



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE MANTENIMIENTO

“Análisis de la eficiencia energética en un sistema de bombeo accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia”.

TRABAJO DE TITULACIÓN:
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Pérez Guamán, José Darío
Rivera Chávez, Alex Danilo
DIRECTOR: Ing. MARCO SANTILLÁN GALLEGOS

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Alex Danilo Rivera Chávez y José Darío Pérez Guamán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA ESPOCH

Nosotros, Alex Danilo Rivera Chávez y José Darío Pérez Guamán declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 04 de julio de 2019



José Darío Pérez Guam
060465964-9



Alex Danilo Rivera Chávez
060465655-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE MANTENIMIENTO

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica, **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO DE MANERA DIRECTA Y CONTROLADO POR UN SISTEMA DE VARIACIÓN DE FRECUENCIA**, realizado por los señores: **ALEX DANILO RIVERA CHÁVEZ Y JOSÉ DARÍO PÉREZ GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Marco Haro Medina PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>2019/06/19</u>
Ing. Marco Santillán Gallegos DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>2019/06/19</u>
Ing. Gabriel Moreano Sánchez MIEMBRO DE TRIBUNAL		<u>2019/06/19</u>

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Dolores Guamán por el trabajo, sacrificio, amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más. Toda mi gratitud y amor a ti por estar incondicionalmente.

A mis cuatro hermanos Mayra, Cristian, Nelson y Viviana por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida y aportaron a mi formación profesional y como ser humano.

JOSÉ DARÍO PÉREZ GUAMÁN

Dedico esta tesis con todo el amor y cariño a mis padres Danilo Rivera y Fanny Chávez que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para llegar a ser un profesional de la patria. Gratitud a ellos por sus enseñanzas y cariño.

A mis queridos hermanos Maricela, Vinicio, Rodrigo y Mayra por su cariño y apoyo incondicional, que más que hermanos son mis verdaderos amigos.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento infinito a mi novia Johana por ser el apoyo incondicional en mi vida, que con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos.

ALEX DANILO RIVERA CHÁVE

AGRADECIMIENTO

A la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a toda su planta docente que con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han logrado que pueda concluir mi formación profesional con éxito, a nuestro Director Ing. Marco Santillán y Asesor Ing. Gabriel Moreano por guiarme y formar parte de otro objetivo alcanzado.

JOSÉ DARÍO PÉREZ GUAMÁN

A la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a toda su planta docente ya que cada uno ha contribuido en mi desarrollo profesional aportando conocimientos y experiencia, en especial a nuestro Director Ing. Marco Santillán por el apoyo y apertura para la realización del trabajo de titulación y Asesor Ing. Gabriel Moreano por guiarme en el desarrollo del trabajo.

ALEX DANILO RIVERA CHÁVEZ

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. GENERALIDADES.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Eficiencia energética	5
2.2 La eficiencia energética en sistemas de bombeo.....	5
2.3 Ahorro de energía en sistemas de bombeo	5
2.4 Consumo energético.....	5
2.5 ¿Cómo se mide el consumo de energía?	6
2.6 ¿Cómo calcular el consumo energético de una vivienda?.....	6
2.7 Sistema de bombeo.....	6
2.8 Arranque directo de sistemas de bombeo.....	6
2.9 Arranque mediante un sistema de variación de frecuencia	7
2.10 ¿Qué beneficios tiene instalar un variador de frecuencia en un sistema de bombeo?	8
2.10.1 <i>¿Cómo funciona el variador de frecuencia?</i>	8
2.11 Controlador lógico programable Simatic S7-1200.....	9
2.11.1 <i>Beneficios de comunicación SIMATIC S7-1200</i>	9
2.11.2 <i>Altas prestaciones SIMATIC S7-1200</i>	10
2.12 Contactor tripolar METASOL	10
2.12.1 <i>Características contactor trifásico</i>	11
2.13 Pantalla táctil monocromática KTP600.....	11
2.13.1 <i>Principales características de la pantalla KTP-700</i>	11
2.14 Fuente de alimentación LOGO Power	12

2.14.1	<i>Ventajas de la fuente de alimentación</i>	13
2.15	Módulo de medición y registro de energía (Energy Meter SM 1238)	13
2.15.1	<i>Características</i>	13
2.16	Variador de frecuencia SINAMICS G110	14
2.16.1	<i>Ventajas del variador de frecuencia G110</i>	14
2.17	Electrobomba centrífuga PEDROLLO CPM 660	15

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	16
3.1	Diseñar y construir un módulo educativo de sistema de bombeo accionado en las dos condiciones de funcionamiento, para monitorear parámetros eléctricos ...	16
3.1.1	<i>Sistema estructural</i>	16
3.1.2	<i>Sistema hidráulico</i>	20
3.1.3	<i>Sistema de automatización</i>	26
3.1.4	<i>Sistema eléctrico</i>	37

CAPÍTULO IV

4.	MEDICIÓN, ANÁLISIS Y RESULTADOS	42
4.1	Realizar tablas de comparación de los parámetros eléctricos medidos en arranque directo y mediante variación de frecuencia	42
4.2	Costo del consumo de energía en el sistema de bombeo.....	55
4.3	Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual para una vivienda, accionado mediante arranque directo y variación de frecuencia	56
4.3.1	<i>Accionado en modo directo</i>	56
4.3.2	<i>Accionado mediante sistema de variación de frecuencia</i>	57
4.4	Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual para un edificio, accionado mediante arranque directo y variación de frecuencia	58
4.4.1	<i>Accionado en modo directo</i>	58
4.4.2	<i>Accionado mediante sistema de variación de frecuencia</i>	59
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
	Conclusiones.....	61
	Recomendaciones	62

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Partes del PLC S7-1200.....	9
Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 1214AC/DC.....	10
Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de la pantalla KTP 700.....	12
Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del Módulo de medición y registro de energía.....	13
Tabla 5-2: Especificaciones técnicas del variador SINAMICS G110	14
Tabla 6-2: Pasos para resetear el variador SINAMIC G110.....	15
Tabla 7-2: Características de las Electrobombas PEDROLLO CP 660.....	15
Tabla 1-3: Análisis del material para la estructura.....	17
Tabla 2-3: Descripción del panel básico de operador BOP	35
Tabla 1-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz; 3 válvulas abiertas”.	43
Tabla 2-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz 2 válvulas abiertas”	45
Tabla 3-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz; 1 válvula abierta”	47
Tabla 4-4: Datos de parámetros eléctricos a “45 Hz; 3 válvulas abiertas”	49
Tabla 5-4: Datos de parámetros eléctricos a “35 Hz; 2 válvulas abiertas”	51
Tabla 6-4: Datos de parámetros eléctricos a “25 Hz; 1 válvula abierta”	53
Tabla 7-4: Resultado del consumo de energía eléctrica.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Conexiones de la placa de bornes y sentidos de giro de rotación obtenidos.....	7
Figura 2-2: Controlador lógico programable Simatic S7-1200	9
Figura 3-2: Contactor trifásico METASOL	10
Figura 4-2: Pantalla táctil monocromática KTP600	11
Figura 5-2: Fuente de alimentación LOGO Power	12
Figura 6-2: Módulo de medición y registro de energía.....	13
Figura 7-2: Variador de frecuencia G110	14
Figura 8-2: Electrobomba PEDROLLO CP 660	15
Figura 1-3: Diseño de la estructura.....	16
Figura 2-3: Presentación del módulo en 3D	17
Figura 3-3: Estructura con tubo cuadrado de 25x25x1.2mm.....	17
Figura 4-3: Estructura con tubo cuadrado de 25x25x1.5 mm.....	17
Figura 5-3: Corte del tubo cuadrado en diferentes dimensiones.....	19
Figura 6-3: Corte y punto de suelda a 45°	19
Figura 7-3: Construcción del módulo	19
Figura 8-3: Estructura pintada con fondo automotriz	20
Figura 9-3: Diagrama de succión y descarga de la bomba	21
Figura 10-3: Anclaje de la bomba de agua a la estructura	24
Figura 11-3: Recipientes montados en la estructura	25
Figura 12-3: Instalación de bushing en succión.....	25
Figura 13-3: Instalación de la salida de estanque en el recipiente superior	26
Figura 14-3: Instalación de las tres llaves de agua en la descarga	26
Figura 15-3: Segmento de inicialización	26
Figura 16-3: Segmento de normalizado y escalado	27
Figura 17-3: Rango 1 activación de la bomba a 25 Hz.....	28
Figura 18-3: Rango 2 activación de la bomba a 35 Hz.....	28
Figura 19-3: Rango 3 activación de la bomba a 45 Hz	29
Figura 20-3: Segmento activación de las salidas hacia el variador.....	29
Figura 21-3: Activación del contactor modo directo	29
Figura 22-3: Encendido de la lámpara roja de paro	30
Figura 23-3: Encendido de la lámpara verde modo directo	30
Figura 24-3: Encendido de la lámpara verde modo variador.....	30
Figura 25-3: Encendido de la lámpara verde HMI	31
Figura 26-3: Normalizado y escalado de los datos del analizador de energía SM123 480.....	31

Figura 27-3: Segmento monitoreo de tiempo	32
Figura 28-3: Cálculo de potencia media y almacenamiento de archivo histórico	33
Figura 29-3: Programación de la pantalla táctil	34
Figura 30-3: Módulo de alimentación	37
Figura 31-3: Módulo de comunicación.....	38
Figura 32-3: Entradas digitales del PLC.....	38
Figura 33-3: Conexión de las salidas digitales	39
Figura 34-3: Terminales para el circuito de potencia en arranque directo.....	39
Figura 35-3: Conexión de la entrada analógica	40
Figura 36-3: Conexión para comunicación entre el variador con el potenciómetro	40
Figura 37-3: Conexión de las salidas digitales	41
Figura 39-3: Terminales para el circuito de potencia en arranque por variador	41
Figura 1-4: Toma de datos en arranque directo	42
Figura 2-4: Toma de datos mediante variación de frecuencia	42
Figura 3-4: Consumo de energía de una vivienda	56
Figura 4-4. Consumo de energía de un edificio.	58

LISTA DE ABREVIACIONES

ACD	Entrada analógica
BOP	Panel operador básico
CPU	Unidad central de procesamiento
DIN	Entrada digital
DOUT	Salida digital
EPLAN	Software de Diseño Eléctrico
E/S	Entradas y Salidas
HMI	Interfaz Hombre Máquina
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Protocolo de internet.
PLC	Controlador Lógico Programable
Q	Señales de salida al proceso
TIA PORTAL	Automatización totalmente Integrado

LISTA DE ANEXOS

- A.** Variables de PLC S7-1200 (CPU 1214 AC/DC/RLY)
- B.** Variable de la pantalla KTP-700
- C.** Programación del variador de frecuencia SINAMICS G110
- D.** Diagrama de alimentación
- E.** Diagrama de comunicación
- F.** Diagrama de entradas digitales
- G.** Diagrama de salidas digitales mediante arranque directo
- H.** Diagrama de potencia mediante arranque directo
- I.** Diagrama de entradas analógicas
- J.** Diagrama de salidas digitales mediante variación de frecuencia
- K.** Diagrama de potencia mediante variación de frecuencia
- L.** Parámetros eléctricos del sistema de bombeo en las dos condiciones de funcionamiento.
- M.** Manual de operación del módulo educativo de sistema de bombeo en “arranque directo”
- N.** Manual de operación del módulo educativo de sistema de bombeo mediante “variación de frecuencia

RESUMEN

Se realizó el análisis de eficiencia energética en un módulo educativo de un sistema de bombeo, el cual nos permitió monitorear parámetros eléctricos en dos condiciones de funcionamiento, mediante arranque directo y controlado por un sistema de variación de frecuencia para así conocer el consumo real de energía en las dos condiciones de funcionamiento. Para ello se realizó la automatización de un módulo educativo de un sistema de bombeo en el que se utilizó un controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200, un variador de frecuencia Siemens G110, una pantalla táctil KTP700 y un analizador de energía SM1238 y esto se programó mediante un software TIA Portal V15. Se realizó el monitoreo del sistema de bombeo en arranque directo en un periodo de 12 horas, obteniendo un consumo total de energía de 2.048 kWh lo que significa un consumo a su velocidad constante del motor con una frecuencia de 60 Hz. Mientras en el segundo monitoreo, mediante un sistema de variación de frecuencia en un periodo similar de 12 horas, se consiguió reducir el consumo de energía a 0.9102 kWh, por lo cual es importante mencionar que este valor disminuye por la variación de frecuencia transmitida al motor en función del caudal requerido por el usuario. Así se realizó un análisis financiero en los dos casos presentados, dando como resultado que existe un mayor consumo de energía si se realiza el arranque directo al sistema de bombeo y el costo a pagar es de \$ 6.10 mensual, mientras que por medio de un sistema de variación de frecuencia el costo a pagar se reduce a \$ 2.70 mensual. Por lo que se llegó a la conclusión que mediante el funcionamiento del sistema con variación de frecuencia se logra un ahorro del 55.56% del consumo de energía eléctrica, así podemos afirmar que el proyecto es muy rentable económicamente. Se recomienda conocer e informarse del funcionamiento del sistema de bombeo, cuando se requiera realizar un análisis de parámetros eléctricos.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <EFICIENCIA ENERGÉTICA>, <SISTEMAS DE BOMBEO>, <AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO>, < PROGRAMACIÓN TIA PORTAL 15 (SOFTWARE)>, <CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA>.

SUMMARY

The energy efficiency analysis was carried out in an educational module of a pumping system, which allowed us to monitor electrical parameters in two operating conditions, by direct starting and controlled by a frequency variation system so as to know the actual energy consumption in the two operating conditions. For this, the automation of an educational module of a pumping system was carried out using a programmable logic controller (PLC) Siemens S7-1200, a frequency value Siemens G110, a touch screen KTP700 and an energy analyzer SM1238 and This is programmed through a software called TIA Portal V15. The monitoring of the pumping system was performed in direct start in a period of 12 hours, obtaining a total energy consumption of 2,048 kWh which means a consumption at its constant speed of the engine with a frequency of 60 Hz. While in the second monitoring, by means of a system of variation of frequency in a similar period of 12 hours, it was possible to reduce the energy consumption to 0.9102kWh, for which it is important to mention that this value decreases by the frequency variation transmitted to the motor depending on the flow rate required by the user. Thus a financial analysis was carried out in the two cases presented, resulting in a higher energy consumption if the direct start to the pumping system is made and the cost is \$ 6.10 per month, while through a system of variation of Frequently the cost to pay is reduced to \$ 2.70 per month. So we came to the conclusion that by operating the system with variation of frequency achieved a saving of 55.56% of electricity consumption, so we can say that the project is very economically profitable. It is recommended to know and learn about the operation of the pumping system, when it is necessary to perform an analysis of electrical parameters.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <ENERGY EFFICIENCY>, <PUMPING SYSTEMS>, <AUTOMATION OF PUMPING SYSTEMS>, <PROGRAMMING TIA PORTAL 15 (SOFTWARE)>, <ELECTRICAL POWER CONSUMPTION>

INTRODUCCIÓN

Encender un ordenador, iluminar nuestra casa, mantener frescos los alimentos o mantener un nivel de agua adecuado para nuestro consumo, son acciones cotidianas que las podemos hacer gracias a la energía eléctrica, pero, ¿sabemos qué es, cuál es el consumo real, se desperdicia energía en nuestros equipos o aparatos eléctricos? por otro lado, y aunque estemos más o menos acostumbrados a reciclar, ahora es el momento de aprender otra forma de contribuir a la sostenibilidad del planeta mediante la eficiencia energética, es por este motivo que necesitamos hacer un análisis de todos estos factores para conocer el consumo real de la energía de nuestra vivienda, negocio o empresa, para así disminuir la cantidad de energía utilizada para producir un producto, servicio o satisfacer las necesidades diarias en nuestro hogar, manteniendo un determinado nivel de bienestar o productividad y a menor costo; por lo que, incluye cambios tecnológicos, económicos y sobre todo la concientización por parte del usuario, es decir utilizar la energía de una manera responsable.

