



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADOS

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE LA ENERGÍA

TEMA DEL PROYECTO

“Evaluación energética del control de bombas centrifugas de uso doméstico, en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga año 2013. Propuesta de un adecuado sistema de control energéticamente eficiente”.

Autor: SALAZAR Paredes, Freddy William

Tutor: PhD. Secundino Marrero Ramírez

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre – 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de las normas de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Salazar Paredes Freddy William, con el título de tesis: **“Evaluación energética del control de bombas centrifugas de uso doméstico, en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga año 2013. Propuesta de un adecuado sistema de control energéticamente eficiente”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga diciembre 2013

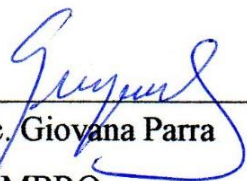
Para constancia firman:



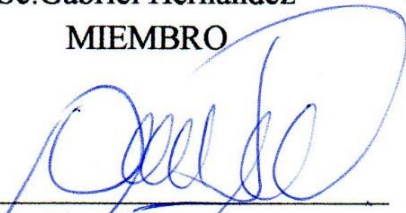
MSc. Rosa Terán
PRESIDENTE



MSc. Gabriel Hernández
MIEMBRO



MSc. Giovana Parra
MIEMBRO



MSc. Hernán Navas
OPOSITOR

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del programa de maestría en GESTIÓN DE LA ENERGÍA, nombrado por el Honorable Consejo Académico de Posgrado de la UTC.

CERTIFICO:

Que analizado el proyecto de tesis de grado con el título de: “EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL CONTROL DE BOMBAS CENTRIFUGAS DE USO DOMÉSTICO, EN LA URBANIZACIÓN NUEVA VIDA CIUDAD DE LATACUNGA AÑO 2013. PROPUESTA DE UN ADECUADO SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE” presentado por SALAZAR PAREDES FREDDY WILLIAM, con cédula de ciudadanía 050167200-0 como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación, para optar el grado de MÁSTER EN GESTIÓN DE LA ENERGÍA.

Sugiero su aprobación y permita continuar con el trabajo de investigación.

Latacunga, 28 de noviembre del 2013

PhD. Secundino Marrero Ramírez
TUTOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA ENERGÍA

RESPONSABILIDAD POR AUTORIA DE TESIS

TÍTULO: “EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL CONTROL DE BOMBAS CENTRIFUGAS DE USO DOMÉSTICO, EN LA URBANIZACIÓN NUEVA VIDA CIUDAD DE LATACUNGA AÑO 2013. PROPUESTA DE UN ADECUADO SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE”

Autor: SALAZAR Paredes, Freddy William

Latacunga, Diciembre del 2013

Salazar Paredes Freddy William

C.I. 0501672000

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA ENERGÍA

TÍTULO: “Evaluación energética del control de bombas centrifugas de uso doméstico, en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga año 2013. Propuesta de un adecuado sistema de control energéticamente eficiente”

Autor: SALAZAR Paredes, Freddy William

Tutor: PhD. Secundino Marrero Ramírez

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla en la urbanización Nueva Vida. Se direcciona a las casas que dispongan de un sistema de bombeo mediante bomba eléctrica centrífuga, que son usadas para elevar la presión del agua suministrada por la red pública municipal. El descenso en la presión del agua, obliga a los propietarios de viviendas, a instalar sistemas de bombeo para poder suministrar el líquido vital hasta al segundo y tercer piso de sus viviendas respectivamente. Los diferentes inconvenientes causados por la naturaleza del tipo de control o el mal funcionamiento de éste, generan un consumo de energía excesivo en el trabajo de la bomba, en conclusión, mayor costo en la planilla eléctrica. Mediante estudio de los distintos tipos y sistemas de control se determinó el gasto energético de cada uno de éstos, aplicada a una bomba de uso más común en nuestra área de estudio. Con las pruebas de laboratorio se estableció las curvas energéticas de comportamiento, sometiendo a la bomba a condiciones normales de funcionamiento. Se estableció cuál es el tipo de sistema de control energéticamente más adecuado en función de su gasto energético real.

DESCRIPTORES:

Bomba estudio eficiencia consumo energía

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI STEERING OF POSTGRADUATE COURSES

MASTER OF ENERGY MANAGMENT

TITLE: “Energy assessment of the centrifugal pumps control for domestic use in the Nueva Vida Urbanization, Latacunga city, 2013. Proposal of an adequate system for energy-efficiency”

Author: SALAZAR Paredes, Freddy William

Tutor: PhD. Secundino Marrero Ramírez

ABSTRACT

This work has been developed in the Nueva Vida urbanization. It was aimed to the houses that have a pumping system using electric centrifugal pump, which are used to bring the pressure up of the water supplied by the Ilustre Municipio de Latacunga. The pressure drop of the water, a technical support that is provided by the Ilustre Municipio de Latacunga demands the homeowners to install of pumping systems which can be able to supply the vital water to the second and third floor of their homes. Some disadvantages caused for the control sort or breakdown of the generate an excessive consumption of energy for the operation of the pump, therefore increasing the cost in the electrical bill. Through study of types and systems of control will be determined the cost of energy use and each one of them about the pump in common use in our study area. With the lab tests will be established energy curves of the conduct of each one of theme, subjecting the pump to normal operating conditions. The results will be compared with the average value of the basic food basket so to establish what type of energy system control is better based on the purchasing capacity of the residents.

DESCRIPTORS:

Pump energetic efficiency household control



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, yo Lic. Mishelle Rosario Velasteguí Rodríguez con C.I. 0501870992 CERTIFICO: que he realizado la respectiva revisión de la Traducción del Abstract; con el tema: **“EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL CONTROL DE BOMBAS CENTRIFUGAS DE USO DOMÉSTICO, EN LA URBANIZACIÓN NUEVA VIDA CIUDAD DE LATACUNGA AÑO 2013. PROPUESTA DE UN ADECUADO SISTEMA DE CONTROL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE”**, cuyo autor es: Salazar Paredes Freddy William y director de tesis PhD. Secundino Marrero Ramírez.

Latacunga, Diciembre del 2013

Docente;

.....
LIC. MISHELLE VELASTEGUI
C.I. 0501870992

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pag.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.. ¡Error! Marcador no definido.	
CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	iii
RESPONSABILIDAD POR AUTORIA DE TESIS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
AVAL DE TRADUCCIÓN ¡Error! Marcador no definido.	
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Análisis crítico.....	2
1.1.3. Prognosis.....	3
1.1.4. Control de prognosis.....	3
1.1.5. Delimitación.....	3
1.1.6. Formulación del problema.....	4
1.2. Justificación de la investigación.....	4
1.3. Ubicación paradigmática.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes del estudio.....	7
2.2. Fundamentación teórica.....	9
2.3. Fundamentación legal.....	12
2.4. Definición de expresiones y/o términos básicos.....	12

2.5.	Hipótesis.....	13
CAPÍTULO III.....		14
3.	METODOLOGÍA	14
3.1.	Diseño de la investigación	14
3.2.	Población y muestra	16
3.3.	Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores	17
3.4.	Instrumentos de recolección de datos	18
3.5.	Procedimientos de la investigación.....	18
3.6.	Procesamiento y análisis	19
3.7.	Instrumentación.....	21
3.8.	Aplicaciones informáticas.....	22
CAPÍTULO IV.....		23
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	23
4.1.	Bombas centrifugas de uso doméstico en la Urbanización Nueva Vida	24
4.2.	Modelación matemática	27
4.3.	Pruebas de laboratorio.....	29
4.3.1.	Control ON/OFF arranque directo	30
4.3.2.	Variador de frecuencia.....	31
4.4.	Análisis de resultados.....	33
4.4.1.	Caso N° 1: “Existencia de suministro de agua potable”.....	33
4.4.2.	Caso N° 2: “Inexistencia de suministro de agua potable”.....	33
CAPÍTULO V		35
5.	PROPUESTA	35
5.1.	TITULO	35
5.2.	JUSTIFICACION	35
5.3.	OBJETIVO.....	35
5.4.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	36
5.5.	DESCRIPCION DE LA PROPUESTA	36
5.5.1.	Impacto económico	39
5.5.2.	Impacto social	40
5.5.3.	Impacto ambiental.....	40
CONCLUSIONES.		41
RECOMENDACIONES		43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1:	Listado de casas con bombas centrífugas de uso doméstico usadas para elevar la presión de agua potable.	16
Cuadro N° 2:	Listado de la muestra de casas con bombas centrífugas de uso doméstico usadas para elevar la presión de agua potable.	17
Cuadro N° 3:	Operacionalización de la variable independiente	17
Cuadro N° 4:	Operacionalización de la variable dependiente	18
Cuadro N° 5:	Procedimiento de la investigación	19
Cuadro N° 6:	Valores promedio, máximo y mínimo de presión	23
Cuadro N° 7:	Resumen energético de simulación con control ON/OFF.	29
Cuadro N° 8:	Resumen de potencias y consumo energético de bombas con control ON/OFF.	31
Cuadro N° 9:	Resumen de potencias y consumo energético con variador de frecuencia.	32

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1:	Diagrama Causa - Efecto	2
Gráfico N° 2:	Presión de suministro de agua en Urb. Nueva Vida, Junio – 2013	23
Gráfico N° 3:	Presión de suministro de agua en Urb. Nueva Vida, Junio -2013	24
Gráfico N° 4:	Acumuladores, cantidad y porcentaje	25
Gráfico N° 5:	Ubicación de Acumuladores	25
Gráfico N° 6:	Potencias de los motores usados y cantidad según el tipo de bomba.....	26
Gráfico N° 7:	Circuito básico de estudio.....	27
Gráfico N° 8:	Comportamiento de la corriente del motor	28
Gráfico N° 9:	Carga de acumulador	28
Gráfico N° 10:	Consumo de energía.....	29
Gráfico N° 11:	Circuito hidráulico para pruebas de laboratorio	30
Gráfico N° 12:	Comportamiento de la corriente de motores.....	30
Gráfico N° 13:	Carga de acumulador.	31
Gráfico N° 14:	Comportamiento de la corriente de motores.....	32
Gráfico N° 15:	Carga de acumulador.	32
Gráfico N° 16:	Gastos energéticos en relación al tipo de control.....	33
Gráfico N° 17:	Costo económico de bomba sin agua.....	34
Gráfico N° 18:	Circuito básico de protección contra pérdidas del servicio de agua potable	37
Gráfico N° 19:	Circuito de protección contra pérdidas del servicio de agua potable.....	38
Gráfico N° 20:	Ahorro en función del tiempo a 10 años.....	39
Gráfico N° 21:	Contaminación evitada a 10 años	40

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

En la Urbanización Nueva Vida, de la ciudad de Latacunga, en la cual se centra este proyecto, es notorio la utilización de bombas centrífugas de uso doméstico para elevar la presión de agua potable en los hogares y suministrada por la red pública municipal, estos sistemas constan de: una bomba centrífuga y acumulador hidráulico. Los sistemas de control de las bombas que se usan son de fábrica. Esta situación, ha generado que varias ellas funcionen de manera inadecuada energéticamente.

Las bombas suplen el requerimiento de mayor presión de agua en los hogares realizando esta labor las 24 horas al día los 7 días a la semana, lo que presenta un reto a la capacidad física de las bombas y sus sistemas de control. Debido a la naturaleza misma del trabajo, que en este caso se realiza en gran mayoría de forma intermitente y sin descanso, ésto produce: calentamiento y desgaste en los elementos mecánicos de la bomba; así como, consumo de energía innecesario por en el sistema de control.

En consecuencia, a constantes gastos por cambio de elementos o reposición de los equipos, el costo de los sistemas se eleva de manera innecesaria, lo que afecta a todos los consumidores de este tipo de productos tanto en el sector de la Nueva Vida, así como en el Ecuador

Razones por las que se plantea la realización de esta Investigación, en la que se estudia el gasto energético en relación al control actual vs los distintos tipos de control aplicables a bombas centrífugas de uso doméstico para lograr mayor eficiencia en el sistema de bombeo.

