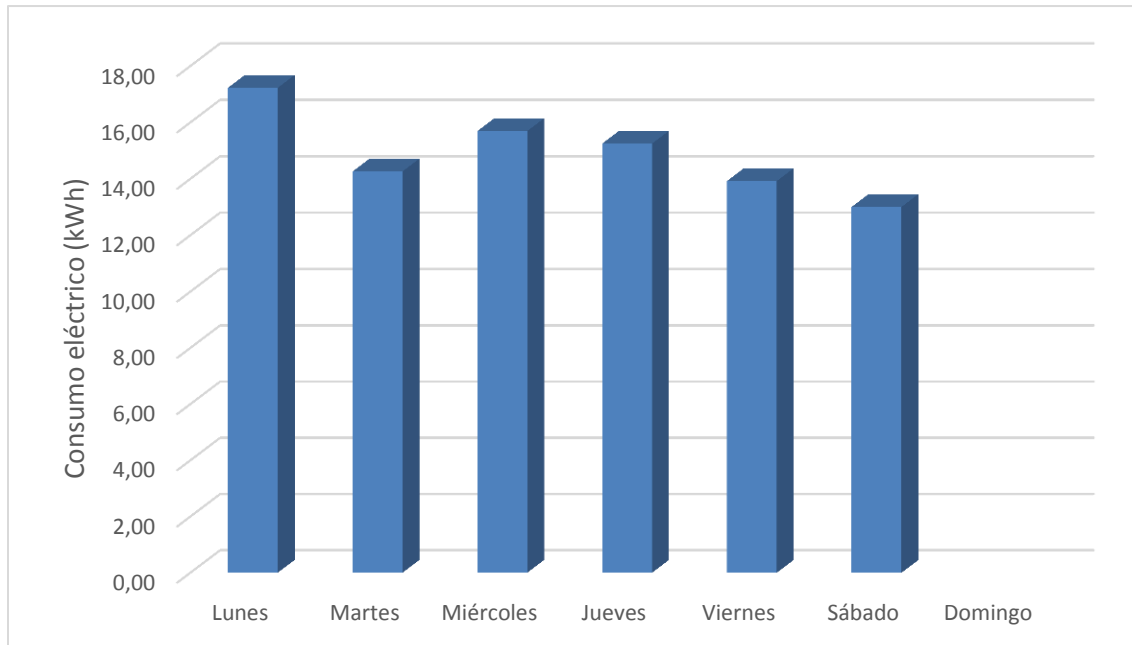


Figura 3.6. Consumo promedio de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia (2018).

Los lunes son los días en los que mayor consumo de energía eléctrica se tiene y los sábados los de menor, como se observa en la figura 3.6. Hay un descenso de este consumo según pasan los días.

Sede “JLC”

La singularidad de esta sede, aparte de que el tipo de bomba que se emplea es sumergible, es que el caudal no pudo ser calculado por el método de estimación de intervalos. No obstante, ya se contaba con este valor obtenido por otro estudio, y con el cual se trabajó en este caso.

En la figura 3.7 se datan los tiempos de encendida la bomba:

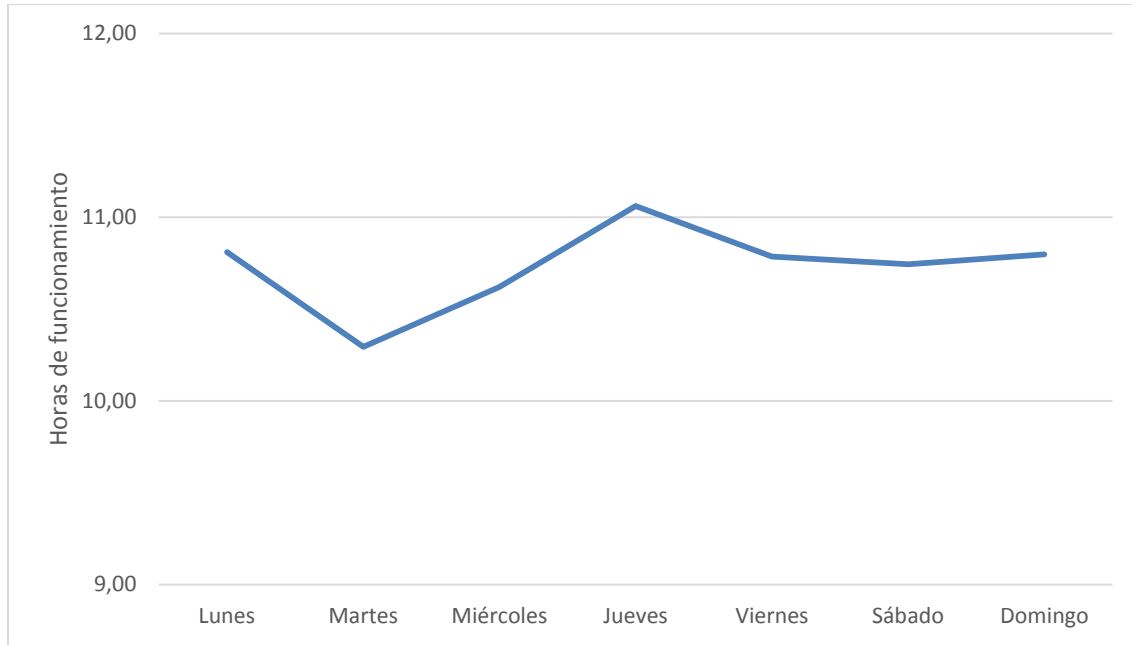


Figura 3.7. Tiempo promedio de encendida la bomba. Fuente: elaboración propia (2018).

En este caso los jueves son los días que mayor tiempo trabaja la bomba. Se nota un ascenso desde el martes hasta el jueves y luego una disminución hasta el sábado. Todo esto está relacionado, principalmente, con la llegada y salida de estudiantes a la sede, específicamente a la residencia. El comportamiento no es similar al de las sedes anteriores, ya sea por las horas de encendida la bomba y/o por el ritmo de trabajo de los obreros (profesores o no).

De manera parecida a los casos anteriores se establecen los volúmenes de agua bombeada para cada día, determinándose la siguiente tabla:

Tabla 3.7. Valores de volumen de agua bombeada diariamente.