Siguiendo el principio de conservación de la energía en el que se indica que ésta no se crea ni se destruye, sólo se transforma de una forma en otras, se explica que la energía eléctrica pueda convertirse en energía luminosa, mecánica y térmica, en la cual se analiza la energía mecánica porque ésta es la que más absorbe energía eléctrica, pero es posible disminuir el consumo de energía eléctrica mediante equipos de control y automatización para trabajar de una manera eficiente.

Esta propuesta tecnológica está dirigida hacia la automatización y análisis de eficiencia energética de un sistema de bombeo en un módulo educativo, en dos condiciones de funcionamiento accionada de manera directa y controlada por un sistema de variación de frecuencia, en el que utilizará equipos de control como un PLC, variador de frecuencia, analizador de energía, pantalla táctil KTP 700, sensores de caudal, los cuales se programaron mediante el software TIA PORTAL V.15, y así poder analizar los parámetros eléctricos de la bomba trifásica al ponerse en marcha, durante un tiempo de 12 horas de funcionamiento en cada una de las condiciones mencionadas, esperando obtener un ahorro del consumo de energía eléctrica mediante el sistema de variación de frecuencia.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Actualmente en los sectores industrial y de vivienda se encuentran grupos de bombeo sin sistemas de control de velocidad de las bombas; es decir que el sistema funciona a velocidad constante, sin identificar el consumo del caudal, generando como consecuencias alto consumo de energía lo cual se convierte en gasto innecesario.

Existe un gran potencial para ahorrar energía y costos en la industria pues los sistemas de bombeo suponen hoy en la actualidad casi un 20% de la demanda de energía eléctrica mundial y entre el 25 y 50% del consumo de energía en ciertas instalaciones industriales. Más notable aún, lo constituyen los sistemas de riego a nivel mundial que consumen entre el 70–80% del recurso agua y alrededor de un 70% de la energía generada en el mundo. Dentro de estos sistemas, la proyección de una estación de bombeo representa un cúmulo de preguntas y problemas a resolver, tanto en el campo de la Ingeniería Hidráulica, Mecánica, Eléctrica, Electrónica, etc.; así como en el campo de la Economía. (HUGUET, 2010)

“La eficiencia energética busca proteger el medio ambiente, mediante la reducción del consumo eléctrico y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más” (FACTORENERGÍA, 2017).

Cada día son más eficaces, eficientes y especializados los sistemas que se instalan en los edificios para el control de cada detalle y de sus funciones para garantizar su correcta operación en los sistemas de bombeo. Para lograr este objetivo los equipos de automatización son una alternativa adecuada.

La medida fundamental para hacer frente a este problema es implementar estrategias de eficiencia energética que ayude a reducir el consumo innecesario de energía eléctrica mediante la implementación de equipos de control y automatización en los sistemas de bombeo.

Se realizará el análisis de eficiencia energética del sistema de bombeo mediante un módulo educativo, utilizando una bomba centrífuga trifásica 2 Hp, accionado directamente y controlada por un sistema de variación de frecuencia, así un analizador de energía monitorea parámetros eléctricos (voltaje, intensidad, potencia, frecuencia), para conocer el consumo de energía real en las dos condiciones de funcionamiento.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente en los sectores industrial y de vivienda se encuentran grupos de bombeo sin sistemas de control de velocidad de las bombas; es decir que el sistema funciona a velocidad constante, sin identificar el consumo del caudal, generando como consecuencias alto consumo de energía lo cual se convierte en gasto innecesario, debido a que no se conoce el número de consumidores que ingresan a consumir o dejan de consumir y no arrojan datos que demuestren el consumo real de energía que genera un sistema de bombeo accionado de manera directa.

Gracias a los avances tecnológicos, hoy en día existen equipos de control que permiten automatizar los sistemas de bombeo tales como el variador de frecuencias, logo, PLC, analizador de energía, entre otros, los cuales ayudan a mantener o reducir el consumo de energía real en función de la necesidad de caudal que genere el usuario. Permitiendo así un consumo energético eficiente y disminuir el consumo innecesario y así se reducen los gastos corrientes por consumo de energía eléctrica.

1.3 Justificación

Analizando el problema se justifica el diseño y construcción de un sistema de bombeo mediante dos condiciones de funcionamiento: accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia para el análisis de eficiencia energética.

El presente proyecto es de importancia para el sector industrial y de vivienda, debido a que ayudará a determinar datos técnicos reales sobre el consumo de energía eléctrica efectuado por un sistema de bombeo accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia, con la finalidad de reducir costos por el consumo de energía eléctrica .

La medida fundamental para hacer frente a este problema es implementar estrategias de eficiencia energética que ayude a reducir el consumo innecesario de energía eléctrica mediante la implementación de equipos de control y automatización en los sistemas de bombeo.

De esta manera se puede implementar en el sector industrial y de vivienda estas nuevas tecnologías que convierten las clásicas edificaciones de estilo convencional en edificios inteligentes que optimicen y monitoreen el consumo de energía, generando como consecuencia una reducción del costo a pagar por kWh consumido.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la eficiencia energética en un sistema de bombeo accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia.

1.4.2 Objetivos específicos

Analizar los requerimientos necesarios para la automatización de un módulo de sistema de bombeo accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia.

Diseñar y construir un módulo educativo de sistema de bombeo accionado en las dos condiciones de funcionamiento, para monitorear parámetros eléctricos.

Realizar tablas de comparación de los parámetros eléctricos medidos en arranque directo y mediante variación de frecuencia.

Determinar el costo del consumo de energía eléctrica consumida por la bomba centrífuga en las dos condiciones de funcionamiento.

.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética tiene como objetivo reducir el consumo de energía. La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía, utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios. Dicho de otra manera, producir más con menos energía. (MÁRQUEZ, 2016)

2.2 La eficiencia energética en sistemas de bombeo

Consiste en:

- Reducir las pérdidas en el sistema eléctrico
- Reducir las pérdidas en el motor eléctrico
- Reducir las pérdidas en la bomba.
- Evitar las fugas del sistema hidráulico.
- Reducir el costo por energía eléctrica consumida.

2.3 Ahorro de energía en sistemas de bombeo

Para lograr ahorros en los sistemas de bombeo de la industria, se deben implementar al menos las siguientes medidas:

- Sustituir los motores antiguos que hayan sido rebobinados
- Corregir desbalances de voltaje
- Alimentar con voltaje y frecuencia al motor mediante un sistema de variación de frecuencia.
- Sustituir las bombas que se encuentren trabajando fuera de su zona de diseño
- Reducir pérdidas de carga incrementando el diámetro de los sistemas de conducción. (ROSAS MOYA, 2016)

2.4 Consumo energético

“El consumo energético es el gasto total de energía para un proceso determinado, enfocado en los hogares, el consumo energético está integrado por el consumo de **energía eléctrica, gas, agua y de gasolina para el transporte**, que se concreta en el consumo de productos derivados del **petróleo**.” (MIPODO, 2019).

“Por otro lado, el concepto de consumo energético está inversamente relacionado a la eficiencia energética, de tal forma que según aumenta el gasto de energía por servicio prestado, la eficiencia energética disminuye” (MIPODO, 2019).

2.5 ¿Cómo se mide el consumo de energía?

El consumo de energía se mide en kilovatios por hora (kWh). El vatio es la unidad de potencia, mientras que la hora hace referencia al tiempo. Por lo tanto, un kilovatio hora (kWh) implica que, durante una hora, se realiza un consumo de potencia de 1000 vatios (MIPODO, 2019).

Esta unidad de medida es la utilizada por las empresas para conocer el consumo de un hogar, y actuar en consecuencia a la hora de emitir una factura. Concretamente, se refiere a la cantidad de energía que se consume en una vivienda o local durante un periodo de tiempo determinado (MIPODO, 2019).

2.6 ¿Cómo calcular el consumo energético de una vivienda?

Para calcular el consumo energético medido en una vivienda, **es necesario conocer las potencias de cada aparato**. Sabiendo la potencia del aparato, habrá que multiplicarlo por el tiempo de uso diario para conocer el consumo de energía durante ese tiempo y es la que las compañías eléctricas miden para definir la factura (MIPODO, 2019).

$$\text{Energía consumida} = \text{Potencia} \times \text{tiempo} \dots \dots \dots (1)$$

En el sector residencial la compañía eléctrica factura energía activa a diferencia del sector industrial que factura energía activa más energía reactiva

2.7 Sistema de bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, desde un punto hacia otro, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida. (TATO, 2013).

2.8 Arranque directo de sistemas de bombeo

Es el que se presenta cuando suministramos directamente los valores de tensión y frecuencia de la red de alimentación al motor.

Los motores con arranque directo absorben una gran cantidad de corriente, del orden de 4,5 a 7

veces la intensidad nominal y esto produce un par de arranque del orden de 1,5 a 2 veces el par nominal, lo que permite arrancar estos motores a plena carga (ROJAS, 2015).

El arranque directo se efectuará en estrella o en triángulo, según los valores de la tensión de red y las tensiones nominales del motor en cada tipo de conexión, datos que vienen siempre indicados en la placa de características del motor (la tensión mayor corresponde a la conexión estrella y la menor a la conexión triángulo). En la Figura 1 se señalan las conexiones de la caja de bornes del motor para las conexiones estrella o triángulo y los sentidos de giro que se obtienen (ROJAS, 2015).

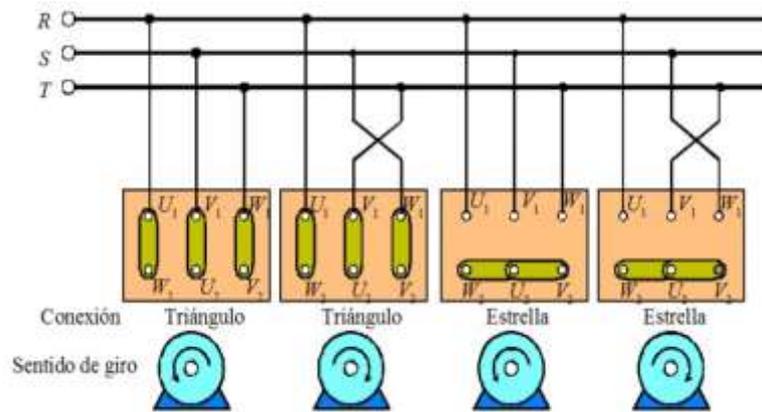


Figura 1-2: Conexiones de la placa de bornes y sentidos de giro de rotación obtenidos
Fuente: (ROJAS, 2015)

2.9 Arranque mediante un sistema de variación de frecuencia

Las aplicaciones de bombeo pueden utilizar un variador de frecuencia, así ayuda a reducir el golpe de ariete tanto en el arranque como en el paro, además puede controlar la velocidad de la bomba en función del caudal o presión requerida durante el modo de marcha (BRADLEY, 2014). En algunos sistemas de bombeo no se trabaja siempre a gasto constante. Una medida común para regular el flujo es modificar el porcentaje de apertura de las válvulas a la salida de la bomba. Sin embargo, una de las medidas que tienen mayor impacto en la disminución de consumo de energía eléctrica es el control del gasto por medio del uso de variadores de frecuencia. Esto se explica mediante las leyes de afinidad, que para el caso de bombas centrífugas, expresan la relación matemática que existe entre el gasto, la velocidad, la altura y el consumo de energía (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left(\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/h)

n = Velocidad (rpm)

H = Altura de presión (bar)

P = Potencia (kW)

“Analizando las fórmulas se puede observar que si se disminuye la velocidad en 50%, el gasto se reducirá también en 50%, la altura en 75% y la potencia en 87.5%” (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014).

Aunque el ahorro potencial es atractivo, se debe hacer un análisis costo-beneficio antes de instalar un variador de frecuencia, puesto que normalmente requieren de una inversión considerable. La instalación del sistema de variación de frecuencia es ideal para una edificación debido a que el consumo de agua es mayor a una vivienda.

(COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014).

2.10 ¿Qué beneficios tiene instalar un variador de frecuencia en un sistema de bombeo?

El uso de variadores de frecuencia tiene un enorme potencial para el ahorro de energía, ya que disminuye la velocidad del motor. Además, aportan los siguientes beneficios:

- Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
- Amplio rango de velocidad, par y potencia (velocidades continuas y discretas).
- Puede controlar varios motores.
- Factor de potencia unitario.
- Ahorro en mantenimiento, el motor siempre trabaja en condiciones óptimas.
- Inversión de giro de motores eléctricos.
- Ahorro de consumo de energía eléctrica (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014).

2.10.1 ¿Cómo funciona el variador de frecuencia?

El principio básico de su funcionamiento es transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Esto se consigue mediante dos etapas en serie: una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia, y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014).

2.11 Controlador lógico programable Simatic S7-1200

SIMATIC S7-1200 es un -PLC al máximo nivel: es compacto, potente, rápido, ofrece una conectividad extraordinaria y todo tipo de facilidades en el manejo del software y hardware.

El PLC SIMATIC S7-1200 responde a una concepción modular consecuente que permite soluciones a la medida que no quedan sobredimensionadas hoy y, además, pueden ampliarse en cualquier momento (SIEMENS, 2004).

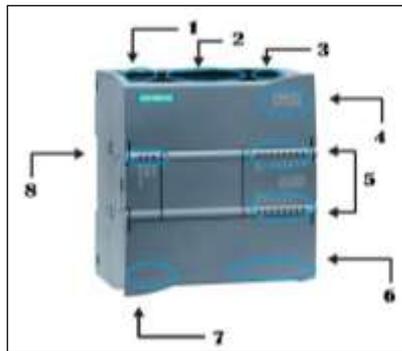


Figura 2-2: Controlador lógico programable Simatic S7-1200
Fuente: (VERDEZOTO PALACIOS, y otros, 2015)

Tabla 1-2: Partes del PLC S7-1200

Ítem	Parte del PLC S7-1200
1	Conector de corriente
2	Entradas digitales
3	Entradas analógicas
4	Ranura para memory card
5	LED de estado para E/S integradas
6	Salidas digitales
7	Conector PROFINET
8	LEDs indicadores

Realizado por: Autores
Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.11.1 Beneficios de comunicación SIMATIC S7-1200

- Comunicación abierta.
- Puerto estándar RS-485.
- PROFIBUS.
- AS-Interface.
- Industrial Ethernet.
- S7-200 PC ACCESS.