1.1.2. Análisis crítico

En la urbanización Nueva Vida de la ciudad de Latacunga en la Provincia de Cotopaxi, no existe un estudio que determine el tipo de control energéticamente adecuado para evitar ineficiencia energética en el funcionamiento de las bombas centrífugas de uso doméstico.

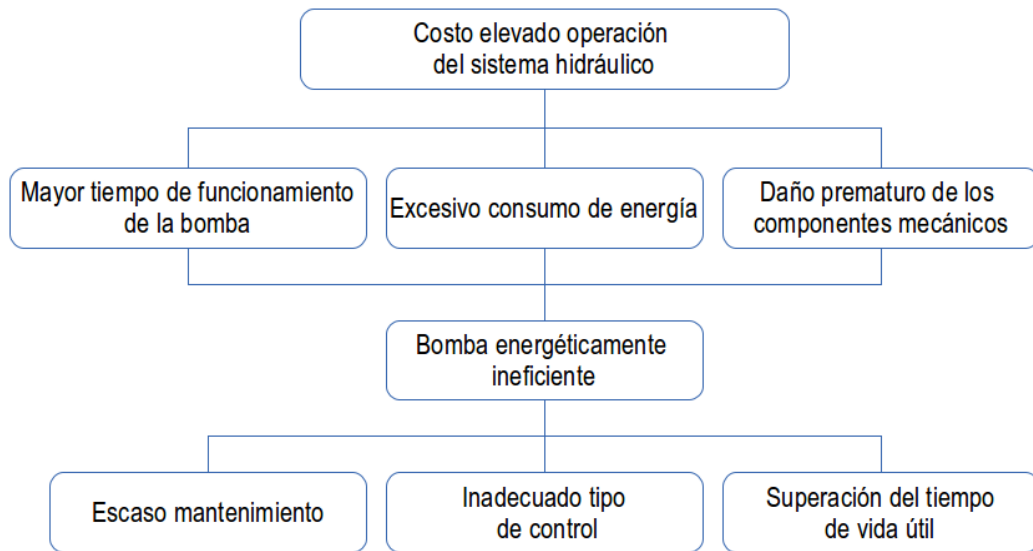


Gráfico N° 1: Diagrama Causa - Efecto

Fuente: Propia (2013)

El problema mencionado se genera principalmente por desconocimiento de los métodos energéticos adecuados de control y que sean estos económicamente viables, lo que genera alto consumo de energía de las bombas centrífugas y un posterior alto costo de mantenimiento.

En el funcionamiento normal de las bombas centrífugas continuamente se producen daños del sistema de control debido a su uso, provocando el cese del funcionamiento o peor aún, un funcionamiento energéticamente desfavorable lo que afecta la calidad de vida de la población.

En el Ecuador, existen leyes y normativas que buscan fomentar la gestión energética, ya que en la Constitución se le atribuye derechos a la “Madre Tierra”. Se aclara que mejorar la calidad de uso de la energía eléctrica forma parte del buen vivir de los ciudadanos.

1.1.3. Prognosis

Debido al crecimiento demográfico experimentado en la ciudad de Latacunga, en la cual cada vez más viviendas requieren del líquido vital, en suministro de red municipal está siendo sobre utilizada además, las tuberías de agua potable en la ciudad de Latacunga ha superado su vida útil. Desde otro punto de vista, el calentamiento global a hecho que cada día el nivel de los glaciales andinos se reduzca de manera considerable, lo que cimienta un futuro nada provisorio para la sociedad latacungueña que requiere de los glaciales andinos para su abastecimiento de agua.

Por lo mencionado anteriormente cada vez más familias procederán a instalar este tipo de bombas para solventar las necesidades de abastecimiento de agua potable, y desperdiciando de energía eléctrica debido a estos sistemas de control y que representará una carga de energía considerable, la misma que será suplida de tal manera que contribuirá aún más con el calentamiento global.

1.1.4. Control de prognosis

Con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica en la operación de bombas centrífugas de uso doméstico se realiza propuesta de un adecuado sistema de control energéticamente eficiente, para la Urbanización Nueva Vida de la ciudad de Latacunga.

1.1.5. Delimitación

El proyecto se desarrollara en cuatro meses, iniciando con el análisis del problema que se realiza en un mes, tipos de control usados y posibles de usarse en bombas centrífugas de uso doméstico, posteriormente se procede al estudio de cada uno de estos en el mes siguiente, determinando del gasto energético y el cuarto mes se utiliza para el establecimiento de resultados.

Este proyecto de investigación se desarrolla en la Urb. Nueva Vida, parroquia San Buena Ventura, ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, ubicada geográficamente en: Latitud Sur 0°54'44.52" y Longitud Oeste 78°37'25.69".

Los tipos de control en bombas centrífugas de uso doméstico generan distintos gastos energéticos en función del modo de control. En este proyecto se investigará los gastos de cada uno de los tipos de control en relación a su eficiencia energética y económicos.

1.1.6. Formulación del problema

Excesivo consumo de energía en el funcionamiento de las bombas centrífugas de uso doméstico, debido a inadecuados sistemas de control, que conlleva a un funcionamiento energéticamente ineficiente.

1.2. Justificación de la investigación

El calentamiento global está provocando la reducción del caudal de agua en la Urbanización Nueva Vida, obligando a los habitantes a la colocación de bombas centrífugas de uso doméstico, para proveerse de la cantidad necesaria de líquido vital para sus actividades diarias, con lo cual se gasta más energía y no colabora con la prevención del calentamiento global.

Producto de la realización de este trabajo de investigación se determina el tipo de control más eficiente para usar en bombas centrífugas de uso doméstico.

Con la ejecución de este trabajo de investigación se elabora una propuesta que permita a las autoridades tomar decisiones que vayan en beneficio de los habitantes de: la Urbanización Nueva Vida, la ciudad de Latacunga y del Ecuador.

Con la realización de este proyecto de investigación se sigue una metodología apropiada que sirve de base para futuras investigaciones de esta naturaleza en zonas que requieran de un estudio con similares características.

Este trabajo de investigación, es importante debido a que no existe otro similar aplicado a la Urbanización.

Este proyecto es factible de ejecutarse, ya que se dispone del recurso humano, tecnológico, económico para llevar a cabo dicha investigación en el entorno y límites planteados.

1.3. Ubicación paradigmática

En la presente investigación se utiliza el paradigma positivista debido a que es predominante en los aspectos de fundamentos, finalidad, relación sujeto/objeto, valores, criterios de calidad, técnicas y análisis de datos; debido a lo mencionado el enfoque que se da a la investigación es el de cuantitativo.

El paradigma positivista según Lloredo (2012): “Es una corriente de pensamiento cuyos inicios se atribuye a los planteamientos de Auguste Comte, que no admite como válidos otros conocimientos sino los que proceden de las ciencias empíricas.” (p. 10). Es decir, las actividades que se desarrollan en la investigación serán relacionadas directamente con la experiencia y recolección de información, que determine consumo energético de los distintos tipos de control.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el consumo energético con relación al sistema de control en las bombas centrífugas para uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.
- Seleccionar y proponer el sistema de control más eficiente para las bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte referente a la eficiencia de los tipos de control en bombas centrífugas.
- Identificar los sistemas de control existentes en el mercado y seleccionar los pertinentes para bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.

- Evaluar el comportamiento energético de los controles seleccionados para bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.
- Seleccionar y argumentar, sobre la base de criterios económicos y energéticos el sistema de control más eficiente para las bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.
- Proponer las condiciones adecuadas de operación del sistema de control seleccionado para un uso más eficiente en bombas centrífugas con fines domésticos en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Refiriéndose a los sistemas de bombeo Mona y Aziza (1996), dicen:

Se investigó un sistema de bombeo basado en un motor de inducción impulsado por un inversor de fuente de tensión. Se consideran dos estrategias de control. En primer lugar, el sistema es controlado para operar en la línea de potencia máxima del generador fotovoltaico. En segundo lugar, se controla para funcionar con la máxima eficiencia. La comparación se realiza entre los dos sistemas (p.53).

En la investigación de Suehrcke, Appelbaum y Breshef (1997), dicen:

El modelado de ecuaciones del conjunto motor-bomba se derivan de características de la bomba de una velocidad y una prueba del motor en vacío. La aplicación de las ecuaciones de modelado en conjunción con la ecuación de caracterización de la matriz fotovoltaica se obtiene la relación entre la radiación solar y la tasa de flujo de la bomba para una tubería dada. (p.37)

El seteo del presostato utilizado de acuerdo a Schneider Electric USA (2007), dice: “Seteo Original: 20 – 40 psi” (p. 3)

De acuerdo a un trabajo de Trinath (2006), dice:

En la Unidad de Hydrocracker de una refinería de petróleo de la bomba de reflujo, bombas de nafta con una gravedad específica de 0,7. A veces el agua también viene en la corriente resultando una gravedad específica de 0,9. Como potencia $P = (wQH/3960)$ donde w es el peso específico, Q es la descarga y H es la altura manométrica Como resultado, el motor consume más corriente. Si pasa desapercibido se desperdicia la energía. (p.105).

Según el estudio de eficiencia energética realizado por Durmus (2008), a las bombas de una planta industrial determina que existen posibilidades de ahorro en:

Reemplazos de las bombas de baja eficiencia existentes, el mantenimiento de las bombas cuya eficiencia comenzará a disminuir en cierto rango, reemplazos de motores eléctricos de alta potencia con motores eléctricos que tienen de alimentación adecuada, el uso de motores eléctricos de alta eficiencia y eliminación de los problemas de cavitación (p.1662).

Al mejorar la eficiencia de una sola bomba puede ahorrar energía de manera considerable. Según Aujla, J.S.; Arora, A. S.; Kumar, Rajesh (2009), dicen:

Una bomba centrífuga de funcionamiento continuo, impulsado por un motor de 100 kW a plena carga, requiere 973.000 kWh por año y cuesta más de 97.000 dólares para operar, asumiendo los costos promedio de electricidad de 10 centavos de dólar por kWh y un motor de eficiencia del 90%. Con una reducción del 20% en los costos de operación, se pueden realizar un ahorro de \$ 19,400 por año (p.6).

Según el estudio realizado por Aujla et al (2009), se ha:

Realizado por mediciones de campo y análisis a los efectos de la eficiencia energética en el sistema de bombeo en un instituto técnico en el norte de parte de la India. Los resultados del estudio de expectativas ted de ahorro de energía de 2,78 unidades Lac y reducción de emisiones de CO2 de 223 toneladas al año (p.717).

Según Murray (2010):

Los dos bancos de separación crítica fueron inicialmente diseñados para tener capacidades idénticas, sin embargo, el análisis de las caídas de presión y potencia eléctrica absorbida grandes diferencias entre estos dos sistemas. El proyecto consistió en la revisión de unidades de bombeo y los requisitos del sistema para buscar unidades que se podrían cambiar y seguir manteniendo los productos y capacidades de limpieza in situ (CIP) (p.3).

Según Villacis (2011) presenta estadísticas donde dice: “Los hogares ecuatorianos están conformados por 3,8 integrantes, según los resultados del Censo de población y Vivienda 2010” (p. 1).

De acuerdo a la información disponible el consumo de agua por habitante en Quito, según EPMAPS (2013) es la siguiente: “La demanda per cápita diaria está en orden de los 198 litros/habitante/día” (p. S1).

2.2. Fundamentación teórica

Como menciona Trinath (2006): “en previsión de futuro crecimiento de la carga, los ingenieros del usuario final, los proveedores y el diseño añaden habitualmente de 10 a 50% "márgenes de seguridad" para asegurar aumentos de capacidad previstos.” ”Pero si la bomba funciona sin control siempre se ejecutará al exceso de flujo.” y “la bomba puede sufrir daños por cavitación y el consumo de energía será excesivo.” (p.100).