Día	Tiempo de encendido (h)	Volumen de agua bombeada (l)	Día	Tiempo de encendido (h)	Volumen de agua bombeada (l)
Marzo			Mayo		
9	12	129600	1	11,17	120636

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10	10,5	113400	2	10,17	109836
11	11,5	124200	3	10	108000
12	12	129600	4	11,5	124200
13	12	129600	5	11,83	127764
14	10	108000	6	10,83	116964
15	11	118800	7	10,67	115236
16	11,5	124200	8	10,5	113400
17	12	129600	9	10,83	116964
18	10,5	113400	10	9,83	106164
19	12	129600	11	10	108000
20	10,5	113400	12	12	129600
21	11,5	124200	13	12	129600
22	12	129600	14	11	118800
23	12	129600	15	9	97200
24	12	129600	16	11,33	122364
25	12	129600	17	11,67	126036
26	11	118800	18	9,5	102600
27	10,5	113400	19	11	118800
28	11,5	124200	20	11,83	127764
29	10,33	111564	21	12	129600
30	11,5	124200	22	11,33	122364
31	10	108000	23	10,17	109836
Abril			24		

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1	12	129600	25	10,5	113400
2	11,33	122364	26		
3	11,33	122364	27	6	64800
4	12	129600	28	6	64800
5	12	129600	29	6	64800
6	10,33	111564	30	10,73	115884
7	10	108000	31	11,63	125604
8	12	129600	Junio		
9	12	129600	1	6	64800
10	12	129600	2	6	64800
11	11,67	126036	3	6	64800
12	12	129600	4	6	64800
13	12	129600	5	6	64800
14	11,33	122364	6	6	64800
15	12	129600	7	9	97200
16	12	129600	8	10,33	111564
17	12	129600	9	10	108000
18	11,5	124200	10	12	129600
19	11,5	124200			
20	12	129600			
21	12	129600			
22	12	129600			
23	12	129600			

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

24	11,5	124200	
25	10,67	115236	
26	11,67	126036	
27	11,83	127764	
28	11	118800	
29	10,5	113400	
30	12	129600	
			Promedio 115840

Fuente: elaboración propia (2018).

De forma muy particular se concluye que en esta sede nunca se logró el llenado completo del tanque elevado en cada tiempo de encendida la bomba. Esto se debe fundamentalmente al caudal de 3 l/s que presenta la bomba. Con el valor de caudal anterior convertido a 10 800 l/h se puede conocer en qué tiempo aproximadamente se llena el tanque. Luego ese tiempo es de 27.78 horas, es decir, más de un día.

En la figura 3.8 se grafican los valores de volumen promedio de agua bombeada para esta sede.

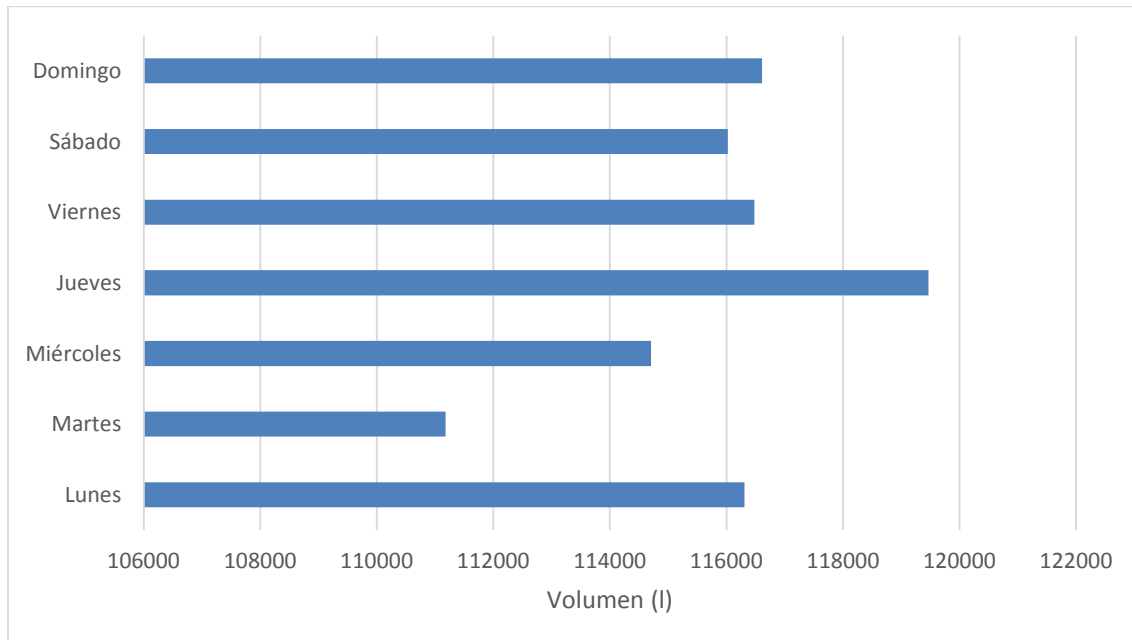


Figura 3.8. Volumen de agua bombeada. Fuente: elaboración propia (2018).

Como es de esperarse, los jueves son los de mayor bombeo de agua y se debe a los mismos motivos antes expresados. También se destacan los lunes, viernes y domingos con valores casi similares.

En la tabla 3.8 se establecen los valores de consumo de energía eléctrica por cada día.

Tabla 3.8. Valores de consumo de energía eléctrica por cada día.

Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía (kWh)	Día	Tiempo de encendido (h)	Consumo de energía (kWh)
Marzo			Abril		
9	12	85,32	25	10,67	75,86
10	10,5	74,66	26	11,67	82,97
11	11,5	81,77	27	11,83	84,11
12	12	85,32	28	11	78,21
13	12	85,32	29	10,5	74,66
14	10	71,10	30	12	85,32
15	11	78,21	Mayo		
16	11,5	81,77	1	11,17	79,42
17	12	85,32	2	10,17	72,31
18	10,5	74,66	3	10	71,10
19	12	85,32	4	11,5	81,77
20	10,5	74,66	5	11,83	84,11
21	11,5	81,77	6	10,83	77,00
22	12	85,32	7	10,67	75,86
23	12	85,32	8	10,5	74,66
24	12	85,32	9	10,83	77,00