2.11.2 Altas prestaciones SIMATIC S7-1200

- Pequeño y compacto.
- Alta capacidad de memoria.
- Extraordinaria respuesta en tiempo real.
- Manejo simplificado gracias a software de fácil uso STEP7-Micro/WIN.
- CPU 1214C, AC/DC/RELE.

En la siguiente tabla se muestra diferentes características del PLC S7 1200.

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 1214AC/DC

Marca	Siemens
Ancho	110mm
Categoría de tensión	20,4 → 28,8 VDC
Corriente de Salida	1.600 mA
Idioma de programación utilizado	FBD, Ladder Logic, control del sistema
Largo	100mm
Memoria total disponible	50 kbits
Número de E/S	26
Número de entradas	16 (14 digitales, 2 analógicas)
Número de puertos de comunicación	1
Número de salidas	10 (digital)
Temperatura de funcionamiento máxima	+45°C
Tipo de entrada	Analógico, digital
Tipo de montaje	Carril DIN
Tipo de puerto de comunicación	Ethernet
Tipo de salida	Digital, relé
Versión	4.1

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.12 Contactor tripolar METASOL

MC-9B 220V LS es un contactor de la familia METASOL, utilizado en aplicaciones de arranque de motores debido a que posee contactos auxiliares incluidos.



Figura 3-2: Contactor trifásico METASOL

Fuente (SIEMENS, 2004)

2.12.1 Características contactor trifásico

- Marca METASOL
- Modelo MC-9B
- Corriente nominal 9 A
- Cantidad de polos 3
- Bobina 220VAC
- Contactos auxiliares incluidos.
- 50/60 HZ / 9A.

2.13 Pantalla táctil monocromática KTP600

KTP600 Basic mono PN es una pantalla táctil (touch screen) de la familia SIEMENS, utilizada para sistemas que requieren visualización monocromática sin detalles finos ni color.

Dentro del diseño de interfaces HMI constituyen una solución práctica para visualización y seteo de variables de procesos.



Figura 4-2: Pantalla táctil monocromática KTP600
Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.13.1 Principales características de la pantalla KTP-700

- Display de 7" monocromático.
- Funcionalidad de pantalla táctil.
- Teclas configurables con retroalimentación táctil.
- Funcionalidad HMI básica (sistema de alarmas, gestión de recetas, funcionalidad de curvas de tendencia y cambio de idioma).
- Conexión Ethernet/PROFINET
- Conexión MPI/PROFIBUS DP
- Configuración con SIMATIC WinCC flexible y WinCC 11 BASIC.
- Alto rendimiento. (VERDEZOTO PALACIOS, y otros, 2015)

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de la pantalla KTP 700

Marca	Siemens
Anchura	158 mm
Color del display	Monocromo
Largo	214 mm
Memoria integrada	512 Kb
Número de puertos	1
Profundidad	50.2 mm
Resolución del display	320 x 240 pixeles
Temperatura de funcionamiento máxima	+50°C
Temperatura de funcionamiento mínima	0°C
Tensión de alimentación	24 V DC
Tipo de display	LCD
Tipo de puerto	Ethernet
Tipo de teclado	Membrana
Velocidad del procesador	75 MHZ
Índice de protección IP	IP65

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.14 Fuente de alimentación LOGO Power

Las mini fuente de alimentación con diseño de módulos lógicos ofrecen muchas prestaciones en un espacio mínimo: El rendimiento se ha mejorado en todo el rango de potencia y ha reducido a la mitad las pérdidas en vacío. La entrada de rango amplio para redes monofásicas, la posibilidad de conexión a redes de corriente continua, el amplio rango de temperatura de empleo, las numerosas homologaciones así como el extra de potencia disponible para conectar cargas resistivas permiten su uso universal (DIRECT INDUSTRY, 2019).

Estas fiables fuentes de alimentación en caja plana con perfil lateral escalonado pueden integrarse con gran flexibilidad en numerosas aplicaciones, por ejemplo en cajas de distribución eléctrica. Para aumentar todavía más la disponibilidad, las fuentes de alimentación LOGO Power pueden combinarse con módulos de DC UPS y de redundancia (DIRECT INDUSTRY, 2019).



Figura 5-2: Fuente de alimentación LOGO Power

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.14.1 Ventajas de la fuente de alimentación

- Diseño plano similar a módulos LOGO! y 55 mm de profundidad.
- Entrada de rango amplio de 85 V AC a 264 V AC o de 110 V DC a 300 V DC.
- Intensidad constante de salida para conectar cargas con alta corriente de arranque.
- Tensión de salida ajustable.
- LED verde para "Tensión de salida O.K." (VERDEZOTO PALACIOS, y otros, 2015).

2.15 Módulo de medición y registro de energía (Energy Meter SM 1238)

Energy Meter 480 V AC, Módulo de medición de energía para adquirir datos en redes monofásicas y trifásicas hasta 480 V AC; rango de intensidad: 1A, 5^a, con el cual se puede monitorear parámetros como voltaje, intensidad, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y el consumo de energía activa.



Figura 6-2: Módulo de medición y registro de energía
Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.15.1 Características

- SM1238 es un módulo de medición y registro de energía.
- Utilizable en sistemas monofásicos y trifásicos (TN,TT) HASTA 480 V AC.
- Permite medir y registrar valores de tensión, corriente (mediante transformadores de corriente 1 A y 5 A), ángulos de fase, potencias, valores energéticos, frecuencia.

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del Módulo de medición y registro de energía.

Marca	SIEMENS
Modelo	SM1238
Tipo de tensión de alimentación	100 - 277 VCA
Intensidad máxima.	5 A
Frecuencia	50/60HZ
Potencia	0.6 W
Espacio de direcciones por módulo, máx.	124 byte; 112 byte input / 12 byte output
Peso	165 g

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.16 Variador de frecuencia SINAMICS G110

El variador SINAMICS G110 particularmente idóneo para aplicaciones con bombas, ventiladores, accionamientos en diversos sectores industriales, ejemplo: alimentación, textil, envasado y empaclado; así como en sistemas de transporte, accionamientos de puertas de acceso a fábricas y garajes y en máquinas de gimnasio.

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas del variador SINAMICS G110

Marca	SIEMENS
Modelo	SINAMICS G110
Tensión	200 – 240 V
Potencia	3 HP
Frecuencia	50/60 HZ
Entradas digitales	3
Condiciones del entorno	-10°C a +40°C

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.16.1 Ventajas del variador de frecuencia G110

- Posibilidad de copiar rápidamente parámetros usando el panel opcional (BOP).
- Mando mediante 2 ó 3 hilos para control universal vía las entradas digitales.
- Variante con interfaz RS485.
- Fácil integración en sistemas de automatización con SIMATIC.
- Sencilla conexión de los cables, bornes de control sin tornillos.
- LED para información de estado.
- Inversión de giro de motores eléctricos.
- Ahorro de consumo de energía eléctrica.
- Fuente de alimentación incorporada.

Los variadores SINAMICS G110 son variadores de frecuencia con un rango de potencias de 0,12 - 3 kW y tensión-de alimentación desde redes monofásicas de 200 V a 240 V.



Figura 7-2: Variador de frecuencia G110

Fuente: (SIEMENS, 2004)

A continuación se muestra el procedimiento para resetear al variador de frecuencia a su estado de fábrica, este proceso de reseteo tarda 10 segundos.

Tabla 6-2: Pasos para resetear el variador SINAMIC G110

Pasos	Resultado en pantalla
Pulsar  para acceder a parámetros.	r0000
Pulsar  hasta que se visualice P0010	P0010
Pulsar  hasta acceder al valor del parámetro.	0
Pulsar  o  hasta obtener el valor requerido.	30
Pulsar  para confirmar y almacenar el valor.	P0010
Pulsar  hasta que se visualice P0970	P0970
Pulsar  hasta acceder al valor del parámetro.	0
Pulsar  o  hasta obtener el valor requerido.	1
Pulsar  para confirmar y almacenar el valor.	P0970

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

2.17 Electrobomba centrífuga PEDROLLO CPM 660

Es una bomba centrífuga recomendada para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba. Por su confiabilidad y simplicidad encuentran una amplia utilización en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua, el vaciado o para regar huertos o jardines, la instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.



Figura 8-2: Electrobomba PEDROLLO CP 660

Fuente: (PEDROLLO, 2019)

Tabla 7-2: Características de las Electrobombas PEDROLLO CP 660

Marca	PEDROLLO
Modelo	CP 660
Cuerpo de la bomba	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis.
Potencia	2 HP
Voltaje en triángulo	220 V
Voltaje en estrella	440 V
Intensidad en triángulo	6.4 A
Intensidad en estrella	4.1 A
Altura mínima	23 m
Altura máxima	48 m
Sello mecánico	Materiales anillo fijo (cerámica)

Realizado por: Autores

Fuente: (SIEMENS, 2004)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Diseñar y construir un módulo educativo de sistema de bombeo accionado en las dos condiciones de funcionamiento, para monitorear parámetros eléctricos

Para poder monitorear el consumo energético del sistema de bombeo en las dos condiciones de funcionamiento en arranque directo y mediante variación de frecuencia, es necesario automatizar el sistema de bombeo. El modulo educativo del sistema de bombeo está formado por los siguientes sistemas.

- Sistema estructural
- Sistema hidráulico
- Sistema de automatización
- Sistema eléctrico.

3.1.1 *Sistema estructural*

3.1.1.1 *Diseño de la estructura*

Para el diseño de la estructura se utilizó un software de diseño mecánico denominado Solidworks.

Su diseño esta enfocado para la instalación del sistema hidraulico, electrico y el sistema de automatización.

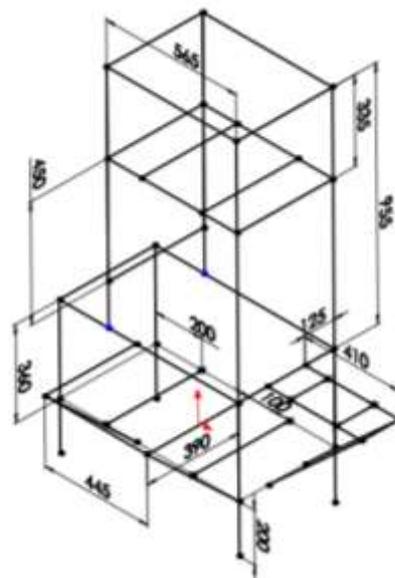


Figura 1-3: Diseño de la estructura
Fuente: Autores

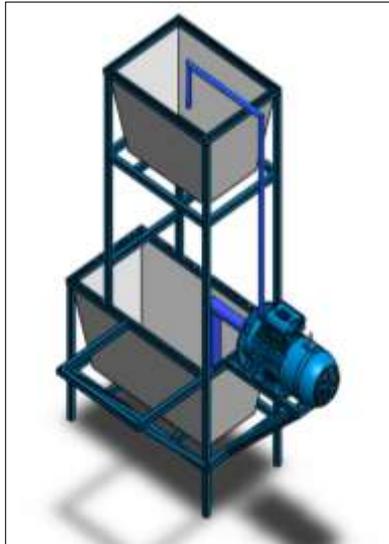
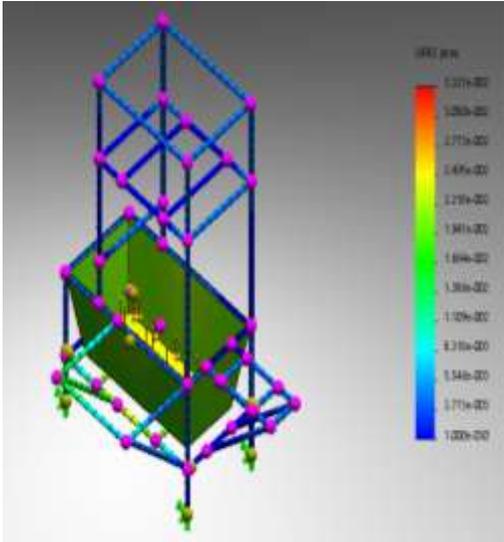
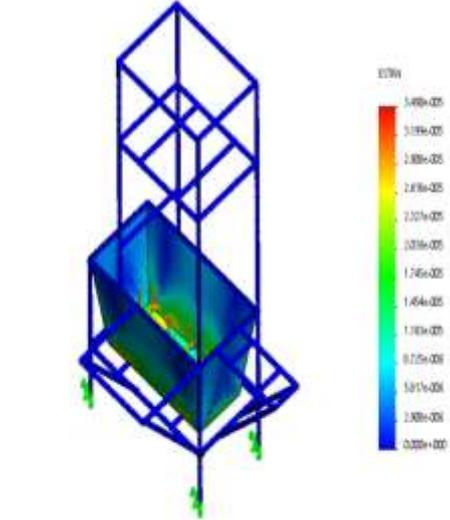


Figura 2-3: Presentación del módulo en 3D
Fuente: Autores

3.1.1.2 *Análisis del material para la estructura*

Tabla 1-3: Análisis del material para la estructura

Análisis de la estructura con un tubo cuadrado de 20x20x1.2 mm	Análisis de la estructura con un tubo cuadrado 25x25x1.5 mm.
 <p>Figura 3-3: Estructura con tubo cuadrado de 25x25x1.2mm Fuente: Autores</p>	 <p>Figura 4-3: Estructura con tubo cuadrado de 25x25x1.5 mm Fuente: Autores</p>
<p>La estructura muestra presencia de deformación y un color naranja tendiendo al rojo lo cual muestra que no tiene un coeficiente de seguridad adecuado para utilizarla con estas cargas.</p>	<p>En este caso el comportamineto de la estructura es el ideal ya que no presenta deformacion y el coeficiente de seguridad es alto.</p>

Realizado por: Autores

Datos para el cálculo de la carga aplicada al sistema estructural

$$m_{\text{módulo auto.}} = 60 \text{ lb} = 27.22 \text{ kg}$$

$$m_{\text{motor}} = 30 \text{ lb} = 13.61 \text{ kg}$$

$$v_{\text{recipiente}} = 75 \text{ lt} = 0.075 \text{ m}^3$$

$$\rho_{H_2O} = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Coef. de seg.} = 50 \%$$

Solución

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

$$m_{H_2O} = \rho * v$$

$$m_{H_2O} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.075 \text{ m}^3$$

$$m_{H_2O} = 74.775 \text{ kg}$$

$$W_T = \{[(m_{H_2O} + m_{\text{módulo auto.}} + m_{\text{bomba centrífuga}}) * g] * \text{Coef. Seguridad}\} \quad (4)$$

$$W_T = \{[(74.775 \text{ kg} + 27.22 \text{ kg} + 13.61 \text{ kg}) * 9.81 \text{ m/s}^2] * 1.5\}$$

$$W_T = 1701.12 \text{ N}$$

Mediante esta carga se aplicó al sistema estructural obteniendo como resultado una deformación del material de menor espesor $(25 * 25 * 1.2) \text{ mm}$.

3.1.1.3 Selección del tubo para la estructura

Luego del análisis se seleccionó un tubo cuadrado de $(25 * 25 * 1.5) \text{ mm}$ de espesor debido a que es el ideal para soportar las cargas que se van a utilizar.

3.1.1.4 Construcción de la estructura

Una vez seleccionado el material para la estructura se procedió a adquirir los materiales, herramientas y equipos para realizar el corte del tubo, la unión mediante suelda, el esmerilado y el acabado superficial.