Como menciona Trinath (2006), para el mejoramiento de la eficiencia en los sistemas de bombeo se recomienda:

Cambio de bomba cuando existe variación de un 25 al 30% que las condiciones de diseño, utilización de múltiples bombas en paralelo o en serie, reducción del número de bombas, reducir la pérdida de carga por fricción, reducir el número de codos y válvulas en el sistema de tuberías, evitar el proceso de estrangulación, reemplazar los impulsores al requerir capacidades baja, uso de variadores de velocidad (p.106).

Según el estudio de eficiencia energética realizado por Durmus et al., (2008), a las bombas de una planta industrial determina que:

Para este propósito, la tasa de flujo, presión y temperatura se han medido para cada bomba en diferentes condiciones de funcionamiento y con carga máxima. Además, la energía eléctrica consumida por el motor eléctrico se ha medido. Las eficiencias de las bombas existentes y el motor eléctrico se han calculado utilizando los datos medidos (p.1662).

Según el estudio de eficiencia energética realizado por He, Xiaohua y Jiangfeng (2011), determina que la:

Estrategia de control predictivo basado en modelos de bucle cerrado se aplica más para el control operativo de la bomba. Estos modelos muestran que la clasificación de la eficiencia energética en términos de rendimiento del sistema, funcionamiento, el equipo y la tecnología (POET) es aplicable al estudio de eficiencia de energía del sistema de bombeo (p.3).

Según la BPMA (2012), menciona que en el método de control OFF/ON:

El flujo es controlado por conmutación de las bombas de encendido o apagado. Es necesario disponer de una capacidad de almacenamiento en el sistema, por ejemplo un pozo húmedo, un tanque elevado o un recipiente a presión Tipo de acumulador. El almacenamiento puede proporcionar un flujo constante para el sistema con una bomba en funcionamiento intermitente. (p.16)

Según la BPMA (2012), menciona que en el método de control OFF/ON:

Para reducir al mínimo el consumo de energía con control de start stop es mejor bombear el menor caudal como lo permita el proceso. Esto reduce al mínimo las pérdidas por fricción en la tubería y una pequeña bomba de manera apropiada se pueden instalar (p. 16)

Según la British Pump Manufacturers' Association (BPMA) (2012), menciona que el variador de frecuencia es:

El tipo de variador de velocidad electrónico más utilizada, un convertidor de frecuencia se utiliza junto con un motor de inducción. El convertidor de frecuencia puede hacer referencia a varios términos y abreviaturas, incluyendo un inversor (que es sólo una parte del sistema de convertidor), o también como un variador de frecuencia (variador de frecuencia) VVVF (voltaje, variador de frecuencia variable) (p.27).

Según la BPMA (2012), menciona que el control de presión constante:

Es común en sistemas de abastecimiento de agua que se requiere una presión constante y que se requiere agua a diferentes flujos depende del número de usuarios en un momento dado. Cambios en la capacidad de presión constante son también comunes en los sistemas de distribución de refrigeración centralizada y en el riego cuando se trata de un número variable de los difusores o secciones de riego (p. 34).

En el trabajo de British Pump Manufacturers' Association (BPMA) (2012), dicen:

Cuando un motor de inducción se inicia directamente en la línea, el efecto sobre la bomba es colocar las tensiones mecánicas en los componentes giratorios, seguido de tensiones en el sistema hidráulico. Cuando se detiene el ritmo de desaceleración es totalmente incontrolada. (p.34).

De acuerdo a DOE's Federal Energy Management Program (2013), dicen:

El control de velocidad es una opción que puede mantener bombas que funcionan de manera eficiente en un amplio rango de flujos.. Por ejemplo, retardando una bomba de 1800-1200 rpm resultados en un 33% la disminución del flujo y una disminución del 70% en la potencia. Esto también pone menos tensión en el sistema (p.3).

Refiriéndose al trabajo de Hydraulic Institute; Europump; and the U.S. Department of Energy's (DOE) Industrial Technologies Program (2013), dice:

Con instalaciones de bombas rotodinámicas, un ahorro de entre el 30% y el 50% se han logrado en muchas instalaciones por los Controladores de Velocidad. Cuando se usan bombas de desplazamiento positivo, el consumo de energía tiende a ser directamente proporcional al volumen bombeado y el ahorro se cuantifica fácilmente. (p.10).

Wikipedia (2013), Fórmula de la potencia real P:

$$P = R \times I^2 = \frac{V^2}{R} = I \times V \times \cos \phi \quad (s.1) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Wikipedia (2013), Fórmula de la potencia aparente eléctrica S:

$$S = IxV \quad (s.2) \quad \text{Ecuación 2.}$$

Wikipedia (2013), Fórmula de la potencia reactiva Q:

$$Q = IxVxcos\emptyset \quad (s.2) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Wikipedia (2013), Fórmula del factor de potencia fp:

$$fp = \frac{P}{S} = cos\theta \quad (s.1) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Kenneth (1998), Fórmula de la potencia al freno BHP:

$$BHP = \frac{QxTDHxdensidad\ relativa}{3960x\textit{eficiencia de la bomba}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Kenneth (1998), Fórmula del torque T:

$$T = \frac{HPx716}{RPM} \quad \text{Ecuación 6.}$$

2.3. Fundamentación legal

“Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”(Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.182)

2.4. Definición de expresiones y/o términos básicos

- Bomba centrífuga.- “es una bomba hidráulica en la cual la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción.”(Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET))

- Motor de inducción.- Es una máquina electromecánica que convierte energía eléctrica en mecánica basándose en el fenómeno de inducción electromagnética.
- Potencia.-“Fís. Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.”(Real Academia Española (RAE), 2001)

2.5. Hipótesis

Si se selecciona un sistema de control energéticamente eficiente para las bombas centrifugas de uso doméstico, en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga, entonces se podrá reducir el gasto de energía.

VARIABLE DEPENDIENTE: Gasto de energía en bombas centrifugas de uso doméstico.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Sistema de control en bombas centrifugas de uso doméstico.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la investigación

En el libro de Sampieri, Collado y Lucio (1997, p. 70), dice que “los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio”.

En el principio del trabajo de investigación se desarrolla la búsqueda de pistas sobre la problemática, debido a que sobre la temática con similares características y los mismos objetivos a lograr, no se encuentra información detallada.

En el libro de Tamayo, Jaramillo, Moreno, Gallardo, Uribe (1999, p.44), dice que la metodología descriptiva busca “busca únicamente describir situaciones o acontecimientos; básicamente no está interesado en comprobar explicaciones, ni en probar determinadas hipótesis, ni en hacer predicciones.”

La metodología descriptiva en este caso describe el comportamiento del sistema, producto de la recolección de datos aplicables a la investigación, permitiendo un adecuado acopio de información.

Según Sampieri et al. (1997, p. 72), la metodología correlacionar “tienen como propósito medir el grado de relación que exista entre dos o más conceptos o variables (en un contexto en particular).”

Realizada la descripción de los hechos nos permite encontrar la relación entre las características descritas buscando dar solución a las inquietudes planteadas como es la hipótesis, los objetivos, para que se encamine correctamente la investigación y los resultados que se obtengan sean lo más acertados y útiles.

Para realizar la investigación el método que se aplica es el método sintético, según Ruiz (2006, p.129) “el método sintético es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis; se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras debemos decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades.”

Debido a que el análisis del problema es necesario unificar toda la información sobre los tipos de control y relacionar cual control es el más viable en la Urbanización Nueva Vida.

Según Juan, et al (2010, p.327) el resultado de utilizar el método se tiene “consecuencias obtenidas tras el análisis (las leyes causales descubiertas) se extienden a un número mayor de fenómenos, es decir, a aquellos que entran bajo la misma categoría estudiada, aunque no hayan sido directamente observados.”

Mediante el método analítico podré establecer cuál de los arranques es el más eficiente energéticamente y la naturaleza de su control.

3.2. Población y muestra

En el libro de Sampieri, Collado y Lucio (1997, p. 262) la población o universo “se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Selítiz, 1974).”

En esta investigación la población está constituida por objetos de investigación, en este caso la población de objetos son los tipos de control de bombas centrífugas de uso doméstico, en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga, cuyas bombas son usadas para elevar la presión del agua potable suministrada por el Ilustre Municipio de Latacunga.

A continuación se detalla la cantidad y distribución de la población de objetos para este caso:

Cuadro N° 1: Listado de casas con bombas centrífugas de uso doméstico usadas para elevar la presión de agua potable.

Nº	Manzana	Casas
1	A	7
2	B	6
3	C	4
4	D	5
5	E	2
6	F	7
7	G	6
8	H	5
9	I	6
10	J	6
11	K	5
12	L	7
13	M	8
14	N	5
15	O	5
16	P	9

Fuente: Investigación de campo

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

En el libro de Sampieri, Collado y Lucio (1997, p. 262) define que “la muestra suele ser definida como un subgrupo de la población (Sudman, 1976). Para seleccionar la muestra deben delimitarse las características de la población. Muchos investigadores no describen lo suficiente las características de la población o asumen que la muestra representa automáticamente a la población.”

Para la presente investigación, en relación a la muestra de objetos se utiliza el muestreo probabilístico regulado; es decir todo el universo se convierte en muestra, esta decisión es debido a que los elementos no superan la cantidad de 100.

Cuadro N° 2: Listado de la muestra de casas con bombas centrífugas de uso doméstico usadas para elevar la presión de agua potable.

Nº	Manzana	Casas
1	A	7
2	B	6
3	C	4
4	D	5
5	E	2
6	F	7
7	G	6
8	H	5
9	I	6
10	J	6
11	K	5
12	L	7
13	M	8
14	N	5
15	O	5
16	P	9

Fuente: Investigación de campo

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

3.3. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores

Variable independiente: Tipo de control en bombas centrífugas de uso doméstico.

Cuadro N° 3: Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
Manera, método o técnica utilizada para el comando de la bomba.	Número de arranques por día	125
	Arranque directo	Cumple en 100%
	Parada motor	Cumple en 100%
	Lazo de control cerrado	Cumple en 100%

Fuente: Investigación de campo.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

Variable dependiente: Consumo de energía en bombas centrífugas de uso doméstico.

Cuadro N° 4: Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
Es la cantidad de energía que requiere una bomba para desempeñar una tarea asignada.	Potencia consumida por ciclo (Wh-ciclo)	70 Wh

Fuente: Investigación de campo.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

3.4. Instrumentos de recolección de datos

“Un formulario es un documento, en papel o en pantalla, diseñado con el propósito de que el usuario introduzca datos estructurados”(Wikipedia, 2013)

El instrumento de recolección de datos es formularios que me permiten condensar la información requerida en campo para su posterior análisis de preferencia se utilizará medios electrónicos para versar con la filosofía se cero papeles, como se muestra en ANEXO 2

3.5. Procedimientos de la investigación

En el libro de Sampieri, Collado y Lucio (1997, p. 171), dice que “la observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conducta manifiesta. Puede utilizarse como instrumento de medición en muy diversas circunstancias.”

La observación permite identificar los sistemas de control existentes en el mercado así como en las viviendas. Se utiliza este método debido al desconocimiento de la población respecto al tema.

Según Astrid y Santia , (2011, p. 2) basados en Creswell (2009) el método experimental son “estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen”.

El método experimental permite evaluar el comportamiento energético de los controles seleccionados para bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida Ciudad de Latacunga.

Para el levantamiento de la información en la presente investigación, se desarrolla mediante la técnica de observación, ya que se llena test de las bombas.

Las pruebas que se desarrollaran en el laboratorio y se los aplicará durante el primer semestre del año.

Cuadro N° 5: Procedimiento de la investigación

Técnica	Procedimiento
Observación	Método sintético
	Bombas urbanización Nueva Vida
	Primera semana de junio
Análisis y síntesis	Método sintético
	Internet-ciudad de Latacunga
	Segunda semana de junio
Experimentación	Método analítico
	Laboratorio
	Tercera semana de junio

Fuente: Investigación de campo.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

3.6. Procesamiento y análisis

El procesamiento de la información se da como se detalla a continuación:

- Recolección de datos

Para el establecimiento del tipo de control utilizado en la urbanización Nueva Vida se procede a revisar una por una las viviendas que forman parte de la muestra y se llena en los formularios adecuados, esos formularios son llenados por observación de una persona con conocimientos en el tema y no por encuesta o entrevista debido al desconocimiento de la población. Los resultados de la experimentación se garantizan por métodos electrónicos de hardware y software.