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

25	12	85,32	10	9,83	69,89
26	11	78,21	11	10	71,10
27	10,5	74,66	12	12	85,32
28	11,5	81,77	13	12	85,32
29	10,33	73,45	14	11	78,21
30	11,5	81,77	15	9	63,99
31	10	71,10	16	11,33	80,56
Abril			17	11,67	82,97
1	12	85,32	18	9,5	67,55
2	11,33	80,56	19	11	78,21
3	11,33	80,56	20	11,83	84,11
4	12	85,32	21	12	85,32
5	12	85,32	22	11,33	80,56
6	10,33	73,45	23	10,17	72,31
7	10	71,10	24	11,17	79,42
8	12	85,32	25	10,5	74,66
9	12	85,32	26		
10	12	85,32	27	6	42,66
11	11,67	82,97	28	6	42,66
12	12	85,32	29	6	42,66
13	12	85,32	30	10,73	76,29
14	11,33	80,56	31	11,63	82,69
15	12	85,32	Junio		
16	12	85,32	1	6	42,66
17	12	85,32	2	6	42,66
18	11,5	81,77	3	6	42,66
19	11,5	81,77	4	6	42,66

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

20	12	85,32	5	6	42,66
21	12	85,32	6	6	42,66
22	12	85,32	7	9	63,99
23	12	85,32	8	10,33	73,45
24	11,5	81,77	9	10	71,10
			10	12	85,32
			Promedio		76,26

Fuente: elaboración propia (2018).

De la tabla anterior se entiende que el valor promedio de consumo de energía eléctrica es 76.26 kWh. Ahora, si se multiplica por 365 se obtiene un valor de 27834.9 kWh, que representa lo que se consumiría en un año.

En la próxima figura (figura 3.9) se evidencia el comportamiento promedio por día de ese consumo eléctrico.

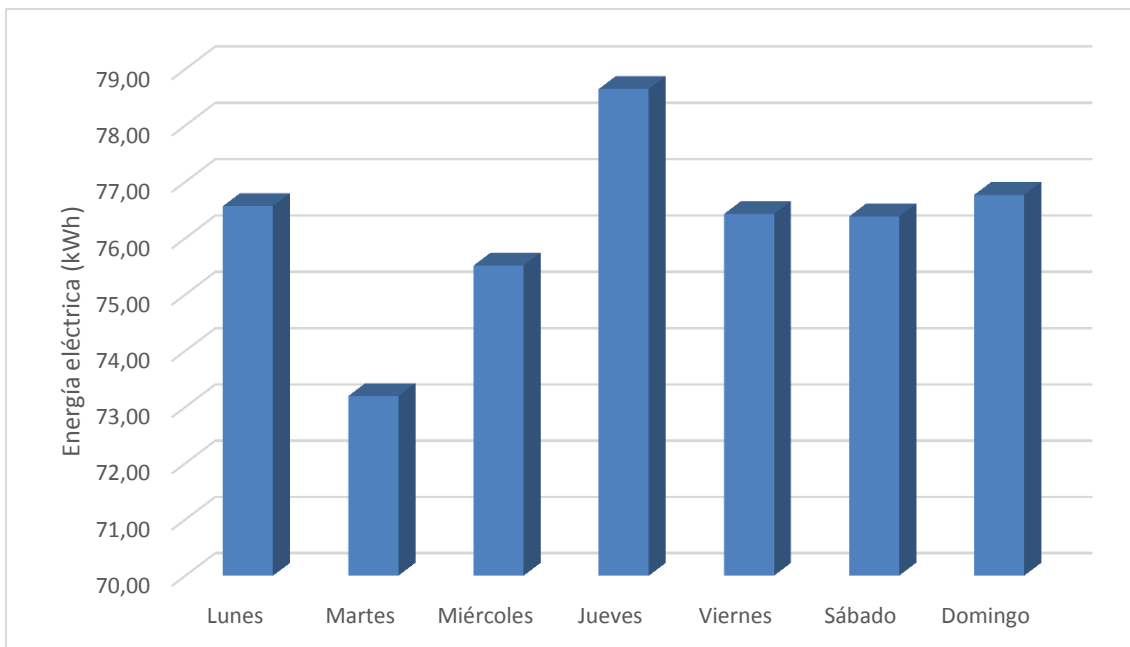


Figura 3.9. Consumo promedio de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia (2018).

A partir de lo anterior se concluye que es el jueves el día con mayor consumo eléctrico y el fin de semana sigue representando un alto consumo al igual que en las demás sedes.

Antes de pasar a la comparación entre las tres sedes se debe esclarecer que los resultados que se aprecian en cada uno de los gráficos realmente responden al consumo de agua que se generó en el día anterior al analizado. Por ejemplo, la cantidad de agua que se bombea el lunes es consecuencia de lo que se consume el domingo, y así con cada día. En el caso del consumo eléctrico, que es, en fin, el objetivo de esta investigación, ocurre el mismo proceso, en otras palabras, lo que se consume de agua el día anterior genera un gasto de energía eléctrica al próximo día, con el objetivo de reabastecer ese tanque vacío o casi vacío.

En la figura 3.10 se determina el tiempo promedio de encendida la bomba en las tres sedes.