Materiales y Herramientas

- 3 tubos cuadrados de 25x25x1.5
- 2 libras de electrodos 6011
- Escuadra metálica
- 3 Lijas de hierro N° 100.
- ½ litro de fondo verde
- 1 litro de pintura esmalte azul
- 1 litro de tñer
- Disco de corte de 14´.

Equipos

- Soldadora eléctrica
- Trozadora
- Esmeril
- Compresor

Procedimiento para la construcción de la estructura

1. Medir con la ayuda de un flexómetro y una escuadra de acuerdo al diseño
2. Cortar con la trozadora teniendo en cuenta que en los extremos de cada tubo debe ser cortado a 45°.



Figura 5-3: Corte del tubo cuadrado en diferentes dimensiones
Fuente: Autores

3. Armar el marco mediante puntos de suelda.



Figura 6-3: Corte y punto de suelda a 45°
Fuente: Autores

4. Acoplar los demás tubos con la ayuda de la escuadra metálica.



Figura 7-3: Construcción del módulo
Fuente: Autores

5. Proceder a realizar los cordenes de soldadura.
6. Esmerilar con la ayuda de la amoladora la escoria de suelda.
7. Limpiar y lijar la estructura.
8. Pintar con un compresor la estructura para obtener un buen acabado superficial del sistema .
9. Dejar secar al aire libre.
10. Realizar una revisión de la calidad de la estructura.



Figura 8-3: Estructura pintada con fondo automotriz
Fuente: Autores

3.1.2 Sistema hidráulico

3.1.2.1 Cálculo de la potencia de la bomba

Datos para cálculo de potencia

$$Q = 30 \text{ GMP}$$

$$T = 60 \text{ }^\circ\text{F} \cong 15.56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D_S = 1 \frac{1}{4} \text{ in} \div 12 \rightarrow 0.104 \text{ ft}$$

$$D_D = 1 \text{ in} \div 12 \rightarrow 0.083 \text{ ft}$$

$$\text{Tubería PVC Rugosidad } \varepsilon = 0.0015 \text{ mm} \rightarrow 4.921 * 10^{-6} \text{ ft}$$

$$L_S = 5 \text{ m} * 3.2808 = 16.404 \text{ ft}$$

$$L_D = 10 \text{ m} * 3.2808 = 32.804 \text{ ft}$$

$$h_{es} = 3.5 \text{ m} * 3.2808 = 11.482 \text{ ft}$$

$$h_{ed} = 38 \text{ m} * 3.2808 = 124.672 \text{ ft}$$

$$\text{Por Tabla } 60^\circ\text{F} \rightarrow \text{viscosidad cinemática} = 1.2055 * 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$$

$$\text{Por Tabla } 60^\circ\text{F} \rightarrow \text{gravedad específica } \gamma = 1$$

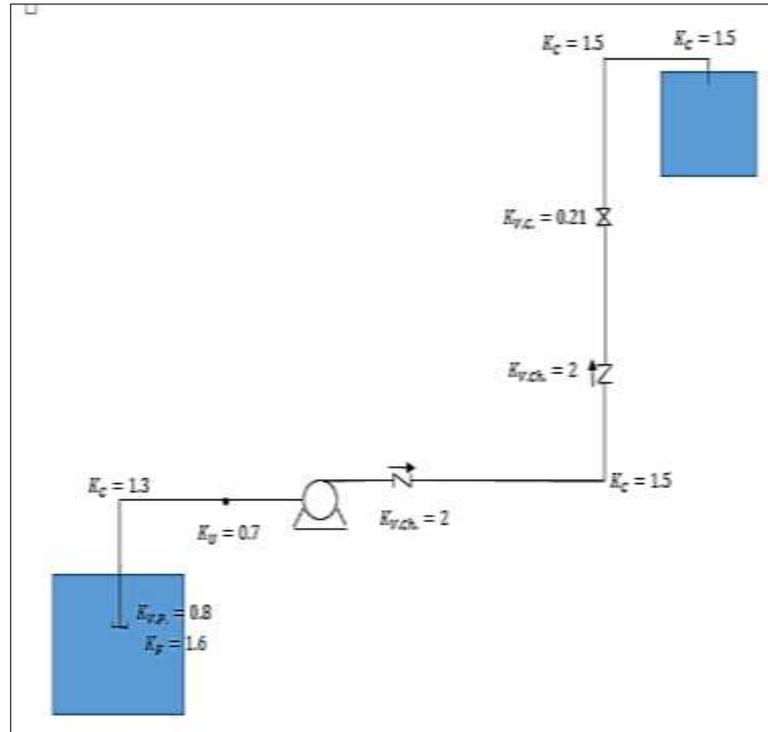


Figura 9-3: Diagrama de succión y descarga de la bomba
Fuente: Autores

Cálculo de la succión

$$\text{Velocidad } V = \frac{4Q}{\pi D_s^2} \quad (5)$$

$$V = \frac{4 * 0.00668 \text{ ft}^3/\text{s}}{\pi (0.104 \text{ ft})^2} = 7.86 \text{ ft/s}$$

$$\text{Reynolds } R_e = \frac{V D_s}{\nu} \quad (6)$$

$$R_e = \frac{7.86 \text{ ft/s} * 0.104 \text{ ft}}{1.2055 * 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}} = 67809.20$$

$$\text{Rugosidad relativa } R_r = \frac{\varepsilon}{D_s} \quad (7)$$

$$R_r = \frac{4.921 * 10^{-6} \text{ ft}}{0.104 \text{ ft}} = 4.731 * 10^{-5}$$

$$\text{Factor de fricción } \lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{R_r}{3.7} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{4.731 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{5.74}{67809.20^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda = 0.019$$

$$\text{Altura de velocidad } h_v = \frac{V_s^2}{2g} \quad (9)$$

$$h_v = \frac{(7.86 \text{ ft/s})^2}{2 * (32.16 \text{ ft/s}^2)}$$

$$h_v = 0.96 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de fricción } h_f = \lambda * \frac{L_s}{D_s} * h_v \quad (10)$$

$$h_f = 0.019 * \frac{16.404 \text{ ft}}{0.104 \text{ ft}} * 0.96 \text{ ft}$$

$$h_f = 2.88 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas por accesorios } h_a = \Sigma_K * h_v \quad (11)$$

$$\Sigma_K = 1.6 + 0.8 + 1.3 + 0.7$$

$$\Sigma_K = 4.4$$

$$h_a = 4.4 * 0.96 \text{ ft} = 4.22 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de presión } h_{p_s} = h_f + h_a + h_v \quad (12)$$

$$h_{p_s} = 2.88 \text{ ft} + 4.22 \text{ ft} + 0.96 \text{ ft}$$

$$h_{p_s} = 8.06 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de succión } h_s = h_{es} + h_{p_s} \quad (13)$$

$$h_s = 11.482 \text{ ft} + 8.06 \text{ ft}$$

$$h_s = 19.542 \text{ ft}$$

Cálculo de la descarga

$$\text{Velocidad } V = \frac{4Q}{\pi D_d^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.00668 \text{ ft}^3/\text{s}}{\pi (0.0833 \text{ ft})^2} = 12.26 \text{ ft/s}$$

$$\text{Reynolds } R_e = \frac{V D_d}{\nu}$$

$$R_e = \frac{12.26 \text{ ft/s} * 0.083 \text{ ft}}{1.2055 * 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}} = 84716.54$$

$$\text{Rugosidad relativa } R_r = \frac{\varepsilon}{D_d}$$

$$R_r = \frac{4.921 * 10^{-6} ft}{0.0833 ft} = 5.907 * 10^{-5}$$

$$\text{Factor de fricción } \lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{R_r}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.907 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{5.74}{84716.54^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.018$$

$$\text{Altura de velocidad } h_v = \frac{V_d^2}{2g}$$

$$h_v = \frac{(12.26 \text{ ft/s})^2}{2 * (32.16 \text{ ft/s}^2)} = 2.34 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de fricción } h_f = \lambda * \frac{L_d}{D_d} * h_v$$

$$h_f = 0.018 * \frac{32.804}{0.0833 ft} * 2.34 \text{ ft}$$

$$h_f = 16.587 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas por accesorios } h_a = \Sigma K * h_v$$

$$\Sigma K = 2 + 1.5 + 2 + 0.21 + 1.5 + 1.5$$

$$\Sigma K = 8.71$$

$$h_a = 8.71 * 2.34 \text{ ft} = 20.38 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de presión } hp_d = h_f + h_a + h_v$$

$$hp_d = 16.587 \text{ ft} + 20.38 \text{ ft} + 2.34 \text{ ft}$$

$$hp_d = 39.307 \text{ ft}$$

$$\text{Altura de descarga } h_d = h_{ed} + hp_d$$

$$h_d = 124.672 \text{ ft} + 39.307 \text{ ft}$$

$$h_d = 163.979 \text{ ft}$$

$$\text{Altura total } H_T = h_s + h_d$$

$$H_T = 9.542 \text{ ft} + 163.979 \text{ ft}$$

$$H_T = 183.52 \text{ ft}$$

$$\text{Potencia de la bomba } P = \frac{Q \cdot H_T \cdot \gamma}{3960 \cdot \eta} \quad (14)$$

$$P = \frac{30 \text{ GPM} \cdot 183.52 \text{ ft} \cdot 1}{3960 \cdot 0.85} = 1.635 \approx 2 \text{ hp}$$

3.1.2.2 Instalación de tubería para el sistema de bombeo

1. Adquisición de los accesorios como:

- 1 válvula de pie NPT de 1 in
- 1 codo rosca de 1 in X 90°
- 1 bushing 1 ¼ X 1 in
- 1 unión universal de 1 in
- 5 codos rosca de ½ in X 90°
- 1 salida de estanque corta con goma ½ in
- 1 unión universal de ½ in
- 1 cruz roscada de ½ in
- 2 neplo roscado de ½ in
- 4 neplo perdido de ½ in
- 3 uniones PVC roscada de ½ in
- 3 llaves de agua de ½ in
- 1 Recipiente de plástico de 75 litros
- 1 Recipiente de plástico de 50 litros
- 1 metro de tubería PVC 1 1/4 in
- 3 metro de tubería PVC ½ in
- Pegamento Uhu
- Cinta teflón

2. Anclar la bomba de agua en la estructura mediante pernos 7/16"



Figura 10-3: Anclaje de la bomba de agua a la estructura
Fuente: Autores

3. Realizar dos perforación en el recipiente de 50 litros en el centro de la tapa y en el fondo del recipiente para que entre la tubería de $\frac{1}{2}$ in
4. Colocar la salida estanque en el agujero del fondo del recipiente de 50 litros
5. Montar los dos recipientes en la estructura



Figura 11-3: Recipientes montados en la estructura
Fuente: Autores

6. Cortar la tubería de $1\frac{1}{4}$ in a una longitud de 38 cm, y 2 de 12 cm
7. Cortar la tubería de $\frac{1}{2}$ in a una longitud de 80, 43, 17,45, 22 cm.
8. Realizar el roscado en los extremos de cada tubería cortada
9. Acoplar mediante el pegamento y la cinta teflón la válvula de pie y el codo rosca de $1\frac{1}{4}$ in respectivamente en cada extremo de la tubería.
10. Acoplar la unión universal de 1 in a las dos tuberías de 12 cm
11. Colocar los bushing de $1\frac{1}{4}$ in y $\frac{1}{2}$ in en la salida y descarga de la bomba respectivamente.



Figura 12-3: Instalación de bushing en succión
Fuente: Autores

12. Unir un codo rosca a un extremo de la tubería de $\frac{1}{2}$ in de 80 cm y enroscar en el buching de la descarga
13. Unir un codo rosca a un extremo de la tubería de $\frac{1}{2}$ in de 43 cm y enroscar en el extremo del codo de la tubería de 80 cm.
14. Unir la tubería de $\frac{1}{2}$ in de 17 cm al codo para que ingrese dentro de la tapa de recipiente de 50 litros.

15. Unir un codo de ½ en un extremo de la tubería de 45 cm y el otro extremo enroscar a la salida de estanque



Figura 13-3: Instalación de la salida de estanque en el recipiente superior
Fuente: Autores

16. Unir a la x roscada de ½ in los accesorios para tener tres salidas de descarga respectivamente y unir mediante el nepló perdido a la unión universal de ½.



Figura 14-3: Instalación de las tres llaves de agua en la descarga
Fuente: Autores

17. Verificar fugas de agua en la instalación hidráulica

3.1.3 Sistema de automatización

Para la automatización del sistema de bombeo se utilizó el software TIA Portal 15 el cual utiliza un lenguaje de programación ladder, para ello se definió variables de entradas (I) y salidas (Q) toda esta programación está cargada en la memoria del PLC S7- 1200 AC/ DC (VER ANEXO A).

3.1.3.1 Programación de equipos de control, potencia.

Segmento 1: Inicialización

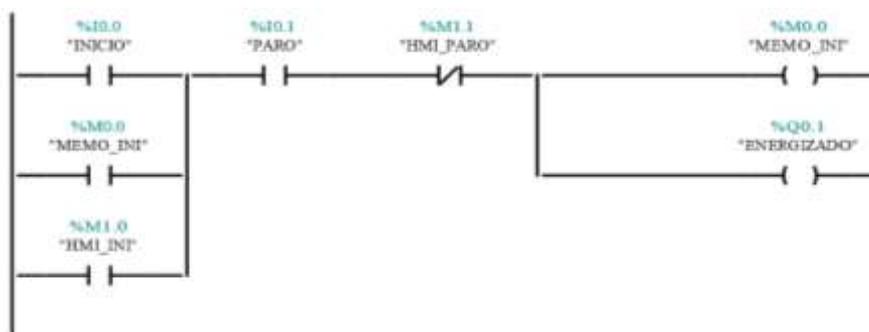


Figura 15-3: Segmento de inicialización
Realizado por: Autores

Descripción: En este segmento únicamente se energiza el sistema mediante pulsadores y lámparas de señalización. Al momento de pulsar el botón inicio se enciende una lámpara de color naranja que nos indica que el sistema está a disposición del arranque directo o mediante variador y al mismo tiempo se enciende la lámpara de señalización del HMI.

Segmento 2: Normalizado y escalado

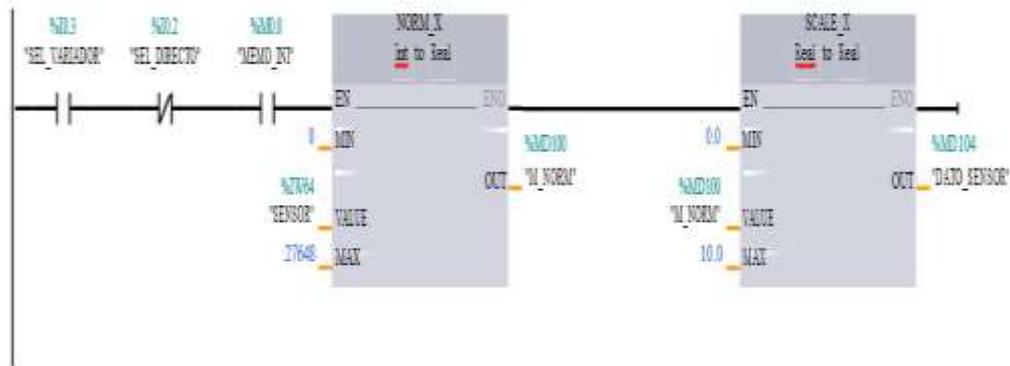


Figura 16-3: Segmento de normalizado y escalado
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez pulsado el botón de inicio y activada la memoria “MEMO_IN” queda a disposición la selección del arranque directo o mediante variador, si se selecciona el modo variador, el modo directo se desactiva y queda cerrado el circuito funcionando en modo variador a través de 3 valores mínimo y máximo.