La calidad de la información se valora por la calidad de la elaboración de los formularios y conocimientos del observador, en caso de no obtener información se busca en otra fecha, y en caso que la información sea ambigua se procede a recopilar de nuevamente la información.

Para la realización de la experimentación se sigue el siguiente protocolo:

- Se establecerán los objetivos a alcanzar con la experimentación.

- Seleccionar el sistema hidráulico, electromecánico adecuado para el desarrollo de la investigación.
- Establecer condiciones iniciales del sistema que deben ser similares para la modelación matemática.
- Seleccionar los instrumentos adecuados para la obtención de datos de experimentación, así como, el lugar debe brindar las condiciones de seguridad adecuada y el medio no influya sobre los resultados de los datos.
- Se utilizará el equipo de protección personal adecuado para las actividades de experimentación considerando las condiciones de trabajo.
- Realizar la experimentación de los tipos de control vs los tipos de bombas seleccionadas aplicando las condiciones iniciales sobre éstos.
- Los resultados de la experimentación deben ser recogidos en hojas de cálculo electrónica con el formato adecuado.
- Tabulación

Según Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud (p. 1) las hojas de tabulación es “una forma sencilla de recolección de datos para observar la frecuencia de un evento de manera sistemática. Ayuda a construir, con cada observación, una imagen más clara de los hechos y no de opiniones de cada miembro del equipo.”

La información se registra en una hoja de cálculo para su tabulación que permita establecer porcentajes y características. Se utiliza Software dedicado para la simulación del sistema. La información requerida se tabula en una hoja similar a la mostrada en ANEXO 2.

- Graficación.

Para una mejor interpretación de las variables se maneja métodos gráficos. Además, se utiliza gráficos de tipo dispersión (x,y) de puntos con líneas, se los manejará debido a la facilidad de observación de valores mayores o gráficos acordes a los requerimientos de la observación.

El plan de análisis e interpretación de resultados se lo hace de la siguiente manera:

- **Análisis de los resultados estadísticos.**
Se realizará en una hoja de cálculo electrónica, aplicando fórmulas estadísticas y matemáticas para determinar los valores necesarios.
- **Interpretación de los resultados.**
La interpretación de los resultados será realizada por el investigador.
- **Comprobación de hipótesis.**
Se utilizará el método del Chi Cuadrado.
- **Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.**
Mediante la relación con objetivos específicos y los resultados que entregue la investigación.

3.7. Instrumentación

Analizador de carga AEMC 3945.- Instrumento de medida que permite obtener valores de eléctricos, con velocidades de resolución de 62.5 micro segundos (us) por muestra.

El analizador de carga se utiliza para determinar los valores eléctricos en los ensayos de laboratorio

Cámara Web.- Elemento electrónico de adquisición de imágenes. Se utiliza para obtener imágenes de los instrumentos de medida utilizados en las pruebas de laboratorio.

Computador.- Equipo electrónico para procesamiento de información y datos. Se utiliza para soportar los paquetes informáticos requeridos para el procesamiento, análisis y evaluación de la información obtenida.

Multímetro.- Elemento electrónico de medida de variables eléctricas. Se utiliza para determinar los niveles de voltaje y corriente en las pruebas de laboratorio.

Tacómetro óptico.- Instrumento electrónico que determina velocidad de giro. Se utiliza para determinar las RPM de los motores de las bombas.

Vatímetro.- Instrumento electrónico de medida especializado. Se utiliza para medir la potencia real de un circuito eléctrico.

Fuente variable.- Equipo eléctrico cuya característica es entregar un suministro de voltaje variable. Se utiliza en las pruebas aplicadas en los motores de las bombas.

3.8. Aplicaciones informáticas

Libre Office.- Hoja de cálculo. Se utiliza para la tabulación de datos.

Matlab.- Software de métodos numéricos y simulación. Se utiliza para el modelamiento del sistema a estudiar.

Labiew.- Software de instrumentación virtual. Se utiliza para la adquisición y análisis de imágenes.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Suministro de Agua Potable en la Urbanización Nueva Vida: de los datos obtenidos mostrados en ANEXO 1 de presiones del suministro de agua potable en la Urbanización Nueva Vida en el mes de Junio del 2013 genera una gráfica la cual es mostrada en el Gráfico N° 2.

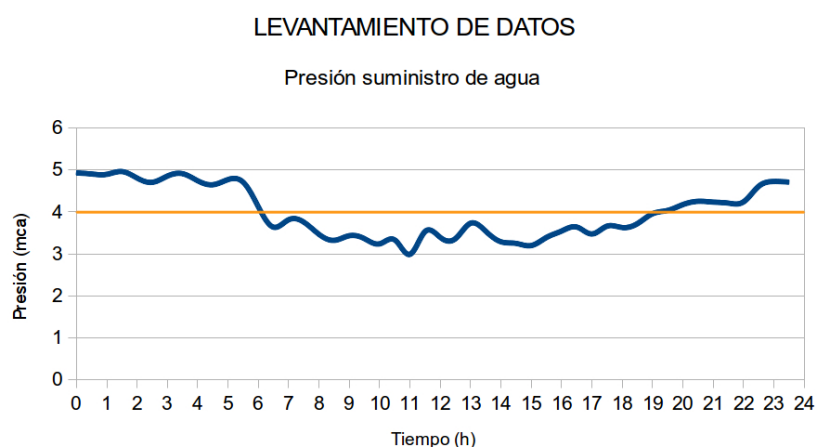


Gráfico N° 2: Presión de suministro de agua en Urb. Nueva Vida, Junio – 2013

Fuente: Propia (2013)

De esta gráfica, se puede observar que las presión del suministro de agua potable en la Urbanización Nueva Vida está alrededor de 3.99 mca donde la presión más baja es 2.98 mca y esto se da entre las 11H00 y la presión más alta del sistema de suministro de agua potable es 4.96 mca que equivale a 7.05 psi como se muestra en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6: Valores promedio, máximo y mínimo de presión

	Presión (psi)	Presión (mca)
Promedio:	5,68	3,99
Máximo:	7,05	4,96
Mínimo:	4,25	2,99

Fuente: Investigación de campo.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

Lo cual explica el hecho de la presencia de agua potable en el circuito hidráulico de la planta baja de las viviendas de la Urbanización Nueva Vida mientras que, en el primer piso el líquido es escaso o inexistente

En esta investigación se toma en cuenta el comportamiento de la bomba en dos condiciones que el medio le somete, el primero es cuando existe suministro de agua potable y el segundo es cuando no existe suministro, condiciones que se las obtuvo de los datos de levantamiento de las presiones del sistema de suministro de agua potable de la Urbanización Nueva Vida mostrado en ANEXO 1.

4.1. Bombas centrífugas de uso doméstico en la Urbanización Nueva Vida

Del proceso de observación y levantamiento de información mostrado ANEXO 2 se obtiene que el uso de los distintos tipos de bombas hidráulicas aplicables se encuentra mostrado en el Gráfico N° 3.

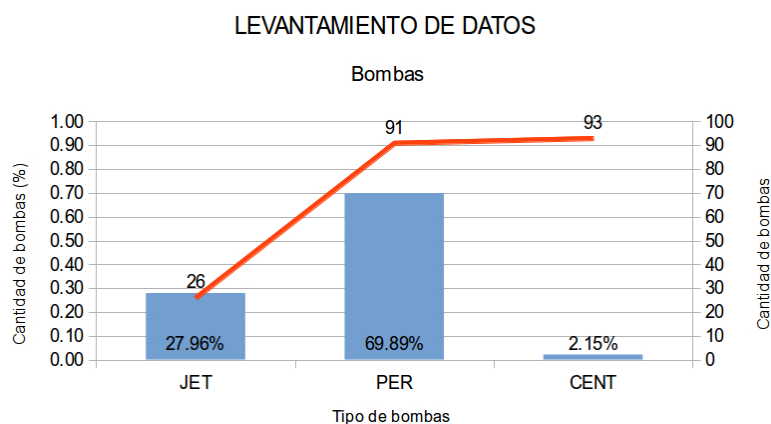


Gráfico N° 3: Presión de suministro de agua en Urb. Nueva Vida, Junio -2013

Fuente: Propia (2013)

Donde las bombas más utilizadas son las bombas centrífugas periféricas con el 69.89%, posterior a esta las bombas centrífugas auto-cebadas tipo JET con el 27.96% y por último las bombas centrífugas con el 2.15%. De estos datos se puede concluir que para el estudio las bombas centrífugas con el 2.15% son excluidas del estudio debido a su bajo índice.

LEVANTAMIENTO DE DATOS

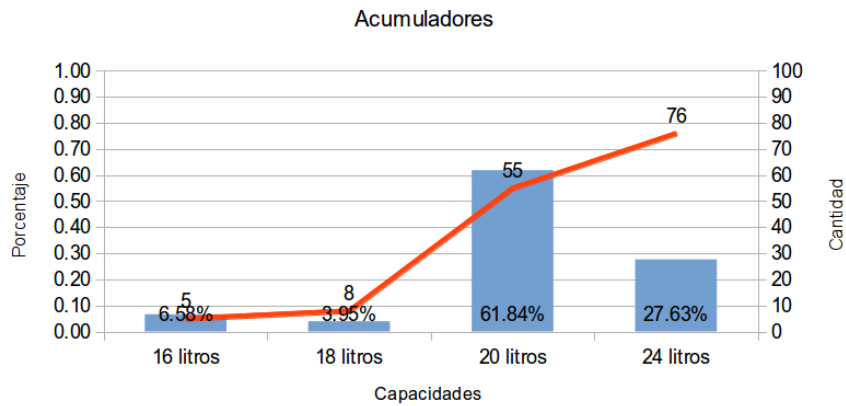


Gráfico N° 4: Acumuladores, cantidad y porcentaje

Fuente: Propia (2013)

Donde las casa que no disponen de acumulador a gas en las bombas utilizan sus cisternas en el segundo o tercer piso para usarlos como acumuladores pero de mayor capacidad como se muestra en el Gráfico N° 4. Por tal razón se utiliza un acumulador hidráulico de 20 litros para el estudio.

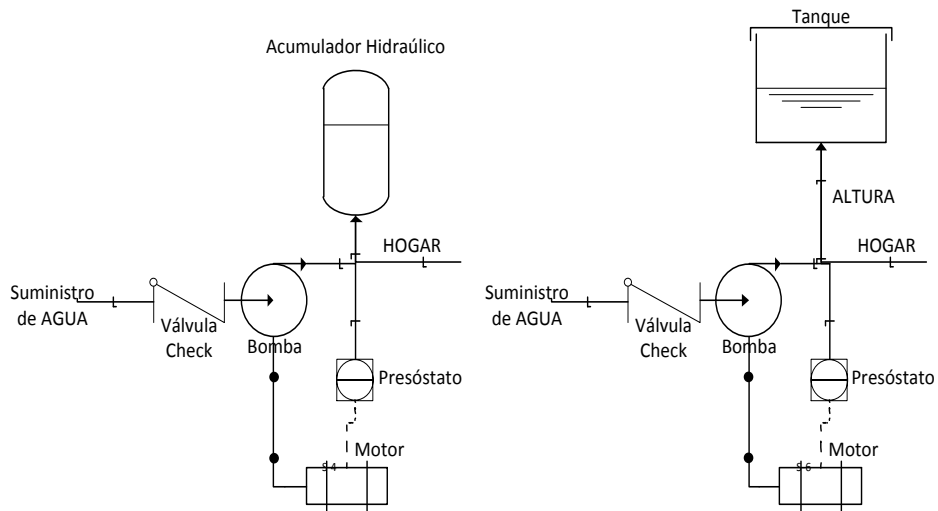


Gráfico N° 5: Ubicación de Acumuladores

Fuente: Propia (2013)

Los motores utilizados por las bombas para elevar la presión del sistema de suministro de agua potable se encuentra mostrado en el Gráfico N° 6.