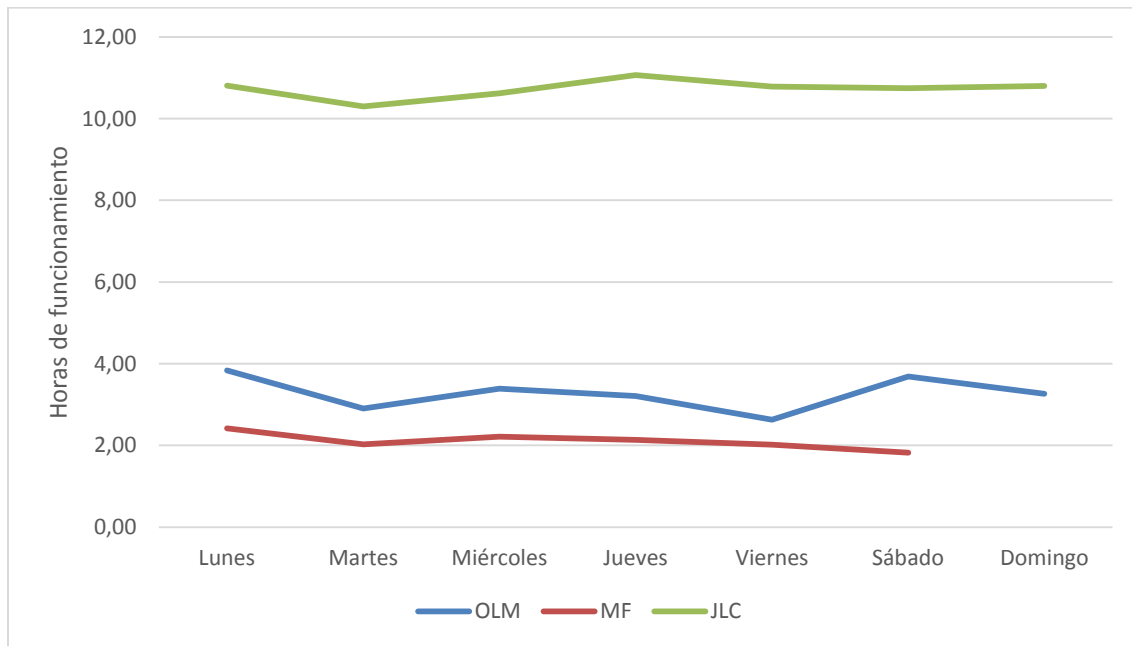


Figura 3.10. Tiempo de encendida la bomba en las tres sedes. Fuente: elaboración propia (2018).

Como se aprecia en la figura anterior la sede “JLC” es la que mayor tiempo emplea en el bombeo de agua. Se está hablando de más del doble con respecto a la sede

“OLM” y más del triple con respecto a “MF”. El caudal de la bomba es la principal causa de que se utilice tanto tiempo para este motivo.

En la próxima figura (figura 3.11) se muestra el volumen promedio de agua bombeada de las tres sedes.

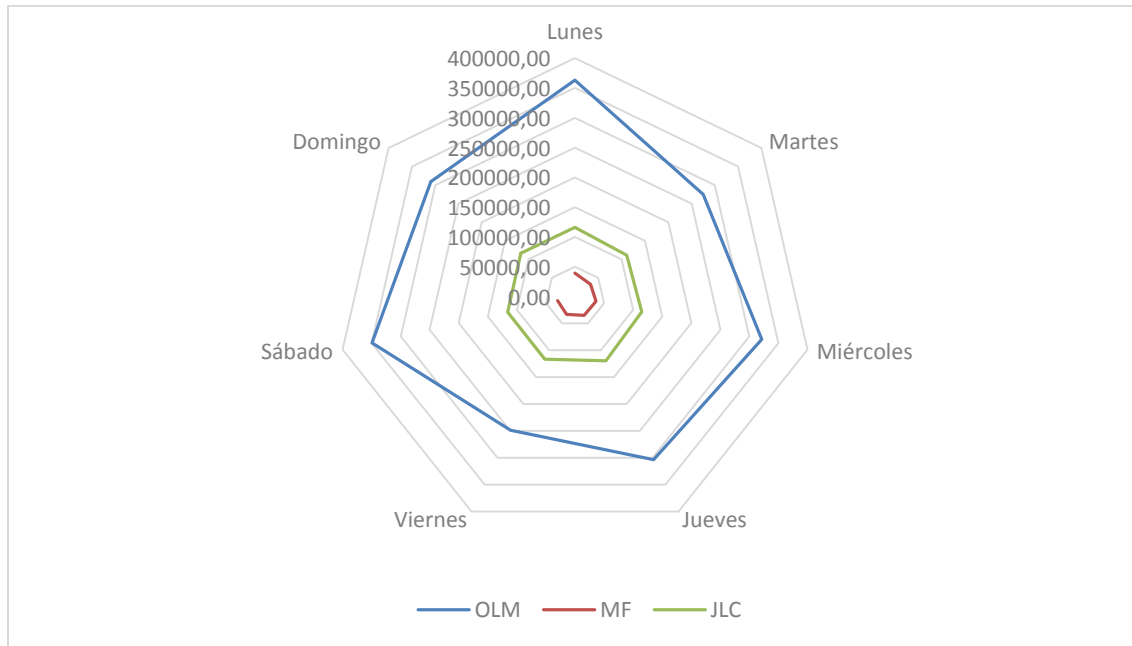


Figura 3.11. Volumen de agua bombeada de las tres sedes. Fuente: elaboración propia (2018).

Con respecto a lo anterior en la sede “OLM” se destina mayor cantidad de agua para su consumo. También se puede interpretar que a pesar de que la sede “JLC” mantiene en funcionamiento la bomba con mayor tiempo es “OLM” la que mayor consumo de agua presenta. Ya se aprecia la importancia que representan algunos aspectos sobre la bomba como el propio caudal, independientemente del tiempo que esta esté en funcionamiento.

En la figura 3.12 se establece una comparación entre sedes del consumo de energía eléctrica.

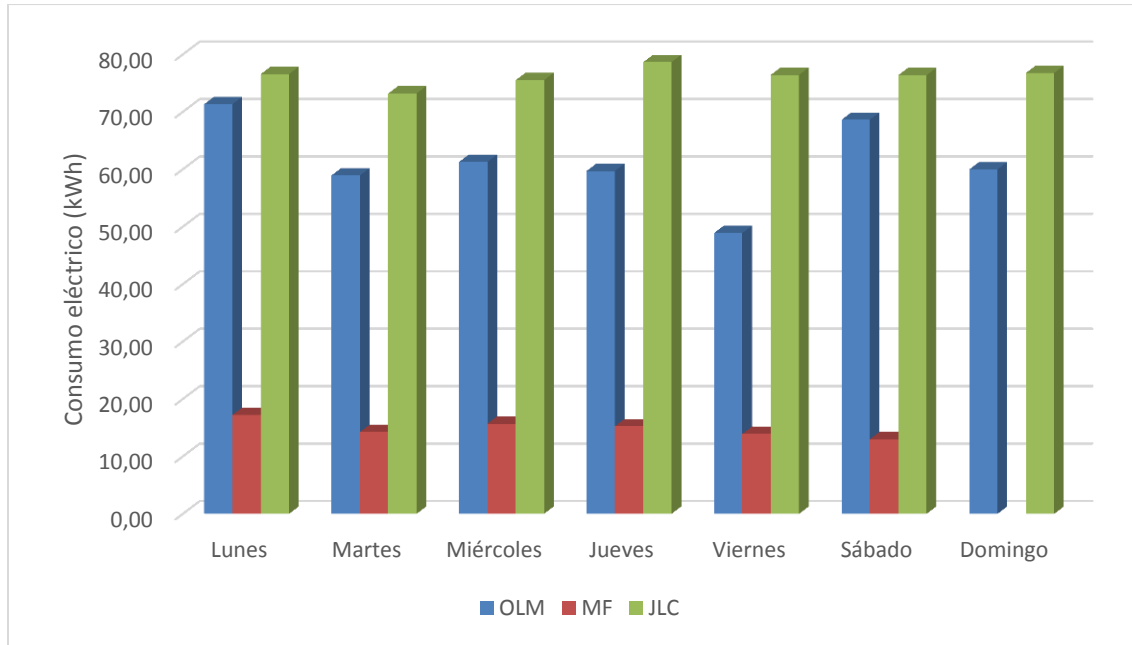


Figura 3.12. Consumo eléctrico de las tres sedes. Fuente: elaboración propia (2018).