Para poder utilizar la señal del sensor de flujo, se debe hacer un tratamiento a dicha señal, es decir normalización y escalado. La normalización significa tomar la señal del sensor y digitalizarla para ello hay que entender que el valor utilizado en una memoria Word es de 65535 por lo que al tomar la mitad de ese valor debido al signo se podrá escribir en él un número entero igual a 11.8 que para este caso será 11.8 Voltios. Realizando una regla de 3 podremos obtener el valor digitalizado de 27648 correspondiente a 10 Voltios, ya que se va a usar la señal de 0 a 10 Voltios.

El valor obtenido debe guardarse en una memoria doble Word, ejemplo MD100. A continuación se procede a escalar la señal guardada en la MD100, es decir ponemos límites mínimo y máximo de la señal que va a ser obtenida mediante el sensor de caudal, esos límites son: valor mínimo = 0 y valor máximo = 10.

Es importante conocer que el valor de entrada del sensor es un valor entero (Integer), que debe ser cambiado a un valor real (Real), en el bloque de normalización. En el bloque de escalado debe mantenerse el valor real (Real).

Segmento3: Control rango 1

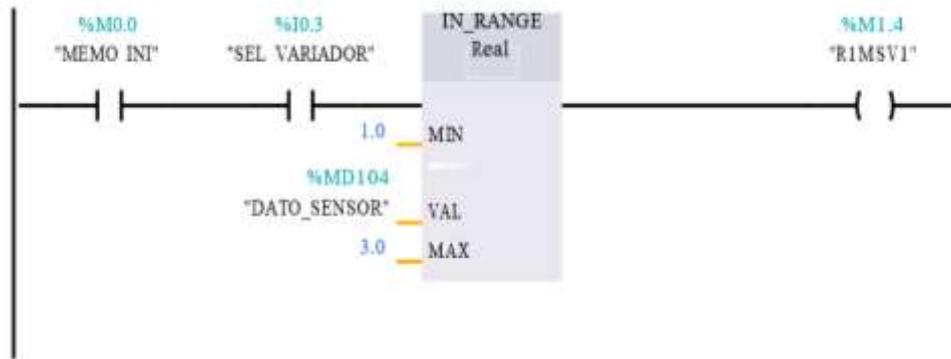


Figura 17-3: Rango 1 activación de la bomba a 25 Hz
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez activada la memoria (MEMO_IN) y seleccionado el modo variador se cambia el rango mediante un potenciómetro de 1 a 3 Voltios y de esta manera se activa la memoria 1 y velocidad 1 (M1.4) así el motor empieza a girar hasta alcanzar una frecuencia máxima de 25 Hz. Solo si se encuentra entre el rango (1 a 3Voltios) activa el rango 1 y la velocidad 1.

Segmento 4: Rango 2

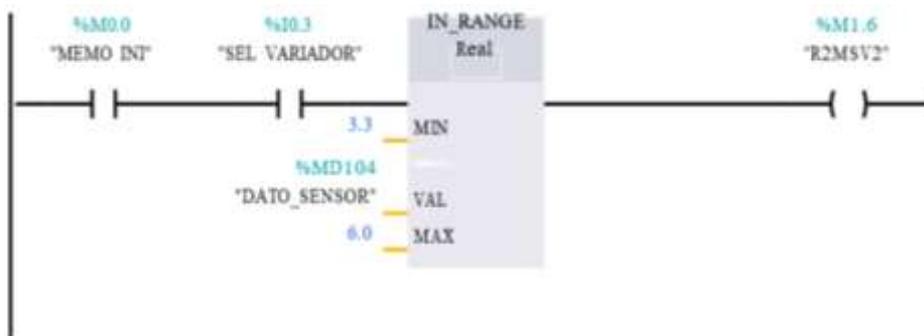


Figura 18-3: Rango 2 activación de la bomba a 35 Hz
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez activada la memoria (MEMO_IN) y seleccionado el modo variador, se cambia el rango mediante un potenciómetro de 3.3 a 6 Voltios y de esta manera se activa la memoria 2 y velocidad 2 (M1.6) así el motor empieza a girar hasta alcanzar una frecuencia máxima de 35 Hz. Solo sí se encuentra entre el rango (3.3 a 6Voltios) activa el rango 2 y la velocidad 2.

Segmento 5: Rango 3

Descripción: Una vez activada la memoria (MEMO_IN) y seleccionado el modo variador se cambia el rango mediante un potenciómetro de 6.3 a 10 Voltios y de esta manera se activa la

memoria 3 y velocidad 3 (M2.2) así el motor empieza a girar hasta alcanzar una frecuencia máxima de 45 Hz. Solo sí se encuentra entre el rango (6.3 a 10 Voltios) activa el rango 3 y la velocidad 3.



Figura 19-3. Rango 3 activación de la bomba a 45 Hz
Realizado por: Autores

Segmento 6: Activación de las salidas hacia el variador

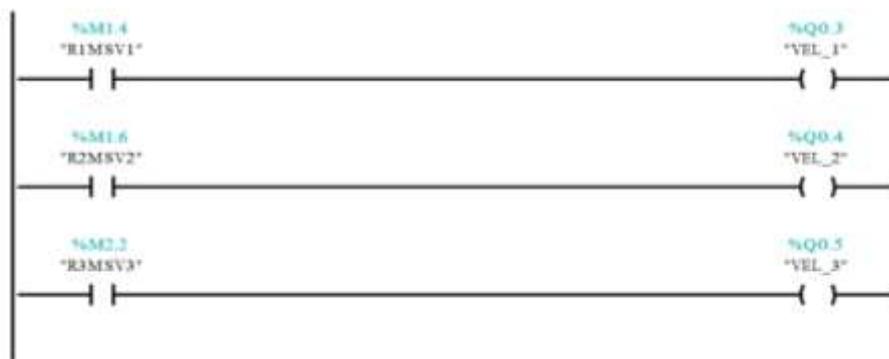


Figura 20-3: Segmento activación de las salidas hacia el variador
Realizado por: Autores

Descripción: Si se encuentra dentro del rango 1 activa la velocidad 1 no se pueden activar 2 velocidades al mismo tiempo, es decir, 1, 2 o 3. Y estas salidas son las que envían la señal al variador para que a su vez, envíe la corriente al motor y empiece a girar a distinta velocidad.

Segmento 7: Activación del contactor modo directo



Figura 21-3: Activación del contactor modo directo
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez activada la memoria (MEMO_in), queda a disposición la selección del arranque directo o mediante variador, si se selecciona el modo directo, el modo variador se

desactiva y queda cerrado el circuito funcionando a su potencia máxima.

Segmento 8: Encendido de la lámpara roja de paro

Descripción: Una vez inicializado la lámpara de color rojo permanece encendida hasta que se pulse el botón de inicio y se activa la memoria (MEMO_IN), desactivando la lámpara de paro y funcionando el sistema de bombeo en modo directo o mediante un sistema de variación de frecuencia.

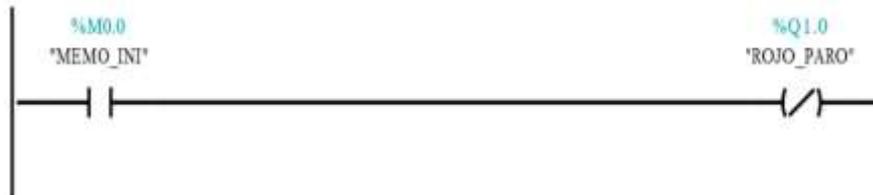


Figura 22-3: Encendido de la lámpara roja de paro
Realizado por: Autores

Solo sí se pulsa el botón de paro se encenderá la lámpara de color rojo y se detendrá el sistema de bombeo.

Segmento 9: Encendido de la lámpara verde modo directo



Figura 23-3: Encendido de la lámpara verde modo directo
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez energizado el sistema queda a disposición la selección del arranque directo o mediante variador. Si se selecciona el modo directo, se activa la lámpara verde de modo arranque directo hasta que cambie la posición del selector, desactivando el modo directo y la lámpara verde.

Segmento 10: Encendido de la lámpara verde modo variador



Figura 24-3: Encendido de la lámpara verde modo variador
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez energizado el sistema queda a disposición la selección del arranque directo o mediante variador.

Si se selecciona el modo variador, se activa la lámpara verde de modo arranque variador hasta que cambie la posición del selector, desactivando el modo variador y la lámpara de color verde.

Solo sí se pulsa el botón de paro esta lámpara de color verde se desactiva, indicando paro en el funcionamiento de sistema de bombeo. .

Segmento 11: Encendido de la lámpara verde HMI



Figura 25-3: Encendido de la lámpara verde HMI
Realizado por: Autores

Descripción: Una vez energizado el sistema automáticamente se enciende la lámpara verde de la pantalla HMI y ésta solo se apagará al desactivar el interruptor magnético del sistema.

3.1.3.2 Programación del analizador de energía SM1238 480 VCA

Segmento 12: Normalizado y escalado del medidor de energía SM1238 480

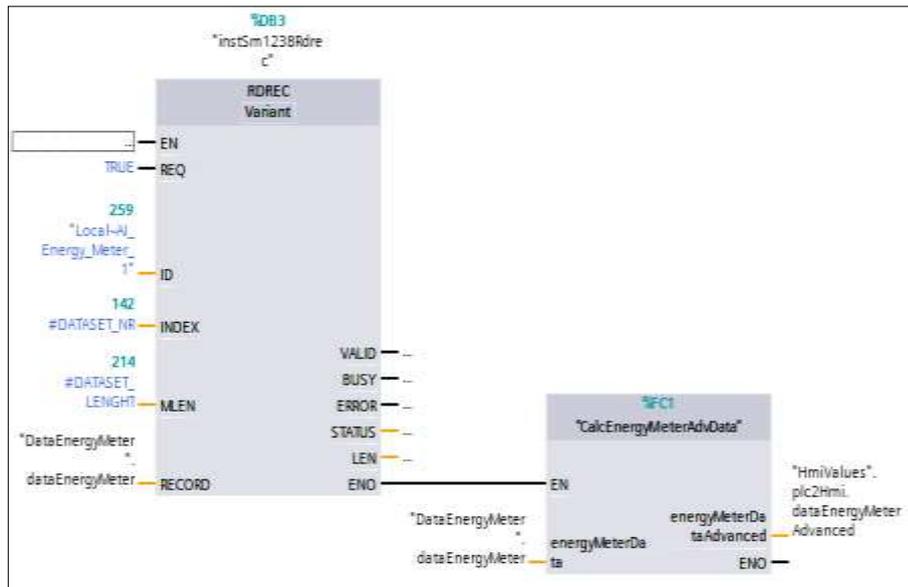


Figura 26-3: Normalizado y escalado de los datos del analizador de energía SM123 480
Realizado por: Autores

Descripción: Para poder leer los datos de energía de un contador de energía configure las instrucciones de la función “RDREC” de la siguiente manera.

Parámetros de Entrada

- REQ: Para la ejecución de un nuevo bloque de datos.
- ID: Identificador del módulo de hardware.
- INDEX: Número de registro de datos INDEX utilizado 142.
- MLEN: número máximo de bytes que deben leerse 214 byte.
- RECORD: La longitud seleccionada del área de destino RECORD debe tener como mínimo la longitud de MLEN bytes.

Parámetros de Salida

- VÁLID: muestra el estado del nuevo registro de datos.
- BUSY: muestra el estado del proceso de no completarse.
- ERROR: muestra el estado de error.
- STATUS muestra el estado de bloqueo o la información de estado del error que se produjo.
- LEN: Longitud de los datos de registro de datos que se pueden leer.

Segmento 13: Monitoreo de tiempo.

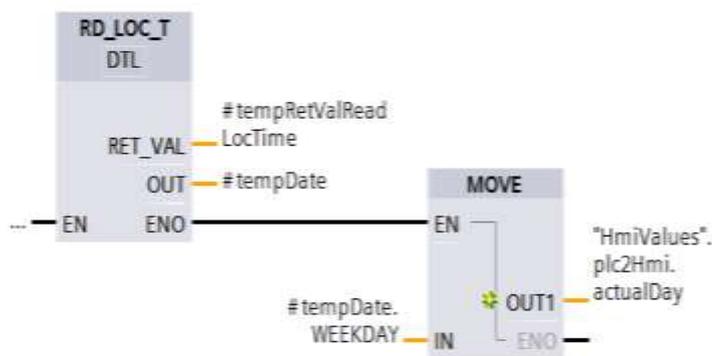


Figura 27-3: Segmento monitoreo de tiempo
Realizado por: Autores

Descripción: Esta función es utilizada para reloj ‘fecha y hora’ del autómata S7-1200 “RD_LOC_T lee la hora local actual de la CPU como tipo de datos DTL. Este valor de tiempo refleja la zona horaria local ajustada correctamente según el cambio de horario de verano/invierno (si está configurado)”.

La instrucción MOVE sirve para copiar un valor específico en una dirección de salida. Dicha instrucción es activada por medio de la terminal de entrada “EN”. El valor que se especifica en la terminal “IN” se copia a la dirección de salida especificada en la terminal “OUT”. La terminal “ENO” tiene el mismo estado lógico que la terminal “EN”. Esta instrucción puede copiar solamente objetos de tipo Byte, Word o DWORD.

Segmento 14: Cálculo de potencia media y almacenamiento de archivo histórico.

Descripción: Ayuda a calcular la potencia media mediante el análisis de los parámetros eléctricos y la instrucción MOVE, sirve para copiar el valor calculado específico a una dirección de la pantalla HMI.