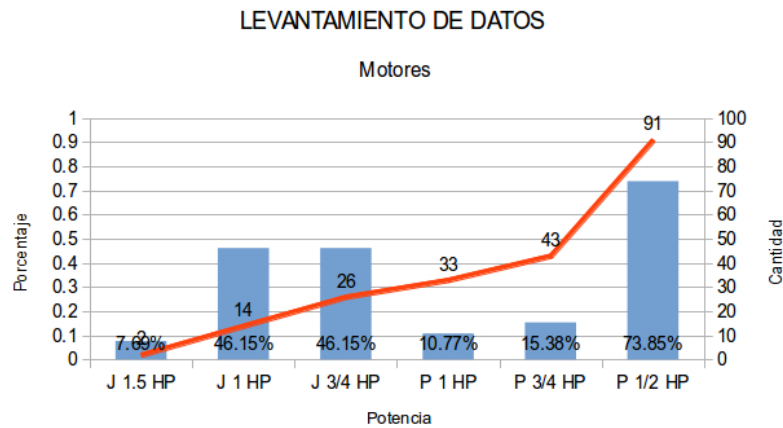


Gráfico N° 6: Potencias de los motores usados y cantidad según el tipo de bomba
Fuente: Propia (2013)

Donde la potencia de los motores más utilizados en las bombas periféricas y tipo JET. La potencia más utilizada entre la tipo jet es de 1 y $\frac{3}{4}$ de HP con 46.15% cada potencia mientras que en la bomba periférica se muestra una marcada preferencia para las bombas de $\frac{1}{2}$ hp con el 73.85%. De lo anterior, en el estudio se usa un motor de $\frac{3}{4}$ HP para la bomba JET y $\frac{1}{2}$ HP para la bomba periférica.

Del Gráfico N° 3 se observa que la presión máxima del sistema es 7.05 psi y los presostatos utilizados para el control están seteados generalmente en 20 a 40 psi obligando a que la bomba tenga la posibilidad de prenderse las 24 horas toda la semana, por lo tanto, si la demanda per cápita de agua es de 198 lts y los acumuladores instalados, generalmente son de 20 litros, por tanto asumiendo consumo continuo la bomba realizaría 10 ciclos de funcionamiento por persona al día, si la media promedio del integrantes de una familia en el Ecuador es de 3.9 esto quiere decir, que la bomba trabaja 39 ciclos de funcionamiento al día.

De lo anterior y teniendo en cuenta lo mencionado en el presente documento se establece los controladores de voltaje de estado sólido o conocidos como arrancadores suaves no son aplicables a este estudio debido a que son comercialmente inexistentes en el mercado nacional para esas potencias, debido a esta razón las pruebas se hacen con control ON/OFF y de frecuencia para determinar el comportamiento del circuito hidráulico de referencia para el estudio.

4.2. Modelación matemática

Para la modelación del sistema es necesario realizar un resumen de condiciones de modelamiento.

- Se aplica control ON/OFF.
- Se aplica a bombas periféricas y bombas centrífugas
- El circuito de estudio es el mostrado en el Gráfico N° 7
- Son requeridos consumo de energía y comportamiento de elementos.
- Se tomará en cuenta la presión positiva del suministro de agua.
- Se utilizará el demo de una software de modelación matemático (Matlab)

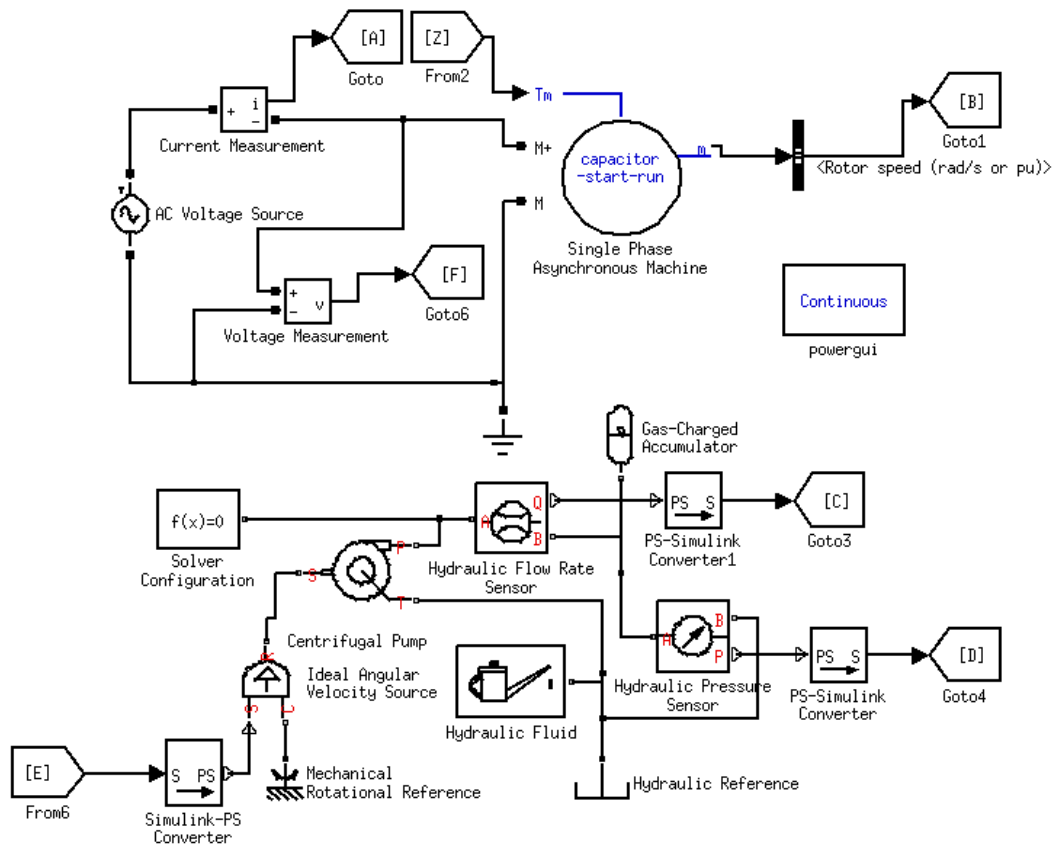


Gráfico N° 7: Circuito básico de estudio

Fuente: Propia (2013)

Mediante la modelación ANEXO 4 muestra los niveles de corriente que el motor consume durante su funcionamiento con control ON/OFF por medio del

presóstato como se encuentra mostrado en el Gráfico N° 8 y el valor RMS o eficaz de la señal de corriente al nivel nominal de voltaje de funcionamiento.

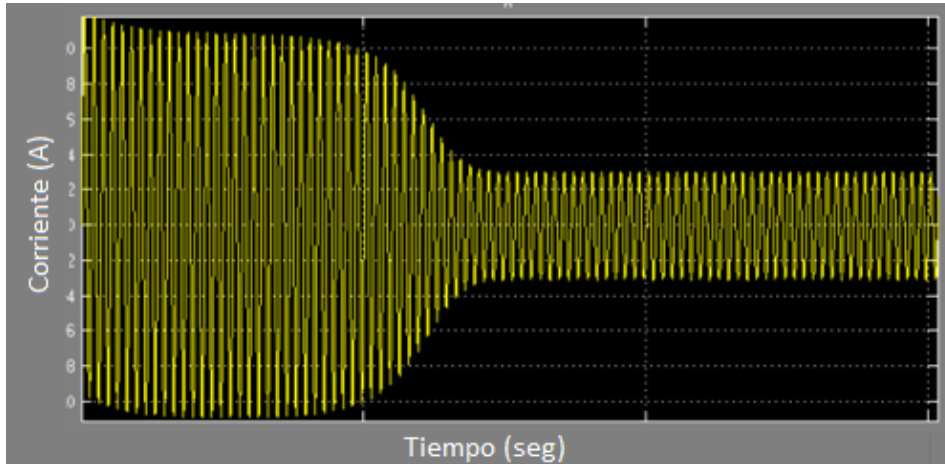


Gráfico N° 8: Comportamiento de la corriente del motor
Fuente: Propia (2013)

Durante este proceso de carga del acumulador hidráulico a gas se puede observar el comportamiento del caudal de la bomba periférica como se muestra en el Gráfico N° 9.

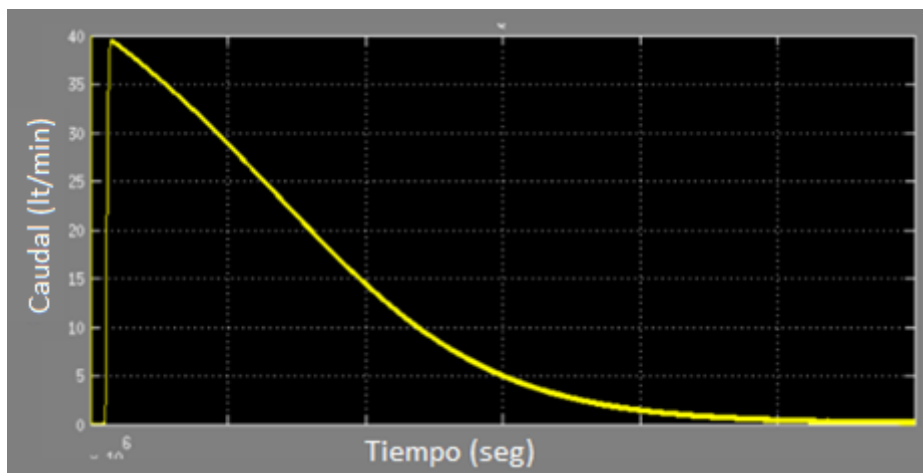


Gráfico N° 9: Carga de acumulador
Fuente: Propia (2013)

El consumo de energía de la bomba periférica y de la bomba JET se encuentra mostrada en el Gráfico N° 10.

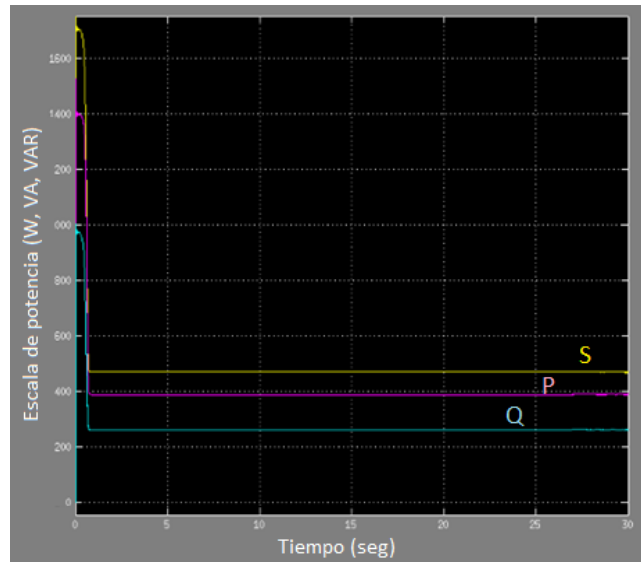


Gráfico N° 10: Consumo de energía
Fuente: Propia (2013)

Los resúmenes del proceso se muestran en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7: Resumen energético de simulación con control ON/OFF.

	S (VA-h)	P (W-h)	Q (VAR-h)
Modelado	3,386	2,899	1,892

Fuente: Propia.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

4.3. Pruebas de laboratorio

Para la experimentación es necesario realizar un resumen de condiciones de modelamiento para que sean las mismas aplicables a la prueba del laboratorio.