Según lo anterior la sede “JLC” es la que presenta mayor consumo de energía eléctrica. Una vez más se está en presencia de una “contradicción”, es decir, la sede “JLC” no es la que más agua bombea, pero sí emplea más tiempo para este motivo y consume más energía eléctrica a pesar del poco caudal de la bomba; la sede “OLM” bombea más agua, pero no supera en consumo eléctrico a la “JLC”.

El cambio de bomba pudiera ser una solución para el caso de la sede “JLC” pero se debe tener en cuenta que al aumentar el caudal de la bomba aumenta también la potencia de esta y por tanto el consumo eléctrico. Entonces se debe buscar el balance entre caudal, tiempo de bombeo y potencia de la bomba, de forma tal que se logre un ahorro energético (EE).

3.2 Análisis económico y medioambiental

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos sobre consumo de energía eléctrica en las tres sedes estudiadas de la UHo, se puede establecer una relación entre consumo y costo a partir de la tarifa fijada por la Empresa Eléctrica a la institución. La universidad pertenece a la denominación M-1-A la cual reporta un costo de 0.042 CUP por kWh.

Conociendo lo anterior se relacionaron los consumos eléctricos totales de cuatro meses del 2018 con los consumos eléctricos asociados al bombeo de agua, por sede (figura 3.13, 3.14 y 3.15).

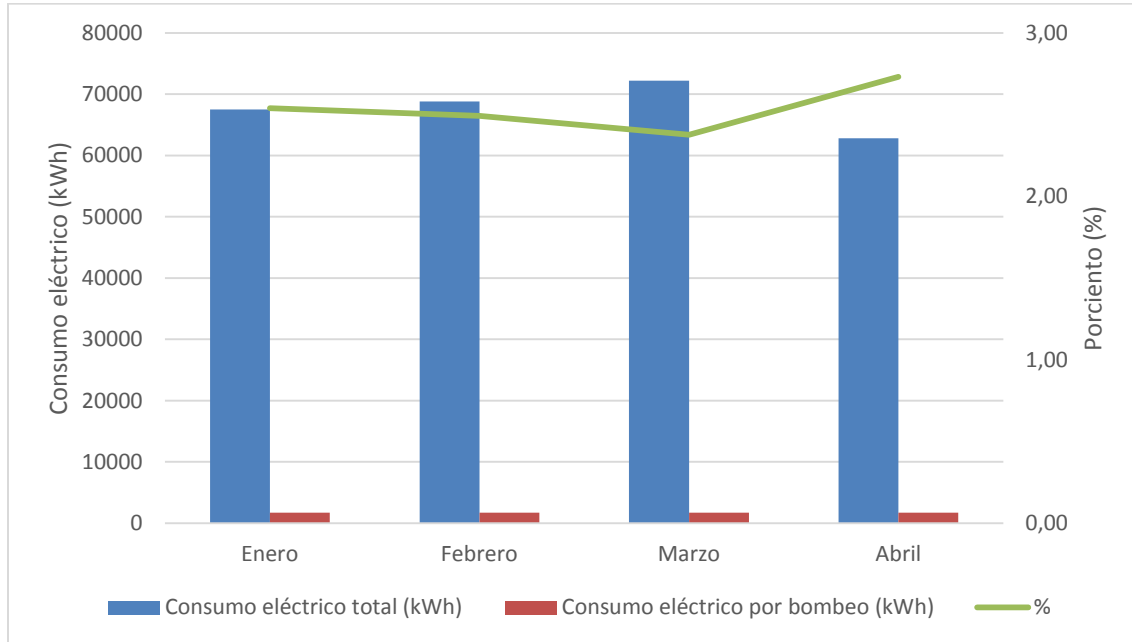


Figura 3.13. Relación entre consumo eléctrico total y consumo eléctrico por bombeo de agua en la sede "OLM". Fuente: elaboración propia (2018).

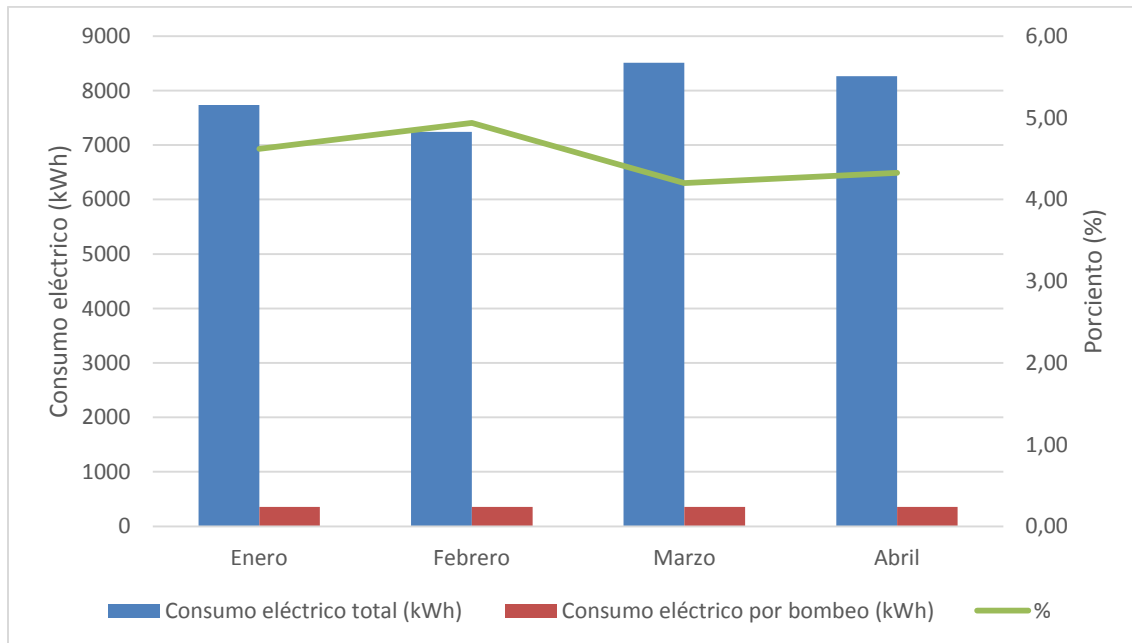


Figura 3.14. Relación entre consumo eléctrico total y consumo eléctrico por bombeo de agua en la sede “MF”. Fuente: elaboración propia (2018).