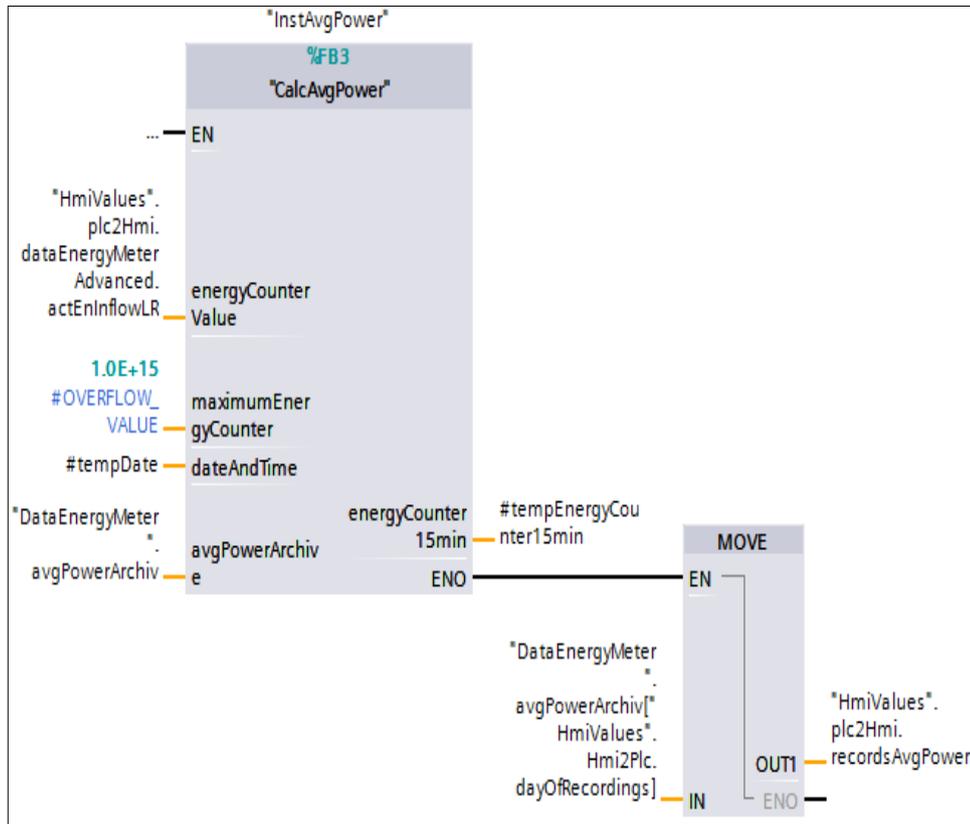


Figura 28-3: Cálculo de potencia media y almacenamiento de archivo histórico
Realizado por: Autores

3.1.3.3 Programación de la pantalla táctil

Descripción: En la pantalla principal del HMI, se muestra una visión general de todos los parámetros eléctricos que se analizan, al hacer clic en uno de estos valores, el curso de este valor se puede ver. Al hacer clic en el botón "Historial" el curso de la potencia media para el día actual se mostrará. A través de los botones de abajo del diagrama de potencia media se mostrará la potencia de los últimos siete días. Los valores mostrados se almacenan en un bloque de datos en el controlador. Por lo tanto el curso de la potencia media no se restablece al reiniciar el panel (VER ANEXO B).

Para reiniciar el conteo del consumo de energía eléctrica se debe cargar una programación diferente al PLC S7 1200, así éste borrara todos los datos guardados durante el primer análisis de energía eléctrica.

La pantalla táctil muestra los siguientes parámetros eléctricos (voltaje, intensidad, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y el consumo de energía eléctrica activa y reactiva.)

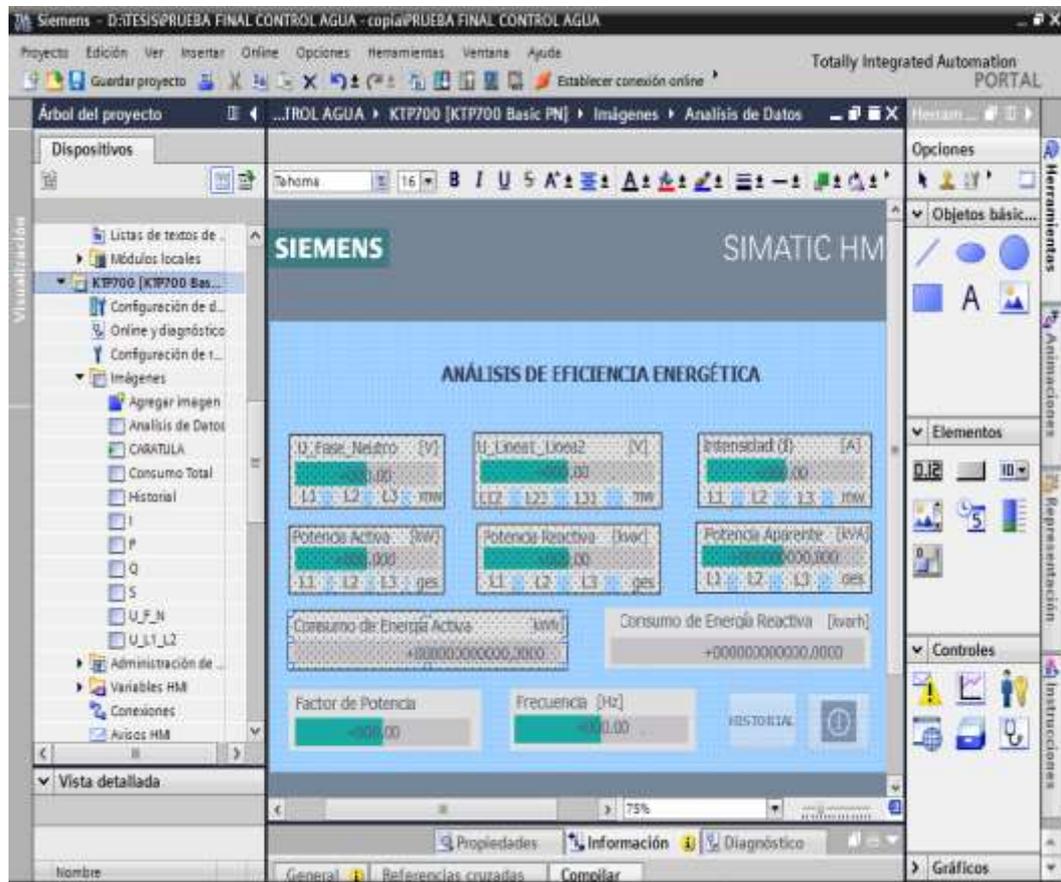


Figura 29-3: Programación de la pantalla táctil
Realizado por: Autores

3.1.3.4 Programación del variador de frecuencia SINAMICS G110

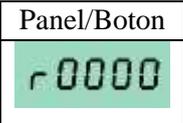
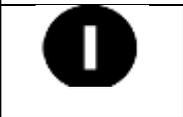
Para realizar la programación del variador se debe programar una serie de parámetros en los cuales se ingresan valores de la placa del motor eléctrico (voltaje, intensidad y potencia) y la frecuencia de alimentación de la red (60 Hz).

Para ello se debe resetear el variador a los ajustes de fábrica. Este proceso se recomienda siempre que vayamos a inicializar un proceso, el reseteo del variador de frecuencia dura un lapso de 5 segundos.

Además para realizar la programación del variador de frecuencia se debe programar una serie de parámetros y seguir una secuencia de pasos (VER ANEXO C).

A continuación se muestra una descripción del panel básico del variador de frecuencia.

Tabla 2-3: Descripción del panel básico de operador BOP

Panel/Boton	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitarlo ajustar P0700 = 1
	Parada	OFF1 Pulsando este botón se para el motor siguiendo el tiempo de deceleración seleccionado. Por defecto está bloqueado el botón. Para habilitarlo ajustar P0700 = 1. OFF2 Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se detiene de forma natural.
	Invertir sentido de giro	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado este botón.
	Jog motor	Pulsando este botón – en estado "listo" – el motor arranca y gira a la frecuencia Jog preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de efecto.
	Funciones	Este botón sirve para visualizar información adicional. Pulsando y manteniendo este botón apretado 2 segundos durante la marcha, desde cualquier parámetro, muestra lo siguiente: 1. Tensión del circuito. 2. Tensión de salida (indicada mediante unidades en V).
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón aumenta el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón disminuye el valor visualizado.

Realizado por: Rivera, Alex y Pérez, Darío

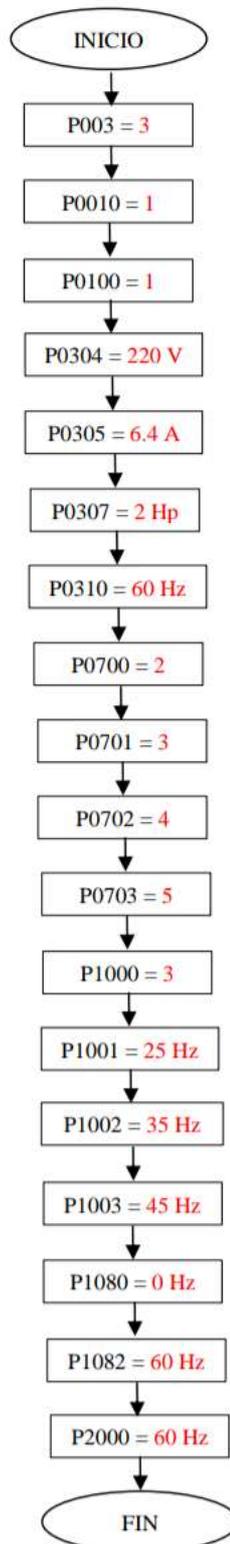
Fuente: (SIEMENS, 2004)

Mediante estos botones se puede configurar el variador de frecuencia, dependiendo del tipo de arranque requerido por el sistema.

Es importante colocar el panel “BOP” para que el variador de frecuencia active al motor, dependiendo la programación realizada, sí el panel no está colocado en el variador, éste no podrá accionar al motor eléctrico.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de la programación de los diferentes parámetros del variador de frecuencia.

Diagrama de flujo de la programación del varidor de frecuencia



Realizado por: Autores
Fuente: (SIEMENS, 2004)

3.1.4 Sistema eléctrico

3.1.4.1 Instalación del circuito de alimentación



Figura 30-3: Módulo de alimentación

Fuente: Autores

1. Solicitud de equipos de automatización al laboratorio de MÁQUINAS ELÉCTRICAS tales como una pantalla HDMI, una fuente de alimentación de 24 V CD y un PLC S7 1200.
2. Adquisición de equipos de protección de sobre corriente tales como un interruptor magnetotérmico trifásico de 10 A, un interruptor magnético monofásico de 10 A, un contactor de 220 V 10 CA, un analizador de energía, 40 metros de cable flexible número 16 color blanco, negro, rojo, azul, borneras.
3. Montar en una regleta los equipos mencionados para realizar las diferentes conexiones eléctricas.
4. Alimentar a las entradas del interruptor magnético trifásico con tres líneas L1, L2, L3 y alimentar a la entrada del interruptor magnético monofásico el neutro N.
5. De las salidas de interruptor magnético trifásico U, V, W, conectar con las entradas unas borneras de conexión para distribuir a los diferentes equipos.
6. Alimentar mediante dos líneas L1, L2, de las borneras con las entradas de fuente siemens 12 V CD, de igual manera con dos líneas hacia las entradas del PLC 1200.
7. Conectar las salidas de la fuente siemens 12 V CD (1+; 1-), con las entradas de unas borneras de conexión y alimentar a la pantalla HDMI.
8. Conectar el (1-) de la fuente de alimentación de 12 V CD con (1M) para alimentar a las entradas digitales y con (2M) para alimentar a las entradas analógicas del PLC.
9. Conectar el (1+) de la fuente 12 V CD con (1L y 2L) para alimentar a las salidas digitales del PLC 1200 (VER ANEXO D).
10. Realizar el reajuste de los bornes de las conexiones mediante una destornillador para evitar daños.

3.1.4.2 Instalación del circuito de comunicación



Figura 31-3: Módulo de comunicación

Fuente: Autores

1. Realizar la comunicación de manera directa entre el PLC 1200 y el analizador de energía
2. Conectar la salida PROFINET del PLC S7 1200 a una entrada del módulo de comunicación mediante un cable Ethernet.
3. Conectar la salida PROFINET de la pantalla HMI a una entrada del módulo de comunicación mediante un cable Ethernet.
4. Comunicar el módulo de comunicación con la PC (VER ANEXO E).

3.1.4.3 Instalación de las entradas digitales

1. Alimentar desde la bornera de 24V hacia la entrada del pulsador de emergencia.
2. Conectar de la salida del pulsador de emergencia a la entrada digital (0) del plc.
3. Realizar la conexión en paralelo de las entradas del pulsador de emergencia, el pulsador normalmente abierto, el pulsador normalmente cerrado y el selectro de 3 posiciones.
4. Conectar de la salida del pulsador NO a la entrada digital (1) del plc.
5. Conectar de la salida del pulsador NC a la entrada digital (2) del plc.
6. Conectar de la salida del selector de 3 posiciones a las entradas digitales (3 y 4)
7. Conectar la entrada del radar con el terminal positivo de la fuente de 24 V y la salida de radar entrada digital (5) del plc (VER ANEXO F).

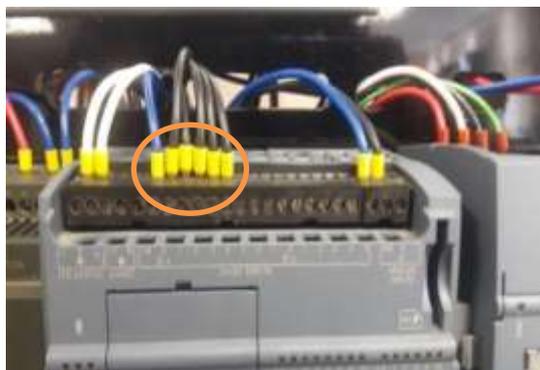


Figura 32-3: Entradas digitales del PLC

Fuente: Autores

3.1.4.4 Instalación de salidas digitales para arranque directo

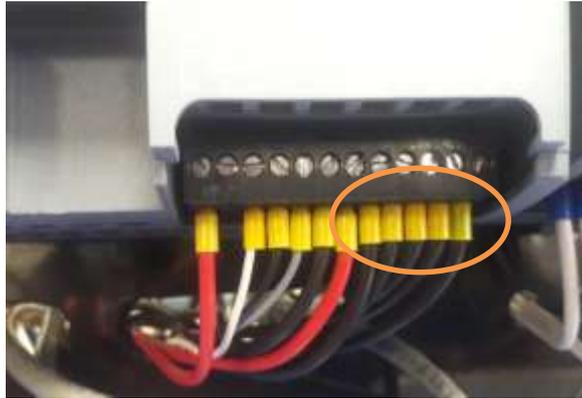


Figura 33-3: Conexión de las salidas digitales
Fuente: Autores

1. Alimentar desde la fuente de alimentación de 24V hacia las salidas digitales (L1 y L2) del plc.
2. Conectar la salida digital (4) del PLC hacia la entrada de la lámpara naranja de inicializado del sistema (h1).
3. Conectar la salida digital (6) del plc hacia la entrada de la lámpara de modo arranque directo (h2).
4. Conectar la salida digital (7) del PLC hacia la entrada de la lámpara (h3).
5. Conectar la salida digital (8) del PLC hacia la entrada de la lámpara (h4).
6. Conectar a salida digital (9) del PLC hacia la entrada de la lámpara (h5).
7. Realizar la conexión en paralelo de las salidas de las lámparas conjuntamente con la fuente 0 V(-).
8. Todas las conexiones se realizan con terminales tipo punta (VER ANEXO G).

3.1.4.5 Procedimiento para la conexión del circuito de potencia



Figura 34-3: Terminales para el circuito de potencia en arranque directo
Fuente: Autores

1. Conectar las salidas del interruptor magnético (2, 4, 6) y el neutro (N) con las entradas del analizador de energía (L1, L2, L3, N).
2. Conectar las las salidas del interruptor magnético (2, 4, 6) con las entradas de los contactos normalmente abiertos del contator (1, 3, 5)
3. Conectar las salidas del interruptor magnético (2, 4, 6) con las entradas de variador de frecuencia (L1, L2, PE).
4. Conectar la salida de analizador de energía I_{L1} y N con las entradas del primer transformador de corriente (S1 y S2) respectivamente.
5. Conectar la salida de analizador de energía I_{L2} y N con las entradas del segundo transformador de corriente (S1 y S2) respectivamente.
6. Conectar la salida de analizador de energía I_{L3} y N con las entradas del tercer transformador de corriente (S1 y S2) respectivamente.
7. Conectar las salidas de los contactos normalmente abiertos (2, 4, 6) con las entradas del motor (U1, V1, W1), atravezando cada línea por los transformadores de corriente.
8. Conectar las salidas del motor (U2, V2, W2) en triángulo (VER ANEXO H).