- La potencia del variador debe ser el 30% más que la potencia del motor.
- Se aplica control ON/OFF y Variación de frecuencia.
- Se aplica a bombas periféricas y bombas centrífugas
- El circuito de estudio es el mostrado en el Gráfico N° 11.
- Son requeridos consumo de energía y comportamiento de elementos.
- Se toma en cuenta la presión positiva del suministro de agua.
- Se utiliza el analizador de carga AEMC 3945 con su mayor resolución.
- Todos los datos serán analizados en una hoja de cálculo.
- Se utiliza la metodología del capítulo 3.

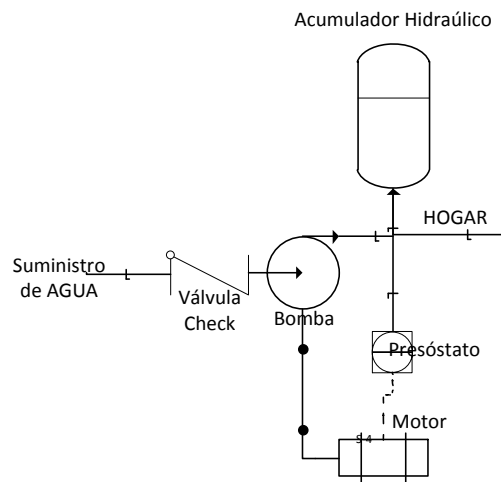


Gráfico N° 11: Circuito hidráulico para pruebas de laboratorio
Fuente: Propia (2013)

4.3.1. Control ON/OFF arranque directo

Mediante las pruebas de laboratorio en ANEXO 5 se muestra los niveles de corriente que el motor consume durante su funcionamiento con control ON/OFF por medio del presostato como se encuentra mostrado en el Gráfico N° 12.

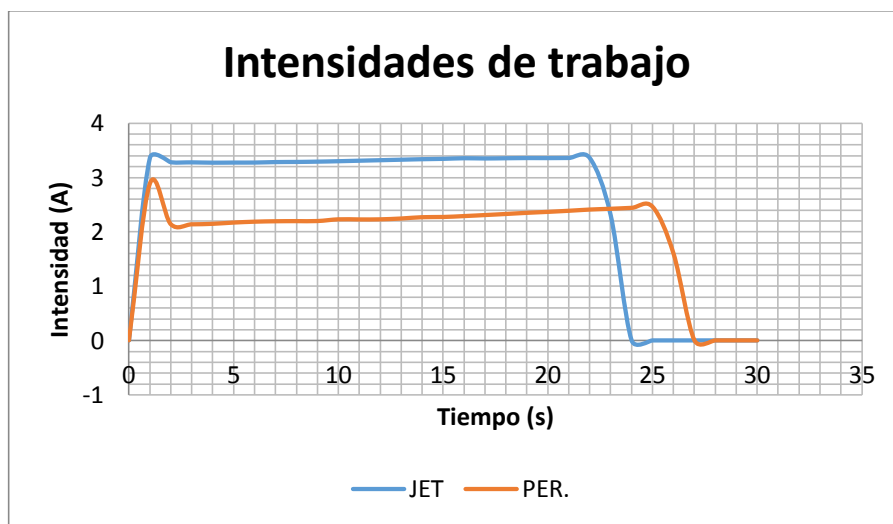


Gráfico N° 12: Comportamiento de la corriente de motores.
Fuente: Propia (2013)

Durante este proceso de carga del acumulador hidráulico a gas se puede observar el comportamiento de carga de depósito de las dos bombas, tanto periférica como JET como se muestra en el Gráfico N° 13.

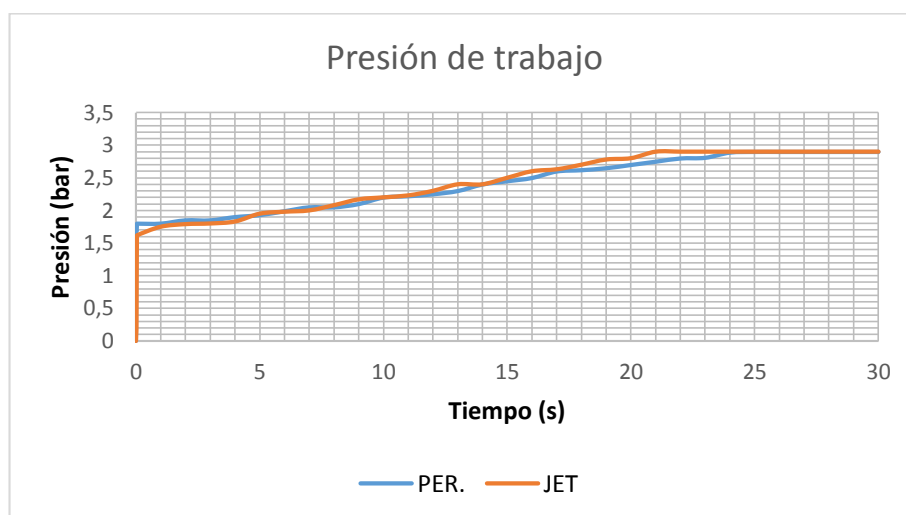


Gráfico N° 13: Carga de acumulador.
Fuente: Propia (2013)

El consumo de energía de la bomba periférica y de la bomba JET se encuentra mostrado en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8: Resumen de potencias y consumo energético de bombas con control ON/OFF.

	VA	W	VAR	VA-h	W-h	VAR-h
Periférica	485,09	459,85	153,34	3,46	3,25	1,14
JET	690,99	627,12	259,78	4,41	4,01	1,66

Fuente: Propia.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

4.3.2. Variador de frecuencia

Mediante las pruebas de laboratorio en ANEXO 5 se muestra los niveles de corriente que el motor consume durante su funcionamiento con variador de frecuencia y rampa de aceleración de 6 segundos como se encuentra mostrado en el Gráfico N° 14.

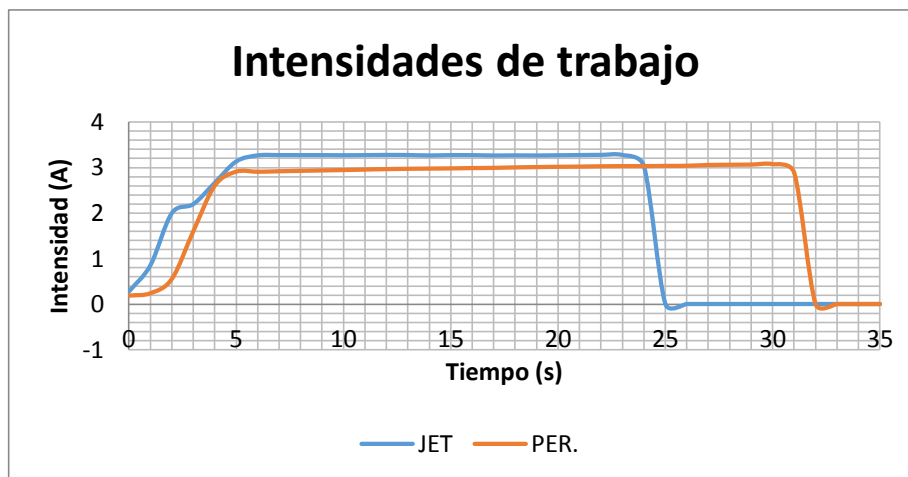


Gráfico N° 14: Comportamiento de la corriente de motores.
Fuente: Propia (2013)

Durante este proceso de carga del acumulador hidráulico a gas se puede observar el comportamiento de carga de depósito de las dos bombas, tanto periférica como JET como se muestra en el Gráfico N° 15.

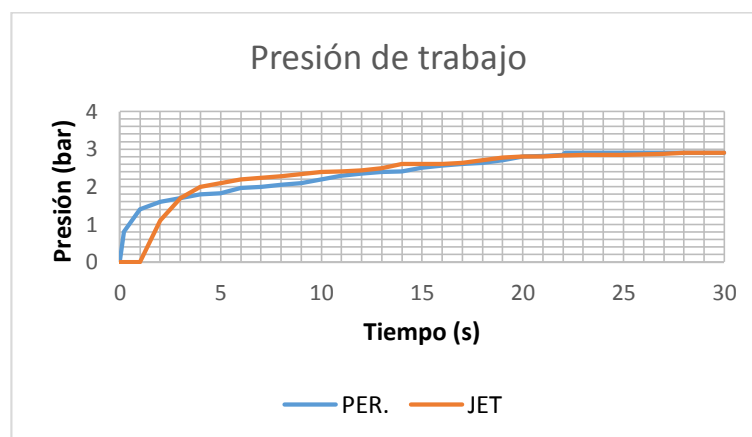


Gráfico N° 15: Carga de acumulador.
Fuente: Propia (2013)

El consumo de energía de la bomba periférica y de la bomba JET se encuentra mostrado en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9: Resumen de potencias y consumo energético con variador de frecuencia.

	VA	W	VAR	VA-h	W-h	VAR-h
Periférica	576,21	297,44	-493,01	5,17	2,65	-4,43
JET	643,11	343,31	-543,01	4,41	2,31	-3,74

Fuente: Propia.

Elaborador por: Freddy Salazar (2013)

4.4. Análisis de resultados

La validación de datos de realizada en ANEXO 6 se muestra que la relación entre los datos simulados y los de laboratorio tienen un nivel de confianza una relación del 95%. Por tanto son aplicables para este caso de estudio.

En el ítem “Suministro de Agua Potable en la Urbanización Nueva Vida” se establece dos condiciones de análisis:

4.4.1. Caso N° 1: “Existencia de suministro de agua potable”.

Haciendo un relación al análisis del ANEXO 6, se puede establecer que no existe ahorro al utilizar un control digital para bombas pequeñas potencias, si su funcionamiento es como el descrito en este estudio, como se muestra en el Gráfico N° 16.

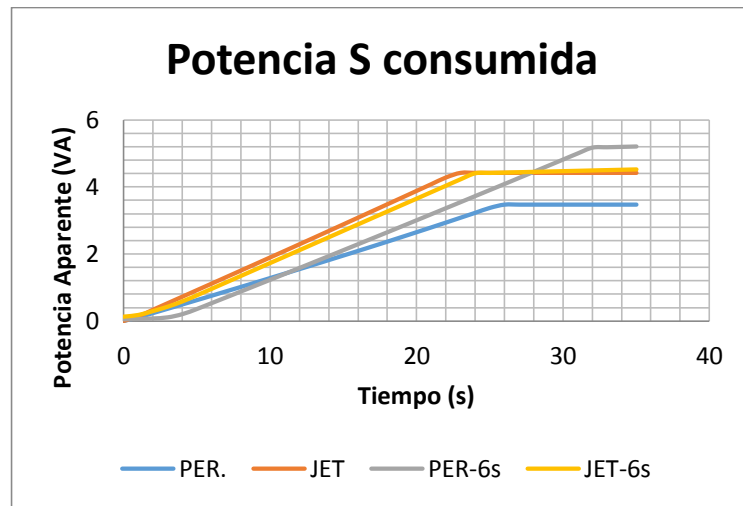


Gráfico N° 16: Gastos energéticos en relación al tipo de control
Fuente: Propia (2013)

Haciendo un relación al análisis de datos del ANEXO 5 se puede establecer que el ahorro económico por el cambio de bombas de JET a Periféricas que son de menor consumo, supone un ahorro de 3.04 USD pero es una inversión no recuperable por tanto no se las debe cambiar.

4.4.2. Caso N° 2: “Inexistencia de suministro de agua potable”.

Debido a que el control por presostato no es capaz de diferenciar la presencia o no del suministro de agua potable este obliga a la bomba a trabajar en

condiciones adecuadas lo cual establece que el sistema de control actual bajo estas condiciones es energéticamente inadecuado. Como se muestra en el Gráfico N° 17.