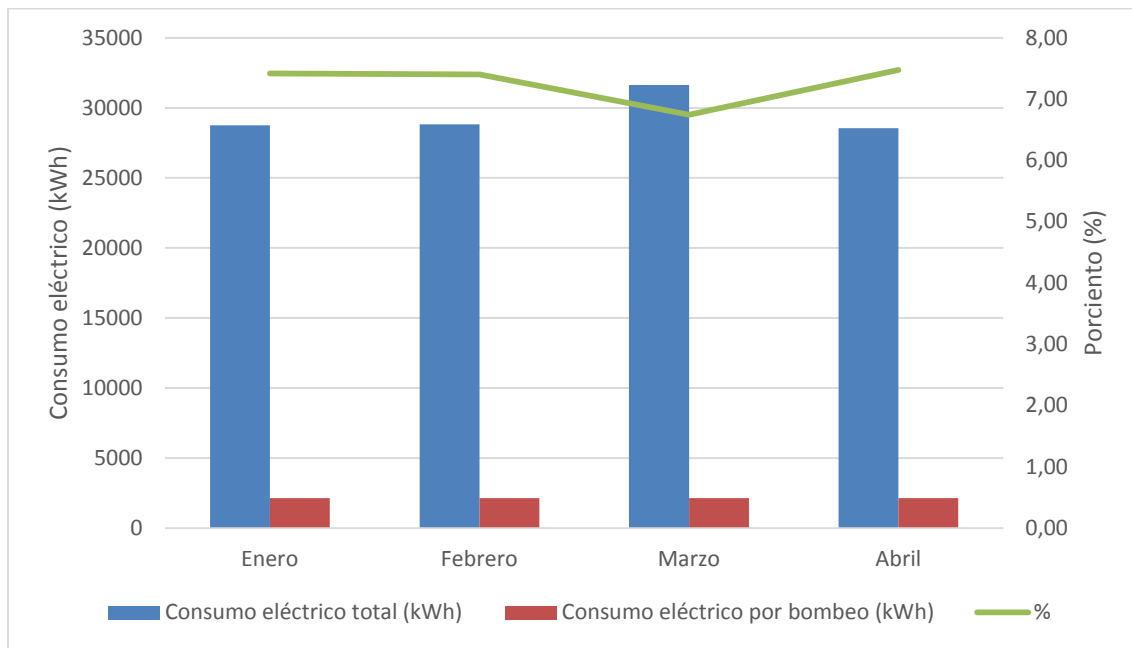


Figura 3.15. Relación entre consumo eléctrico total y consumo eléctrico por bombeo de agua en la sede “JLC”. Fuente: elaboración propia (2018).

El consumo eléctrico por motivos de bombeo de agua es un valor estimado por métodos estadísticos como se comprobó en el epígrafe anterior. Este valor se relaciona con los cuatros meses establecidos y se determina el porcentaje que representa con respecto al consumo total, de forma tal que se aprecie el comportamiento que experimenta ese porcentaje en el transcurso de los meses.

De forma general se aprecia que el mes con más consumo de energía eléctrica es marzo y por tanto el porcentaje entre ambos consumos es menor.

En la siguiente figura (3.16) se visualiza la relación entre el consumo total de energía eléctrica y el consumo por bombeo de agua, pero esta vez incluyendo a las tres sedes estudiadas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

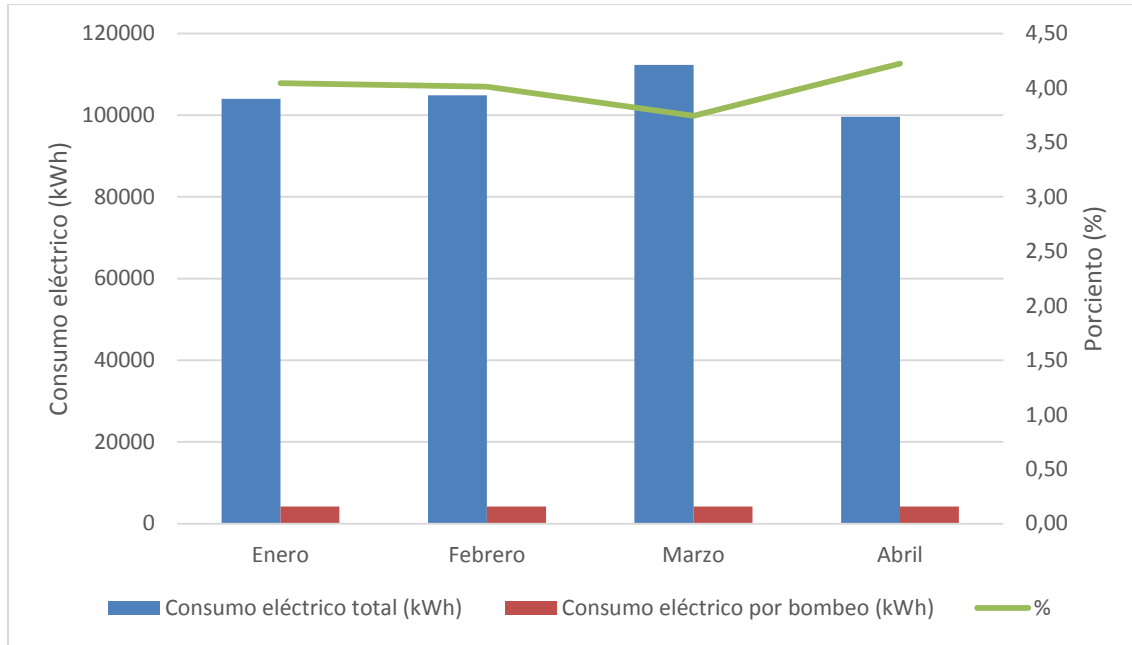


Figura 3.16. Relación entre consumo eléctrico total y consumo eléctrico por bombeo de agua en las tres sedes. Fuente: elaboración propia (2018).