3.1.4.6 Conexión de las entradas analógicas

1. Conectar en el terminal (0) de las entrada analógicas del PLC 1200 con el terminal variable (2) del potenciómetro el mismo que ayuda a simular un sensor de caudal.

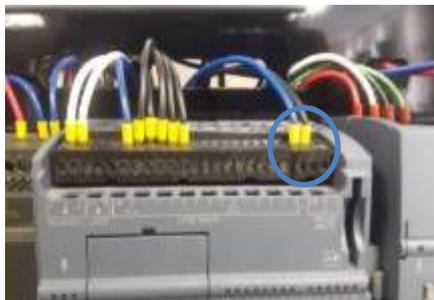


Figura 35-3: Conexión de la entrada analógica

Fuente: Autores

2. Conectar la fuente de energía (8 Y 9) del variador de frecuencia con el terminal (1) del potenciómetro.

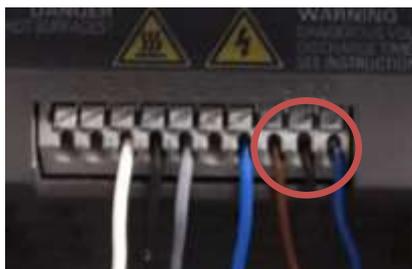


Figura 36-3: Conexión para comunicación entre el variador con el potenciómetro

Fuente: Autores

3. Conectar la fuente de energía (10) del variador de frecuencia con el terminal (3) de potenciómetro (VER ANEXO I).

3.1.4.7 Procedimiento para la conexión de salidas digitales para arranque variador



Figura 37-3: Conexión de las salidas digitales

Fuente: Autores

1. Conectar de las salidas digitales del PLC (1, 2 y 3) a las entrada digitales del variador de frecuencia (3, 4 y 5) respectivamente.
2. Conectar la salida 7 de variador de frecuencia al terminal negativo de la fuente de 24 V CD de esta manera cierra el circuito para que el variador al recibir la señal de cuada y active a diferente frecuencia (VER ANEXO J).

3.1.4.8 Procedimiento para la conexión del circuito de potencia en arranque por variador



Figura 38-3: Terminales para el circuito de potencia en arranque por variador

Fuente: Autores

1. Conectar desde las salidas de los contactos normalmente abiertos (2, 4, 6) con las entradas del motor (U1, V1, W1), pero atravezando cada línea por los tres transformadores de corriente respectivamente.
2. Conectar en paralelo las salidas del variador de frecuencia (U, V, W) con las entradas de los contactos normalmente abiertos (1, 3, 5).
3. Conectar las salidas del motor (U2, V2, W2) en triángulo (VER ANEXO K).

CAPÍTULO IV

4. MEDICIÓN, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Realizar tablas de comparación de los parámetros eléctricos medidos en arranque directo y mediante variación de frecuencia

Para realizar el análisis de eficiencia energética en arranque directo se monitoreó durante un periodo de 12 horas con un caudal alto, medio y bajo así en esta condición el funcionamiento de la bomba centrífuga no dependía del caudal, por ende los valores promedios tanto de frecuencia como de voltaje eran proporcionados directamente por la red de alimentación



Figura 1-4: Toma de datos en arranque directo
Fuente: Autores

Para realizar el análisis de eficiencia energética mediante variación de frecuencia se monitoreó durante un periodo de 12 horas con un caudal alto, medio y bajo así en esta condición el funcionamiento de la bomba centrífuga dependía del caudal, por ende los valores promedios tanto de frecuencia como de voltaje eran proporcionados por el variador de frecuencia en función del caudal requerido por el usuario



Figura 2-4: Toma de datos mediante variación de frecuencia
Fuente: Autores

Tabla 1-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz; 3 válvulas abiertas”.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO DE "MANERA DIRECTA"



DÍA	08/05/2019										
HORA INICIO	08:20 a. m.										
HORA FINAL	12:20 a. m.										
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.	
1	3	124.68	214.33	3.55	1.21	0.52	1.319	0.027	60	0.92	
2	3	123.82	214.47	3.56	1.22	0.52	1.322	0.038	60.01	0.92	
3	3	124	214.77	3.55	1.21	0.51	1.32	0.053	60	0.92	
4	3	123.96	214.68	3.56	1.22	0.51	1.324	0.06	60.02	0.92	
5	3	124.61	215.84	3.55	1.22	0.53	1.329	0.079	60.05	0.92	
6	3	124.54	215.7	3.55	1.22	0.53	1.329	0.093	59.98	0.92	
7	3	124.7	215.99	3.56	1.22	0.53	1.336	0.106	60.07	0.91	
8	3	123.34	213.59	3.57	1.22	0.53	1.327	0.119	59.98	0.92	
9	3	124.01	214.79	3.52	1.21	0.51	1.312	0.135	60.01	0.92	
10	3	123.94	214.67	3.55	1.21	0.52	1.319	0.155	60.02	0.92	
11	3	123.85	214.52	3.53	1.21	0.51	1.314	0.173	59.98	0.92	
12	3	124.25	215.18	2.52	1.21	0.52	1.314	0.187	59.98	0.92	
13	3	123.85	214.52	3.53	1.21	0.51	1.314	0.201	59.98	0.92	
14	3	124.65	215.93	3.52	1.21	0.53	1.319	0.213	60.05	0.92	
15	3	124.63	215.87	3.51	1.21	0.53	1.317	0.215	60.04	0.92	
16	3	123.17	213.34	3.64	1.23	0.54	1.346	0.238	60.09	0.91	
17	3	123.14	213.28	3.62	1.23	0.53	1.344	0.26	60.02	0.92	
18	3	123.28	213.53	3.61	1.23	0.53	1.342	0.273	60.01	0.92	
19	3	123.26	213.5	3.61	1.23	0.53	1.341	0.289	60.08	0.92	
20	3	122.86	212.85	3.63	1.23	0.53	1.345	0.301	60.08	0.91	
21	3	123.52	213.95	3.61	1.24	0.53	1.35	0.316	59.98	0.92	
22	3	123.46	213.84	3.63	1.24	0.54	1.353	0.33	60.01	0.92	
23	3	122.63	212.41	3.63	1.24	0.52	1.344	0.345	60.07	0.92	
24	3	123.04	212.41	3.62	1.23	0.54	1.342	0.36	60.05	0.92	
25	3	122.97	212.99	3.63	1.23	0.54	1.346	0.372	59.98	0.91	
26	3	123.47	213.86	3.59	1.22	0.52	1.333	0.387	60.04	0.92	
27	3	122.93	212.75	3.61	1.22	0.53	1.333	0.408	60.04	0.92	
28	3	123.16	213.32	3.6	1.23	0.53	1.339	0.429	60.05	0.92	
29	3	123.2	213.39	3.55	1.21	0.52	1.314	0.477	60.01	0.92	
30	3	122.69	212.51	3.57	1.21	0.51	1.315	0.491	60.07	0.92	

31	3	123.9	214.58	3.56	1.22	0.51	1.313	0.507	60.02	0.93
32	3	123.03	213.1	3.57	1.21	0.52	1.321	0.518	59.98	0.92
33	3	122.85	212.79	3.57	1.21	0.51	1.316	0.531	60.04	0.92
34	3	122.62	212.37	3.56	1.21	0.51	1.316	0.544	60	0.92
35	3	123.17	213.34	3.56	1.21	0.52	1.321	0.558	60.04	0.92
36	3	123.28	213.48	3.54	1.21	0.51	1.315	0.571	60.04	0.92
37	3	124.52	215.68	3.52	1.21	0.53	1.319	0.588	60.02	0.92
38	3	124.49	215.62	3.52	1.21	0.53	1.317	0.605	60.02	0.92
39	3	124.53	215.69	3.52	1.21	0.52	1.32	0.621	60.04	0.92
40	3	125.42	217.18	3.52	1.21	0.53	1.318	0.639	60	0.92
41	3	124.49	215.62	3.52	1.21	0.53	1.319	0.653	60.01	0.92
42	3	124.21	215.13	3.53	1.21	0.53	1.319	0.662	60.08	0.92
43	3	124.21	215.1	3.53	1.21	0.53	1.32	0.667	60.04	0.92
44	3	124.24	215.23	3.52	1.21	0.52	1.318	0.68	60.02	0.92
45	3	124.63	215.62	2.44	1.15	0.5	1.282	0.693	60.05	0.90
46	3	124.12	214.97	3.53	1.21	0.52	1.319	0.704	60.05	0.92
47	3	124.46	215.49	3.52	1.21	0.52	1.317	0.718	59.98	0.92
48	3	124.64	215.88	3.5	1.2	0.53	1.311	0.731	59.97	0.92
49	3	124.59	215.76	3.48	1.19	0.53	1.301	0.744	60.02	0.91
50	3	124.02	214.81	3.51	1.2	0.52	1.306	0.758	59.98	0.92
51	3	123.86	214.52	3.51	1.2	0.51	1.307	0.771	60.01	0.92
52	3	123.71	214.3	3.51	1.2	0.51	1.307	0.783	60.04	0.92
53	3	123.71	214.34	3.53	1.2	0.51	1.308	0.798	60.05	0.92
54	3	123.82	214.46	3.5	1.19	0.51	1.308	0.813	60.01	0.91
55	3	122.3	211.77	3.6	1.21	0.51	1.32	0.829	60	0.92
56	3	121.75	210.91	3.6	1.21	0.51	1.32	0.842	60	0.92
57	3	121.77	210.91	3.59	1.22	0.51	1.318	0.856	60.04	0.93
58	3	122.34	211.9	3.58	1.21	0.51	1.319	0.853	59.97	0.92
59	3	121.63	210.61	3.59	1.21	0.51	1.321	0.88	59.97	0.92
60	3	121.29	210.07	3.58	1.2	0.51	1.306	0.895	60.01	0.92

Realizado por: Autores

Tabla 2-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz 2 válvulas abiertas”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO DE "MANERA DIRECTA"



DÍA	09/05/2019										
HORA INICIO	08:30 a. m.										
HORA FINAL	12:30 a. m.										
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.	
1	2	121.38	210.26	3.61	1.22	0.51	1.321	0.909	60.02	0.92	
2	2	121.3	210.1	3.62	1.22	0.52	1.323	0.923	60.02	0.92	
3	2	121.15	209.8	3.6	1.21	0.51	1.313	0.938	60.01	0.92	
4	2	121.21	209.94	3.6	1.21	0.51	1.313	0.953	60.01	0.92	
5	2	121.34	210.94	3.59	1.21	0.51	1.31	0.96	60.04	0.92	
6	2	121.3	210.1	3.58	1.21	0.51	1.309	0.98	60	0.92	
7	2	121.59	210.6	3.59	1.21	0.51	1.213	0.994	60.02	0.92	
8	2	121.32	210.14	3.58	1.21	0.51	1.311	1.009	60.02	0.92	
9	2	121.1	209.74	3.56	1.2	0.5	1.298	1.02	60	0.92	
10	2	121.33	210.15	3.58	1.2	0.51	1.358	1.034	60.02	0.88	
11	2	121.54	210.51	3.56	1.2	0.5	1.298	1.051	59.98	0.92	
12	2	120.93	209.45	3.57	1.2	0.5	1.3	1.063	60.04	0.92	
13	2	121.02	209.62	3.56	1.2	0.5	1.295	1.075	59.95	0.93	
14	2	120.69	209.04	3.54	1.18	0.49	1.284	1.087	60	0.92	
15	2	121.41	210.29	3.53	1.18	0.5	1.289	1.102	60.04	0.92	
16	2	121.41	210.29	3.53	1.2	0.51	1.3	1.113	60.01	0.92	
17	2	121.67	210.76	3.53	1.19	0.5	1.292	1.126	60	0.92	
18	2	121.72	210.83	3.53	1.19	0.5	1.291	1.139	60.02	0.92	
19	2	121.06	209.69	3.56	1.19	0.51	1.297	1.161	60.05	0.92	
20	2	121.56	210.55	3.54	1.19	0.51	1.295	1.173	60.01	0.92	
21	2	121.54	210.51	3.55	1.19	0.51	1.3	1.186	60	0.92	
22	2	122.04	211.39	3.54	1.19	0.52	1.301	1.199	60.01	0.91	
23	2	122.05	211.39	3.52	1.19	0.5	1.291	1.212	59.95	0.92	
24	2	122.04	211.39	3.53	1.19	0.5	1.296	1.225	60.01	0.92	
25	2	121.98	211.2	3.53	1.19	0.5	1.294	1.237	60.01	0.92	
26	2	121.76	210.89	3.55	1.2	0.5	1.302	1.249	59.98	0.92	

27	2	121.57	210.57	3.56	1.19	0.52	1.3	1.261	60.01	0.92
28	2	121.45	210.36	3.55	1.19	0.51	1.295	1.274	60	0.92
29	2	121.85	211.05	3.56	1.19	0.51	1.301	1.288	60.02	0.91
30	2	121.68	210.76	3.54	1.19	0.52	1.296	1.3	60.02	0.92
31	2	121.03	209.55	3.56	1.18	0.52	1.289	1.314	60.02	0.92
32	2	120.92	209.43	3.55	1.18	0.51	1.29	1.326	60.02	0.91
33	2	121.19	209.91	3.54	1.18	0.52	1.287	1.339	60	0.92
34	2	121.02	209.7	3.54	1.18	0.51	1.29	1.351	60	0.91
35	2	121.25	210.02	3.54	1.18	0.51	1.29	1.364	59.97	0.91
36	2	121.31	210.12	3.57	1.2	0.51	1.302	1.376	60.05	0.92
37	2	121.4	210.23	3.54	1.19	0.51	1.292	1.39	60.04	0.92
38	2	121.65	210.71	3.54	1.19	0.51	1.293	1.402	60.04	0.92
39	2	121.38	210.25	3.54	1.19	0.51	1.29	1.415	60	0.92
40	2	121.73	210.84	3.55	1.19	0.52	1.297	1.428	60.05	0.92
41	2	121.67	210.72	3.54	1.18	0.52	1.293	1.44	60.01	0.91
42	2	121.92	211.17	3.54	1.19	0.51	1.295	1.453	59.97	0.92
43	2	122.32	211.91	3.54	1.19	0.51	1.301	1.467	60	0.91
44	2	122.24	211.73	3.55	1.2	0.52	1.304	1.479	60.02	0.92
45	2	122.53	212.53	3.55	1.2	0.52	1.308	1.429	60.02	0.92
46	2	122.25	211.74	3.54	1.19	0.52	1.302	1.506	60.01	0.91
47	2	122.43	212.02	3.54	1.2	0.51	1.303	1.518	60.04	0.92
48	2	122.39	211.99	3.55	1.2	0.52	1.309	1.532	60.05	0.92
49	2	122.32	211.91	3.54	1.19	0.51	1.301	1.467	60	0.91
50	2	122.24	211.73	3.55	1.2	0.52	1.304	1.479	60.02	0.92
51	2	122.53	212.53	3.55	1.2	0.52	1.308	1.429	60.02	0.92
52	2	122.25	211.74	3.54	1.19	0.52	1.302	1.506	60.01	0.91