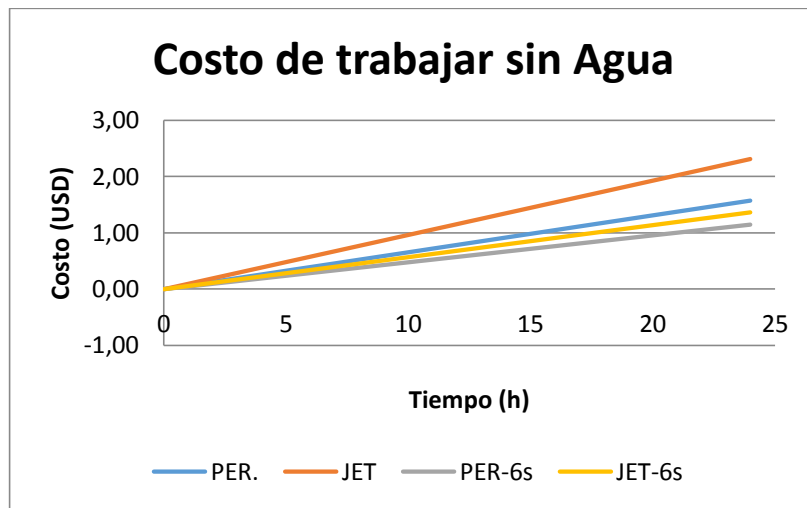


Gráfico N° 17: Costo económico de bomba sin agua
Fuente: Propia (2013)

Por tal razón es necesaria la realización de una propuesta enfocada a este caso de estudio mejorando el sistema actual de control.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1. TITULO

Modificación del circuito de control de bombas centrífugas para uso doméstico.

5.2. JUSTIFICACION

El calentamiento global está provocando la reducción del caudal de agua en la Urbanización Nueva Vida, obligando a los habitantes a la colocación de bombas centrífugas de uso doméstico, para proveerse de la cantidad necesaria de líquido vital para sus actividades diarias, esto causa más gasto de energía y que no colabora con la prevención del calentamiento global.

Por tal razón, es necesario establecer un circuito de control energéticamente adecuado para usar en bombas centrífugas de uso doméstico bajo cualquier condición de trabajo generando ahorro económico y energético.

Esto permitirá a los habitantes de la Urbanización Nueva vida de la ciudad de Latacunga, tomar decisiones que vayan en su beneficio.

Y establecer una solución adecuada en zonas que presenten variables con similares proporciones y características.

Esta propuesta es importante debido a que no existe una solución similar aplicada a la Urbanización Nueva Vida.

Esta propuesta es factible de ejecutarse ya que se dispone de la tecnología y conocimiento necesario en el país y bajo las condiciones adecuadas supone un importante ahorro económico para los usuarios.

5.3. OBJETIVO

Modificar el circuito de control de bombas centrífugas para uso doméstico que sea capaz de determinar la ausencia del suministro de agua potable por medio de la presión aguas arriba de la válvula anti-retorno (Check).

5.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para esto se requerirá de elementos secundarios electromecánicos como son:

El relé o relevador.- Según Wikipedia (2013), es:

Un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limit switch, según Wikipedia (2013), son: “dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil.”

http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera

Según MSP (2009), el relé temporizador “a la conexión permite realizar una temporización a partir del instante de conexión de su bobina. Normalmente suele aportar dos contactos temporizados, una NA y otro NC.”

5.5. DESCRIPCION DE LA PROPUESTA

Utilizando un sensor adecuado se puede establecer el corte de suministro de agua por su presión. Para evitar que la bomba de agua trabaje cuando el suministro de agua potable sea inexistente, sea esta cualquier modelo, conectada directamente a la línea de suministro de agua potable y controlada por un presóstato, se le debe adecuar el circuito de control como el que se muestra a continuación en el Gráfico N° 18. Donde en el presóstato debe ser adecuado para sensar las presiones más bajas posibles.

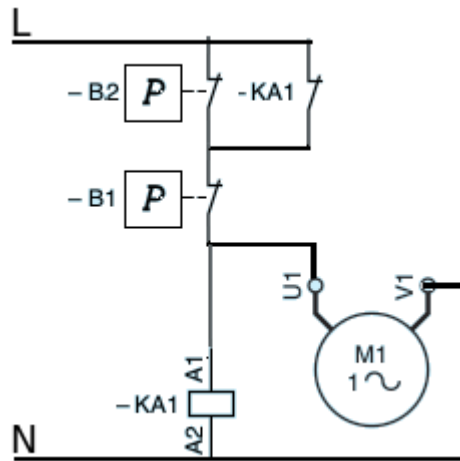


Gráfico N° 18: Circuito básico de protección contra pérdidas del servicio de agua potable
Fuente: Propia (2013)

Donde la B1 es el presóstato de la bomba, mientras que B2 es el presóstato modificado y colocado antes de bomba anti-retorno o Check. El funcionamiento del circuito se detalla a continuación.

1. El presostato es el sensor que controlará la bomba tanto en la presión superior así como en la presión inferior.
2. El interruptor B2 proviene de un sensor, puede ser aptado o comprado para ese fin y cerrará el interruptor cuando la presión sea mayor a la especificada y abrirá el interruptor cuando la presión sea menor a la especificada.
3. El contacto KA1 enclava eléctricamente la señal de voltaje debido a que cuando la bomba succione generará presiones negativas haciendo que el sensor de señal de falta de agua mienta su condición.
4. Cuando el presóstato B1 sienta que la presión a llegado al máximo seteado el contacto se abre, apagando el relé y consiguientemente el motor.

Una variación de este circuito es el mostrado en el Gráfico N° 19, donde se utiliza un relé ON DELAY que tiene la propiedad de proteger la bomba en caso de que el suministro de agua se agote en mitad de la carga del acumulador.

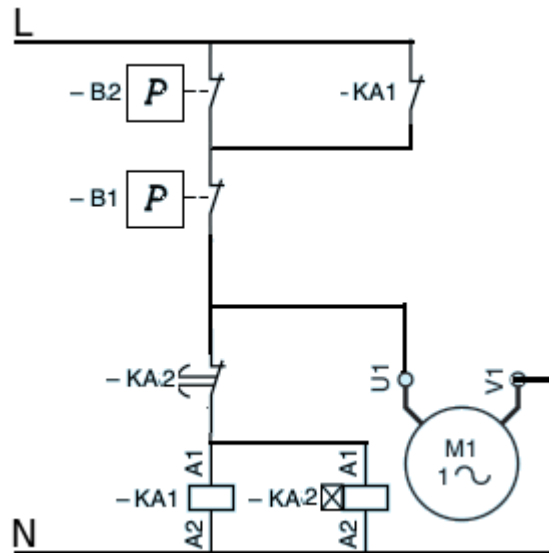


Gráfico N° 19: Circuito de protección contra pérdidas del servicio de agua potable
Fuente: Propia (2013)

- El funcionamiento es similar con la anterior con un añadido que el relé temporizador ON DELAY está setado al tiempo que termina de cargar depósito.
- Si por alguna razón el tiempo se extiende como puede ser uso o corte del suministro de agua potable el temporizador apaga el circuito de control y por tanto la bomba.
- Si se extiende el tiempo por uso del suministro de agua entonces el sensor marcará la presión de suministro haciendo que este circuito funcione de nuevo y encendiendo la bomba para correr un nuevo tiempo.
- Seguirá en ciclos continuos hasta que el presostato marque la presión máxima apagando la bomba.
- Si se extiende por ausencia del suministro de agua potable entonces el sensor abrirá el circuito evitando que la bomba funcione cuando no dispone de agua.

5.5.1. Impacto económico

Para el establecimiento del período de recuperación se realiza el circuito del Gráfico N° 18. En el Gráfico N° 20 se establece el VAN y TIR en función de la cantidad de horas al años sin suministro de agua potable.

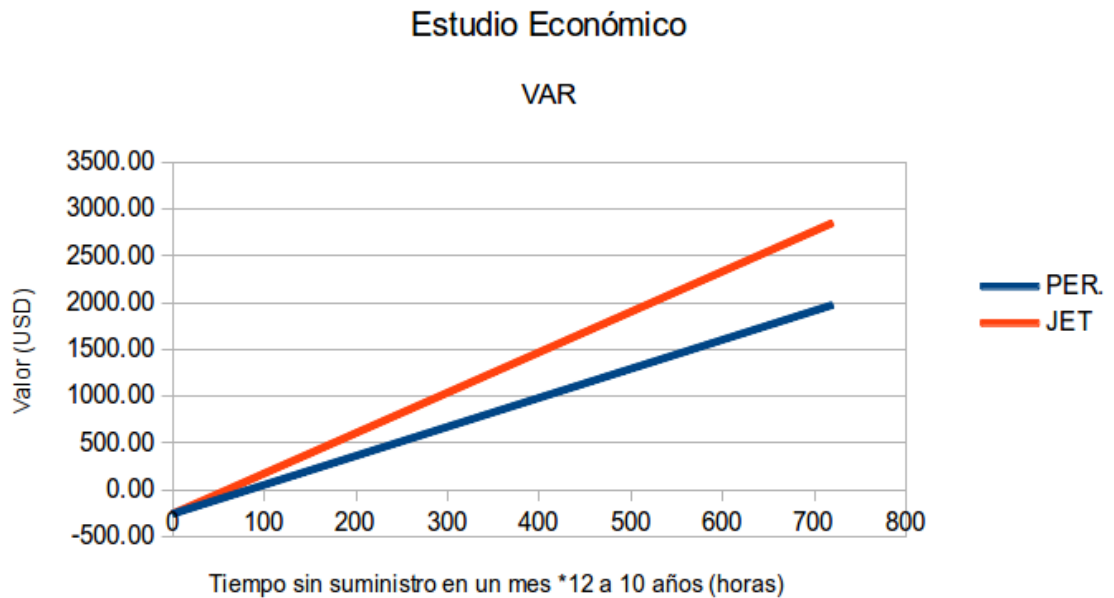


Gráfico N° 20: Ahorro en función del tiempo a 10 años
Fuente: Propia (2013)

En esta gráfica representa el ahorro de un usuario con el sistema si su bomba no funciona durante la escases de suministro de agua.

Si un usuario tiene un abomba periférica y siempre le cortan el suministro de agua 5 horas todos los días del mes, entonces y así durante 10 años que es el tiempo de vida útil del presóstato se tendría un ahorro de:

$$5 * 30 = 150 \text{ horas al mes}$$

Es decir, que su ahorro a 10 años sería de 250 dólares.

La desventaja sería que no se recupera la inversión de 26 dólares del presóstato si se tiene cortes de suministro de agua inferiores de 100 horas al mes.

5.5.2. Impacto social

El Buen Vivir se cumple, evitando que los ciudadanos gasten recursos de manera innecesaria, a la vez, que la energía que no se desperdicia se la pueda entregar a las personas que verdaderamente la requieren.

5.5.3. Impacto ambiental

Al no desperdiciar energía, colabora con el medio ambiente evitando con contaminación como se muestra en el Gráfico N° 21 reduciendo el calentamiento global.

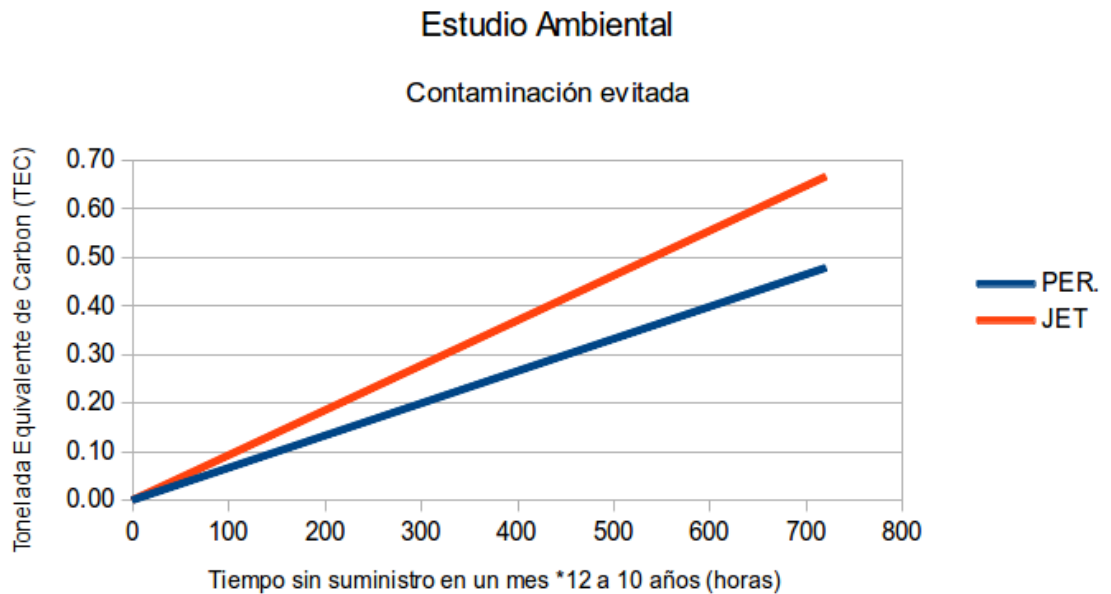


Gráfico N° 21: Contaminación evitada a 10 años
Fuente: Propia (2013)

CONCLUSIONES.