En este caso sigue siendo marzo el mes con más consumo eléctrico y el comportamiento es similar al que se presenta en cada una de las sedes. Este mes se encuentra entre el inicio del segundo semestre del curso escolar y el mes donde se estableció un pase por la semana de la victoria. En ambos extremos existe mucha más movilidad (entrada y salida de la residencia) de estudiantes que en el propio marzo, por tanto, se puede argumentar el comportamiento de los gráficos anteriores con la explicación antes dada.

En la siguiente tabla (tabla 3.9) se exponen los valores de costos de consumo eléctrico por bombeo de agua, relacionados con los costos del consumo total por mes.

Tabla 3.9. Valores de costo de consumo eléctrico por bombeo de agua relacionados con los costos del consumo total por mes.

Mes	Consumo eléctrico total (kWh)	Costo total (USD)	Costo por bombeo de agua (USD)

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enero	104002	19581,31	791,08
Febrero	104864	19992,17	801,69
Marzo	112317	22021,69	823,61
Abril	99598	20342,70	858,46

Fuente: elaboración propia (2018).

Según la tabla anterior, marzo es el mes donde mayor costo se registra por motivos de consumo eléctrico, sin embargo, es en abril donde más se invierte por razones del bombeo de agua a nivel de universidad.

Si se promedian los cuatros valores de costo por bombeo de agua de la tabla anterior se obtiene 818.71 cup. Al considerar este valor como el costo aproximado para los 10 meses del año en el que la universidad tiene mayor presencia de estudiantes y profesores, se obtendría un valor de 8187,1 cup.

Las cifras anteriores son aspectos a tener en cuenta para la realización de valoraciones técnico-energéticas y económicas con el fin de obtener un sistema de bombeo de agua más funcional, más eficiente energéticamente y por supuesto, más económico.

Otro aspecto que se debe tener muy presente es la afectación al medio ambiente, es decir, cuán agresiva puede ser la acción de bombear agua con respecto a este. Directamente no existe relación alguna, pero sí de forma indirecta, y es un tema que cada vez cobra mayor importancia, tanto a nivel internacional como nacional.

¿Cómo se establece esta relación indirecta entre ambos aspectos? Primero se identifican qué aspectos intervienen en esta relación y segundo, se concluye qué sucede.

Los aspectos que intervienen son:

- Consumo eléctrico (kWh).
- Cantidad de petróleo quemado.
- Emisión a la atmósfera.

Los tres aspectos antes mencionados dan la idea de cuánto se afecta al medio ambiente por destinar un tiempo determinado para el bombeo de agua, utilizando fuentes de energía convencionales.

1 kWh es igual a 0.0005884407483973 barril equivalente de petróleo (EE.UU.), entonces, se puede afirmar que en la UHo, por cuestiones de consumo de energía eléctrica asociado al bombeo de agua, se está consumiendo de forma estimada y por mes una cantidad de 2.48 barriles equivalentes de petróleo.

Ahora, dependiendo de la densidad del petróleo, un barril equivale a un peso entre 120 y 150 kg. Si se trabaja con la media entre estos valores se obtiene que un barril equivale a 135 kg. Por otra parte, 1 kg de petróleo en el proceso de combustión produce 3.09 kg de CO₂. Con todo lo anterior se puede enunciar que para garantizar en la UHo el bombeo de agua, se está emitiendo a la atmósfera, de forma estimada, una magnitud de 1034.53 kg de CO₂ mensualmente. Si esto se analiza en los diez meses en el que la universidad presenta mayor movilidad de personas se concluye que por cada curso escolar, y de forma estimada, se emiten a la atmósfera 10345.3 kg lo que equivale a 10.35 toneladas.

El análisis anterior corrobora la importancia de la relación que se debe establecer entre el aspecto técnico-económico y medioambiental. Es necesario lograr un balance entre un proceso de bombeo de agua más eficiente y menos contaminante, objetivo que hoy en día es muy deseado.

Conclusiones del capítulo

De forma general los lunes es donde mayor tiempo se destina para el bombeo de agua, y por tanto, donde más cantidad de agua se bombea. Asociado a esto se registran mayores consumos de energía eléctrica como consecuencia de la cantidad de agua que necesita ser bombeada.

Entre los cuatro meses analizados para la determinación de los costos relacionados con el consumo eléctrico, es marzo el que constituye como el más costoso, tanto para cada sede como para la universidad.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La afectación del medio ambiente por razones de bombeo de agua es inminente, ya que la fuente de energía utilizada para ese fin es la quema del petróleo, gran emisor de gases contaminantes hacia la atmósfera.

Conclusiones generales

- De las cuatro sedes que integran la UHo en el municipio Holguín la sede “CSM” no fue analizada debido a las características del abastecimiento de agua que existe.
- Se determinó el comportamiento del bombeo de agua y la energía eléctrica empleada para este fin en la UHo, observándose que los lunes fueron los días donde mayor tiempo se destinó para el bombeo de agua, se obtuvieron mayores volúmenes de agua bombeada y registros de consumo de energía eléctrica.
- Se realizó un análisis económico-medioambiental del sistema de bombeo de la UHo con el objetivo de valorar las posibilidades de ahorro energético y de agua.

Recomendaciones

- Continuar el presente estudio, específicamente el aspecto relacionado con las pérdidas.
- Determinar la cantidad de agua real que es consumida tanto por los estudiantes como los trabajadores de la universidad.
- Elaborar una estrategia para la optimización del sistema de bombeo de la Universidad de Holguín y que tenga como base a los resultados obtenidos en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Auli, J (1990). *Elección del tipo de tubería más adecuado. Análisis de los factores que condicionan esta decisión, PP. 149 a 164 del libro Sistemas hidráulicos a presión*. Ed. Generalitat Valenciana. Cancillería de Arquitectura y Pesca. Valencia.
- Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo (2012). Grupo Banco Mundial. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). *Introducción a la Eficiencia Energética en Empresas Municipales de Agua y Saneamiento Urbano*. EE. UU.
- C. Faunt et al. (2015). *Water availability and land subsidence in the Central Valley, California, USA*.
- Cátedra de Mecánica de Fluidos (1987), Curso de ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua, Ed. Instituto de Estudios de Administración Local (Madrid).
- Cerdán C. (2011). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en La Pitaya, Veracruz, México*. Universidad Internacional de Andalucía. IX Maestría en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible. ISBN 978-84-694-5072-7.
- Cruz S. (2017). *Simulación de una red de distribución de agua potable para edificaciones mediante la aplicación del software EPANET*. Ecuador.
- Díaz, H. et al. *Diseño de un sistema de control para obtener presión constante de agua*. Presentado en el XXII Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Telecomunicaciones y Computación – INTERCON 2015, Ciudad de Huancayo del 03 al 07 de agosto. Perú.
- Facchini, M. et al. (2013). *Sistema piloto de generación FV como generación distribuida para extracción de agua subterránea para riego agrícola*. Argentina.
- Frago S. et al. *Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXIV, No. 1, enero-abril 2013, p. 112-126.
- Hernández R. et al. *Eficiencia energética en sistemas de bombeo de hidromezclas*. Revista Minería y Geología/ v.31 n.3 / julio-septiembre / 2015 /p.