- Los sistemas de control son solo una parte de la eficiencia energética, debido que en la actualidad se está enfocando en la hidráulica, sumado a motores de alto rendimiento, esto se está aplicando a todas las áreas, en especial al industrial lo que permite ahorrar hasta un 50% de energía.
- De los sistemas de control estudiados muchos tuvieron que ser excluidos por ser imposible de encontrarlos en el mercado nacional o por su elevado precio que lo hace imposible de sostenerlo económicamente y una posterior aplicación real, donde se identifica los sistemas de control por variador de frecuencia, arrancador suave, arranque directo, de los cuales se selecciona Variador de frecuencia y arranque directo como pertinentes para el uso en bombas centrífugas de uso doméstico en la urbanización Nueva Vida ciudad de Latacunga.
- Para determinar un sistema de control energéticamente eficiente no se puede analizar únicamente teniendo referencia a la potencia real debido a que ésta es la que se paga, sino también a la potencia aparente S (VA), ya que algunos sistema de control (variador de frecuencia) tiene menores consumos de potencia Real P (W) pero su factor de potencia (fp) es menor a 0.5 capacitivo.
- Los sistemas de control por variación de frecuencia no son recomendables, ya que estos consumen 18 % más energía aparente (VA) que los sistemas de control on/off actuales en bombas periféricas y en bombas JET no se observa diferencia en el gasto energético con o sin en control por variador de frecuencia.

- Cuando existe el suministro de agua potable no es posible realizar ahorro energético de la situación actual, debido a que las bombas no poseen arranques difíciles y no se requiere que la bomba funcione con diferente velocidad a la nominal.
- En algunos casos, como en este estudio por sus características lo último en tecnología no necesariamente representa ahorro económico, más bien es posible mejorar el sistema actuales de control dotándolo de mayor eficiencia energética, mientras su comportamiento esté dentro de determinados rangos.
- A pesar de que la bomba periférica es energéticamente más eficiente no justifica financieramente el cambio de las actuales bombas JET debido a que no es rentable.
- Cuando no existe el suministro de agua potable se establece que el control por arranque directo es energéticamente ineficiente, debido a que, es incapaz de establecer la no presencia de fluido vital.

RECOMENDACIONES

- Estudiar la posibilidad de diseñar un circuito electrónico capaz de ser producido en serie para reducir el costo de la aplicación de la propuesta.
- No excluir en la aplicación de la propuesta el presostato, en virtud que, éste interviene directamente el control de la bomba.
- Realizar un estudio de la pertinencia de aplicar variadores de frecuencia de manera masiva en hogares, debido a sus características de funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acebes, Luis. *Tema1*[en línea]:mayo del 2006 [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf>.
- Aujla, J.S.; Arora, A. S.; Kumar, Rajesh. “Improving energy efficiency in pumping system : a case study of an educational institute”. *Journal of Environmental Research And Development* [en línea]. Enero-Marzo 2011, vol. 5, no. 3A [ref. 17 mayo 2013], pp. 717-725. Disponible por Internet: <<http://www.jerad.org/ppapers/dnload.php?vl\x3d5\x26is\x3d3A\x26st\x3d717>>. PARIS ISSN 0973-6921.
- British Pump Manufacturers Association. *Variable Speed Driven Pumps- Best Practice Guide* [en línea] [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www.bpma.org.uk/filemanager_net/files/gpg344_variable_speed_best_practice_for_pumps.pdf>.
- Centro Integrado de Formación Profesional (MSP). *Relés Temporizadores* [en línea]. [ref. 02 diciembre 2013]. Disponible por Internet: <http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=46&id_sec=7>
- Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud(DGPLADES). *Hoja de Tabulación* [en línea]. [ref. 17 mayo 2013], pp.1 - 2. Disponible por Internet: <http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/HOJA_TABULACION.pdf>.
- DOE’s Federal Energy Management Program. *How to Select an Energy-Efficient Centrifugal Pumping System*[en línea]:Julio 2000 [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www1.eere.energy.gov/femp//pdfs/centrifugal_pump.pdf>.
- Durmus, Kaya; Yagmura, Alptekin; Yigitb, Suleyman; Canka, Fatma; Erenb, Salih; Celikb, Cenk. “Energy efficiency in pumps”. *Energy Conversion and Management* [en línea]. 2008, vol. 49, no. 6 [ref. 17 mayo

- 2013], pp. 1662-1673. Disponible por Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407003998>>. ISSN: 0196-8904.
- Ecuador. Constitución de la república del Ecuador, de 25 de julio del 2008. *Constitución de la república del Ecuador*, 20 de octubre del 2008, núm. 449, p. 217.
 - Empmaps. *Inversión y resultados esperados* [en línea] 12 de marzo 2012. [ref. 17 de noviembre del 2013]. Disponible por Internet. <<http://www.aguaquito.gob.ec/inversion-y-resultados-esperados>>.
 - Eskander, Mona; Zaki, Aziza. “A maximum efficiency-photovoltaic-induction motor pump system”. *Renewable Energy* [en línea]. 1996, vol. 10, no. 1 [ref. 17 mayo 2013], pp. 53-60. Disponible por Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960148196000043>>. ISSN: 0960-1481.
 - Gobierno Victoria. *Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems*[en línea]:10 Diciembre 2010 [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Best_Practice_Guide_Pump.pdf>.
 - Goulburn, Murray. *Case Study: Energy Efficiency Best Practice Pumping Systems* [en línea]. 2010. [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/murray_goulburn_pump_systems.pdf>.
 - Hydraulic Institute; Europump; and the U.S. Department of Energy’s (DOE) Industrial Technologies Program. *Variable Speed - Executive Summary* [en línea] [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/variable_speed_pumping.pdf>.
 - Kenneth, J. “Bombas: selección, uso y mantenimiento”. Chemical [en línea]. 1998, edic. 3, p. 40, [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <<http://web.ist.utl.pt/ist11061/leq-II/Documentos/OpUnitarias/Bombas.pdf>>.

- Lopera, Juan; Ramirez, Carlos; Zuluaga, Marda; Ortiz, Jennifer. “El método analítico como método natural”. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* [en línea]. 2010, vol. 25, no. 17 [ref. 17 mayo 2013], pp. 502. Disponible por Internet: <<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/nomadas/25/juandiegolopera.pdf>>. ISSN 1578-6730.
- Pérez, Astrid; Velázquez, Santia. *Método de investigación experimental* [en línea]. [ref. 17 mayo 2013], pp. 1-40. Disponible por Internet: <<http://www.slideshare.net/santiav/mtodo-experimental-en-la-investigacin>>.
- Pintulac. *Bombas de agua* [en línea]. 12 de marzo 2013. [ref. 17 de noviembre del 2013]. Disponible por Internet. <<http://www.maquinariaecuador.com/bombasagua.php>>
- Ramírez, Encarnación. *Tema 6 El método experimental* [en línea]. [ref. 17 mayo 2013], pp. 1-16. Disponible por Internet: <<http://www4.ujaen.es/~eramirez/Descargas/tema6>>.
- Real Academia Española.[en línea]2001. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: < www.rae.es/rae.html>
- Ruiz, Ramón. *Historia y evolución del pensamiento científico* [en línea]. 2006 [ref. 17 mayo 2013], pp. 1-181. Disponible por Internet: <www.eumed.net/libros-gratis/2007a/257/257.zip>. ISBN-13: 978-84-690-6369-9.
- Sahoo, Trinath. “Strategies to Increase Energy Efficiency of Centrifugal Pumps”. *Centrifugal Pumps*[en línea]. 2012. 5. Febrero 24 de 2012 [ref. de 17 mayo 2013]. Disponible en Web: <<http://www.intechopen.com/books/centrifugal-pumps/strategies-to-increase-energy-efficiency-of-centrifugal-pumps>>. ISBN 978-953-51-0051-5
- Sampieri, R. Collado, C. Lucio, P. *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- Schneider Electric USA. “Preventive Maintenance and Troubleshooting Guidelines for Class 9013F and 9013G Pressure Switches”. *Data Bulletin*.

2007. no. 9 [ref. 20 noviembre 2013]. Disponible por internet: <www.us.SquareD.com>.
- Suehrcke, H.; Appelbaum, J.; Breshef, B. “Modelling a permanent magnet DC motor/centrifugal pump assembly in a photovoltaic energy system”. *Solar Energy* [en línea]. 1997, vol. 57, no. 1-3 [ref. 17 mayo 2013], pp. 42. Disponible por Internet: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X9600117X#COR1>>. ISSN: 0038-092X.
 - Universidad Nacional Experimental del Táchira. *LAB-1-95*[en línea]. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <<http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>>
 - Villacis, B. *Se reduce el tamaño de los hogares ecuatorianos* [en línea] 30 de agosto del 2011.. [ref. 30 de noviembre del 2013]. *Disponible por internet*. <http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=422%3Ase-reduce-el-tamano-de-los-hogares-ecuatorianos&catid=68%3Aboletines&Itemid=51&lang=es>
 - WEG. *Arrancadores Suaves* [en línea].[ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: < <http://www.apthus-hmi.com/archivos/WEG/Catalogos/Arrancadores%20estaticos/SSW07%20Catalogo.pdf> >
 - Wikipedia. *Bomba hidráulica* [en línea] 9 de junio del 2013. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica>
 - Wikipedia. *Factor de potencia* [en línea] 2 noviembre 2013. [ref. 02 diciembre 2013]. Disponible por Internet: < http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia>
 - Wikipedia. *Formulario* [en línea] 10 de mayo 2013. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: < <http://es.wikipedia.org/wiki/Formulario>>
 - Wikipedia. *Potencia eléctrica* [en línea] 15 noviembre 2013. [ref. 02 diciembre 2013]. Disponible por Internet: < http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_electrica>

- Wikipedia. *Relé* [en línea] 21 noviembre 2013. [ref. 02 diciembre 2013]. Disponible por Internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>>
- Wikipedia. *Sello hidráulico* [en línea] 2 de agosto 2011. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sello_hidr%C3%A1ulico>
- Wikipedia. *Sensor de contacto* [en línea] 06 abril 2013. [ref. 02 diciembre 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera>
- Wikipedia. *Tensión mecánica* [en línea] 09 de marzo 2013. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_mec%C3%A1nica>
- Wikipedia. *Válvula hidráulica* [en línea] 18 de marzo 2013. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_hidr%C3%A1ulica>
- Wikipedia. *Variador de frecuencia* [en línea] 12 de julio 2013. [ref. 17 mayo 2013]. Disponible por Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia>
- Zhang, He; XIA, Xiaohua; Zhang, Jiangfeng. “Optimal sizing and operation of pumping systems to achieve energy efficiency and load shifting”. *Electric Power Systems Research* [en línea]. 2011, vol. 48, no. 9 [ref. 17 mayo 2013], pp. 1743-1858. Disponible por Internet: <<http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-09222011-110333/unrestricted/dissertation.pdf>>. ISSN: 0378-7796.