109-127 ISSN 1993 8012. <http://www.redalyc.org/html/2235/223541592008/>. Consultado el 23 de febrero de 2018.

- <http://www.cuanto.biz/2013/05/cuanto-equivale-un-barril-de-petroleo.html>. Consultado el 4 de julio de 2018.
- <http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Sistemas%20de%20bombeo%20y%20motores/CURSO%20BASICO%20DE%20EFICIENCIA%20EN%20SISTEMAS%20DE%20BOMBEO.pdf> (2014). Consultado el 10 de febrero de 2018.
- <https://dragoit.com/blog/sistemas-de-bombeo/> (2017). Consultado el 2 de mayo de 2018.
- Kingdom, B. et al. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A look at Performance-Based Service Contracting*. Washington, DC: The World Bank Group.
- Leduchowicz M. (2015). *Estudio de sistemas de bombeo de agua potable en comunidades rurales salvadoreñas Diagnóstico de la eficiencia energética y medidas de mejora*. Ingeniería. Sense. Fronteras. Agua.
- López P. *Análisis y caracterización de las instalaciones interiores de suministro de agua desde el punto de vista del ahorro*. Universidad Politécnica de Valencia. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia, septiembre de 2015.
- Mayol, J.M. (1981). *Tuberías, Tomo I*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
- Mayol, J.M. (1983). *Tuberías, Tomo II*. Editores Técnicos Asociados, Barcelona.
- Mayol, J.M. (1983). *Tuberías, Tomo III*. Editores Bellisco. Madrid.
- Mena R. et al. (2015). *Los tanques de regularización, alternativa de solución al servicio intermitente de agua potable en el sector "Bachilleres", Chetumal, Quintana Roo, México*. Aqua-LAC - Vol. 7 - Nº 1 - Mar. 2015. pp. 56- 62. México.

- Mercado F. & Vergara C. *Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica: una opción sostenible*. Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental, 2014. ISBN: 978-958-9244-64-7.
- Ministerio del Agua (2007). Viceministerio de Servicios Básicos. *Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua por Bombeo*. Bolivia.
- Morales A. (2008). Metodología para abastecimiento de agua en regiones rurales, dentro del proceso inversionista. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Química Farmacia. Dpto. de Ingeniería Química. Villa Clara, Cuba.
- Morales P. *Estudio de un sistema de bombeo de agua por excitación paramétrica*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Ciudad Universitaria, México D. F., junio de 2011.
- NC 1021-2014: *HIGIENE COMUNAL — FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA — CALIDAD Y PROTECCIÓN SANITARIA*.
- NC 176: *Sistema de Abasto de agua en Edificios. Requisitos de Proyecto*. Cuba. (2002).
- NC 53-91: *Determinación de la Demanda de Agua Potable en Poblaciones*, Cuba. (1983).
- NC 827: 2012: *Agua Potable — Requisitos Sanitarios (Obligatoria)*.
- NC 827: *HIGIENE COMUNAL — FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA — CALIDAD Y PROTECCIÓN SANITARIA*. 2012.
- NC 93-02:85: *Higiene Comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo*.
- NC: 93-11:86: *Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria*.
- Norma Técnica de Edificación S.200. Perú 2012.
- Normas oficiales para la calidad del agua México (2204). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y*

TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

- Organización Panamericana de la Salud (2005). Guías para el diseño de estaciones de bombeo. OPS/CEPIS/05.161. UNATSABAR. Lima, Perú.
- Orozco O. *Diseño de investigación de sistema de generación por medio de aerogenerador de turbina eólica, para suministro de electricidad a un sistema de bombeo de agua del municipio de Mixco*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Guatemala, mayo de 2014.
- Pérez T. et al. *Estudio energético del sistema de bombeo en el Instituto de Ciencia Animal, Cuba*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, Vol. 25, No.3 (julio-agosto-septiembre, pp. 65-71), 2016.
- Pérez-Vidal et al. *Evolución y perspectivas del sistema de abastecimiento de la ciudad de Santiago de Cali frente al aseguramiento de la calidad del agua potable*. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Ingeniería y Competitividad, Volumen 14, No. 2, p. 69 - 81 (2012).
- Pilcher, R. et al. (2007). *Leak Location and Repair Guidance Notes*. Londres: Operation and Management. IWA.
- Pimentel R. *Consumo de agua en el sector doméstico. Caso de estudio: "Avenida de los Mártires". Ciudad Camagüey*. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría". Camagüey, 2008.
- Reyes A. *Prototipo didáctico de sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica*. UNAN-Managua/FAREM-Estelí. Ciencias Energéticas | Pág. 69-78. Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. N° 12 | Año 3 | octubre-diciembre 2014.
- Sabogal A. et al. *Optimización de energía en sistemas de bombeo*. Informador Técnico (Colombia) Volumen 77, No. 1, enero - junio 2013, p 47 - 58.
- Saldarriaga, J. G. (1998). *Hidráulica de tuberías*. D " VINNIL TDA, Colombia, 564 p.

- Tavera. *Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la ciudad de Tegucigalpa (Honduras)*. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia, enero 2013.
- Thornton, J. et al. (2008). *Water Loss Control*. New York: McGraw Hill.
- Vidal et al. *Aspectos de implementación y software para un sistema de adquisición de datos de equipo de bombeo eólico y fotovoltaico en sur de Chile*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, pp.08.89-08.100, 2015. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433 - Trabajo seleccionado de Actas ASADES. 2015.