Realizado por: Autores

Tabla 3-4: Datos de parámetros eléctricos a “60 Hz; 1 válvula abierta”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO DE "MANERA DIRECTA"



DÍA	10/05/2019										
HORA INICIO	08:50 a. m.										
HORA FINAL	12:50 p. m.										
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.	
1	1	122.43	212.02	3.54	1.2	0.51	1.303	1.518	60.04	0.92	
2	1	122.39	211.99	3.55	1.2	0.52	1.309	1.532	60.05	0.92	
3	1	122.48	212.11	3.53	1.19	0.52	1.3	1.544	60	0.92	
4	1	122.55	212.26	3.54	1.2	0.52	1.307	1.558	59.98	0.92	
5	1	122.53	212.23	3.53	1.2	0.51	1.303	1.57	60	0.92	
6	1	122.64	212.44	3.53	1.2	0.51	1.303	1.582	60.02	0.92	
7	1	122.82	212.73	3.53	1.2	0.52	1.304	1.595	59.97	0.92	
8	1	122.88	212.84	3.53	1.2	0.51	1.306	1.606	60.04	0.92	
9	1	122.93	212.91	3.53	1.19	0.52	1.302	1.619	60	0.91	
10	1	123.16	213.37	3.51	1.19	0.52	1.302	1.631	59.97	0.91	
11	1	123.41	213.82	3.51	1.19	0.52	1.301	1.643	60.01	0.91	
12	1	123.18	213.29	3.51	1.19	0.52	1.299	1.655	60	0.92	
13	1	123.37	213.68	3.51	1.19	0.52	1.299	1.667	60.02	0.92	
14	1	123.16	213.32	3.53	1.2	0.52	1.309	1.68	60.05	0.92	
15	1	123.03	213.11	3.52	1.2	0.52	1.305	1.694	60.02	0.92	
16	1	122.8	212.83	3.54	1.2	0.52	1.307	1.706	60.01	0.92	
17	1	123.06	213.1	3.51	1.19	0.51	1.3	1.718	60.02	0.92	
18	1	122.77	212.6	3.52	1.19	0.52	1.299	1.731	60.05	0.92	
19	1	122.55	212.26	3.52	1.19	0.51	1.295	1.743	60.02	0.92	
20	1	122.43	212.04	3.53	1.19	0.51	1.297	1.756	60.01	0.92	
21	1	122.43	212.06	3.53	1.19	0.51	1.298	1.768	60.02	0.92	
22	1	122.28	211.8	3.52	1.18	0.51	1.29	1.78	59.94	0.91	

23	1	122.3	211.83	3.53	1.19	0.51	1.295	1.792	60	0.92
24	1	122.3	211.36	3.54	1.19	0.51	1.297	1.804	60.04	0.92
25	1	122.16	211.59	3.54	1.19	0.51	1.295	1.817	60.01	0.92
26	1	122.18	211.66	3.5	1.19	0.51	1.296	1.829	60.04	0.92
27	1	122.35	212.02	3.52	1.19	0.51	1.292	1.841	59.98	0.92
28	1	122.42	212.05	3.53	1.19	0.51	1.298	1.853	60.02	0.92
29	1	122.42	212.22	3.53	1.19	0.52	1.297	1.864	59.97	0.92
30	1	122.56	212.28	3.54	1.2	0.52	1.304	1.876	60.01	0.92
31	1	122.43	212.06	3.53	1.19	0.51	1.299	1.889	60.01	0.92
32	1	122.54	212.24	3.53	1.19	0.51	1.298	1.901	60.01	0.92
33	1	122.93	212.92	3.59	1.22	0.53	1.326	1.914	59.97	0.92
34	1	123	213.05	3.59	1.22	0.53	1.326	1.925	59.97	0.92
35	1	122.35	211.92	3.63	1.23	0.53	1.336	1.938	59.97	0.92
36	1	122.95	212.96	3.6	1.22	0.53	1.331	1.95	60.08	0.92
37	1	122.81	212.72	3.59	1.22	0.53	1.328	1.962	60.07	0.92
38	1	122.66	212.44	3.59	1.21	0.53	1.324	1.975	60.04	0.91
39	1	122.92	212.91	3.57	1.21	0.52	1.317	1.986	60	0.92
40	1	122.54	212.23	3.58	1.21	0.53	1.32	1.999	59.97	0.92
41	1	122.52	212.21	3.58	1.21	0.52	1.319	2.011	60.01	0.92
42	1	122.6	212.34	3.57	1.21	0.53	1.317	2.023	60.02	0.92
43	1	121.93	211.19	3.59	1.21	0.52	1.315	2.036	60.05	0.92
44	1	122.28	211.81	3.59	1.21	0.52	1.321	2.048	60.05	0.92

Realizado por: Autores

Tabla 4-4: Datos de parámetros eléctricos a “45 Hz; 3 válvulas abiertas”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO MEDIANTE "VARIACIÓN DE FRECUENCIA"



DÍA	13/05/2019										
HORA INICIO	08:28 a. m.										
HORA FINAL	12:28 a. m.										
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.	
1	3	103.16	178.72	2.57	0.658	0.33	0.797	0.0382	45.12	0.83	
2	3	103.41	179.09	2.56	0.656	0.33	0.795	0.0457	45.13	0.83	
3	3	103.21	178.8	2.56	0.657	0.33	0.794	0.0530	45.12	0.83	
4	3	103.58	179.4	2.56	0.653	0.33	0.794	0.0608	45.18	0.82	
5	3	103.59	179.42	2.56	0.652	0.33	0.792	0.0683	45.03	0.82	
6	3	103.18	178.72	2.56	0.658	0.33	0.796	0.0756	45.15	0.83	
7	3	103.5	179.45	2.55	0.656	0.33	0.795	0.0831	45.1	0.83	
8	3	103.33	178.97	2.55	0.655	0.33	0.792	0.0906	45.13	0.83	
9	3	103.73	179.66	2.55	0.652	0.33	0.791	0.0984	45.09	0.82	
10	3	103.66	179.55	2.55	0.656	0.33	0.796	0.1054	45.14	0.84	
11	3	103.48	179.29	2.55	0.656	0.33	0.796	0.1131	45.18	0.82	
12	3	103.34	179.08	2.55	0.657	0.33	0.795	0.1209	45.06	0.83	
13	3	103.65	179.61	2.55	0.653	0.33	0.791	0.1283	45.18	0.82	
14	3	103.52	179.16	2.55	0.654	0.33	0.793	0.1360	45.14	0.83	
15	3	103.43	179.02	2.55	0.654	0.33	0.79	0.1436	45.2	0.83	
16	3	103.5	179.02	2.55	0.656	0.33	0.795	0.1510	45.08	0.83	
17	3	103.59	179.43	2.55	0.655	0.33	0.793	0.1588	45.12	0.83	
18	3	103.66	179.46	2.55	0.654	0.33	0.792	0.1659	45.15	0.83	
19	3	103.27	178.87	2.55	0.658	0.33	0.795	0.1735	45.2	0.83	
20	3	103.61	179.46	2.55	0.654	0.33	0.792	0.1802	45.09	0.83	
21	3	103.7	179.55	2.55	0.653	0.33	0.792	0.1879	45.10	0.83	
22	3	103.5	179.26	2.55	0.654	0.33	0.794	0.1945	45.11	0.82	
23	3	103.45	179.18	2.55	0.657	0.33	0.794	0.2029	45.13	0.83	
24	3	103.61	179.46	2.55	0.652	0.33	0.79	0.2013	45.12	0.82	
25	3	103.37	179	2.55	0.656	0.33	0.793	0.2172	45.12	0.83	
26	3	103.49	179.25	2.55	0.655	0.33	0.791	0.2256	45.12	0.83	
27	3	103.11	178.36	2.55	0.656	0.33	0.79	0.2331	45.09	0.83	
28	3	103.45	179.28	2.55	0.654	0.33	0.791	0.2404	45.06	0.83	
29	3	103.12	178.78	2.55	0.657	0.33	0.793	0.2477	45.19	0.83	
30	3	103.14	179.78	2.55	0.657	0.33	0.794	0.2553	45.13	0.83	

31	3	103.33	178.78	2.55	0.655	0.33	0.792	0.2626	45.17	0.83
32	3	103.41	179.12	2.55	0.654	0.33	0.79	0.2698	45.13	0.83
33	3	103.66	179.55	2.55	0.655	0.33	0.793	0.2776	45.09	0.83
34	3	103.52	179.38	2.55	0.654	0.33	0.791	0.2848	45.16	0.83
35	3	103.75	179.59	2.55	0.653	0.33	0.792	0.2919	45.05	0.82
36	3	103.34	178.99	2.55	0.656	0.33	0.794	0.2999	45.26	0.83
37	3	103.33	178.97	2.55	0.655	0.33	0.791	0.3077	45.10	0.83
38	3	93.24	163.8	2.08	0.466	0.29	0.596	0.3154	45.00	0.78
39	3	103.39	179.08	2.55	0.652	0.33	0.788	0.3227	45.10	0.83
40	3	103.4	179.08	2.55	0.654	0.33	0.79	0.3296	45.10	0.83
41	3	103.3	178.91	2.55	0.656	0.33	0.794	0.3374	45.18	0.83
42	3	103.16	178.68	2.55	0.656	0.33	0.792	0.3445	45.09	0.83
43	3	103.29	178.98	2.55	0.659	0.33	0.796	0.3519	45.17	0.83
44	3	103.53	179.17	2.55	0.651	0.33	0.788	0.3595	45.07	0.83
45	3	103.53	179.56	2.55	0.652	0.33	0.79	0.3675	45.09	0.82
46	3	103.49	179.22	2.54	0.654	0.33	0.79	0.3743	45.10	0.83
47	3	103.28	178.89	2.55	0.655	0.33	0.793	0.3816	45.24	0.83
48	3	103.41	179.06	2.55	0.652	0.33	0.788	0.3894	45.12	0.83
49	3	103.41	179.41	2.55	0.653	0.33	0.789	0.397	45.10	0.83
50	3	103.45	179.14	2.55	0.653	0.33	0.789	0.4045	45.10	0.83
51	3	103.45	179.4	2.55	0.651	0.33	0.789	0.4115	45.04	0.83
52	3	103.45	178.61	2.55	0.657	0.33	0.793	0.4194	45.09	0.83
52	3	103.13	178.63	2.55	0.655	0.32	0.79	0.4269	45.2	0.83
53	3	103.41	178.95	2.55	0.655	0.33	0.791	0.434	45.09	0.83
54	3	103.69	179.6	2.55	0.651	0.33	0.789	0.4412	45.04	0.82
55	3	103.44	179.16	2.55	0.654	0.33	0.793	0.4495	45.19	0.82
56	3	104.2	180.5	2.55	0.653	0.31	0.792	0.4568	45.15	0.82
57	3	103.37	179.05	2.54	0.652	0.32	0.789	0.4643	45.18	0.83
58	3	103.59	179.42	2.54	0.65	0.33	0.788	0.4718	45	0.83
59	3	103.58	179.41	2.54	0.657	0.33	0.795	0.48	45.09	0.83
60	3	103.58	179.41	2.55	0.65	0.33	0.788	0.4874	45.16	0.82

Realizado por: Autores

Tabla 5-4: Datos de parámetros eléctricos a “35 Hz; 2 válvulas abiertas”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ACCIONADO MEDIANTE "VARIACIÓN DE FRECUENCIA"



DÍA	14/05/2019									
HORA INICIO	08:35 a. m.									
HORA FINAL	12:35 a. m.									
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.
1	2	83.89	145.41	1.81	0.327	0.24	0.456	0.494	35	0.72
2	2	83.98	145.17	1.81	0.326	0.24	0.455	0.4991	35	0.72
3	2	83.89	145.23	1.81	0.326	0.24	0.456	0.5048	35	0.72
4	2	84.11	145.67	1.82	0.327	0.24	0.456	0.5154	35	0.72
5	2	84.02	145.43	1.81	0.327	0.24	0.457	0.5206	35	0.71
6	2	84.17	145.83	1.82	0.327	0.24	0.458	0.5258	35	0.71
7	2	84.33	146.06	1.81	0.327	0.24	0.457	0.5313	35	0.71
8	2	84.27	146.33	1.81	0.327	0.24	0.458	0.5364	35	0.71
9	2	84.25	145.92	1.82	0.327	0.24	0.46	0.5417	35	0.71
10	2	84.25	145.92	1.81	0.326	0.24	0.458	0.5475	35	0.71
11	2	84.27	145.43	1.82	0.327	0.23	0.457	0.5525	35	0.71
12	2	84.47	146.3	1.81	0.327	0.24	0.459	0.5569	35	0.71
13	2	84.43	146.38	1.81	0.327	0.24	0.459	0.5624	35	0.71
14	2	84.4	146.55	1.82	0.327	0.24	0.461	0.5675	35	0.71
15	2	84.43	146.24	1.81	0.327	0.24	0.459	0.5726	35	0.71
16	2	84.36	146.43	1.82	0.327	0.24	0.46	0.5774	35	0.71
17	2	84.43	146.25	1.81	0.326	0.24	0.458	0.5828	35	0.71
18	2	84.38	146.4	1.81	0.327	0.24	0.459	0.5882	35	0.71
19	2	84.23	145.89	1.81	0.327	0.24	0.457	0.5931	35	0.71
20	2	83.88	145.28	1.81	0.326	0.24	0.456	0.5984	35	0.71
21	2	84.07	145.29	1.81	0.327	0.24	0.457	0.6037	35	0.72
22	2	83.86	145.26	1.81	0.327	0.24	0.457	0.6086	35	0.72
23	2	83.91	145.3	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6139	35	0.72
24	2	83.99	145.46	1.82	0.327	0.24	0.458	0.6193	35	0.71
25	2	83.76	145.11	1.81	0.327	0.24	0.457	0.6237	35	0.72
26	2	83.84	145.22	1.82	0.327	0.24	0.458	0.6291	35	0.71

27	2	83.93	145.27	1.82	0.327	0.24	0.456	0.6345	35	0.72
28	2	83.85	145.33	1.82	0.327	0.24	0.458	0.6397	35	0.71
29	2	83.78	145.12	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6446	35	0.72
30	2	83.98	145.45	1.81	0.327	0.24	0.456	0.65	35	0.72
31	2	83.81	145.16	1.82	0.326	0.24	0.457	0.655	35	0.71
32	2	83.73	145.02	1.82	0.327	0.24	0.456	0.6599	35	0.72
33	2	83.81	145.27	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6655	35	0.72
34	2	83.93	145.12	1.81	0.327	0.24	0.456	0.6704	35	0.72
35	2	83.9	145.29	1.81	0.326	0.24	0.456	0.6753	35	0.72
36	2	83.97	145.4	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6801	35	0.71
37	2	83.99	145.88	1.82	0.326	0.24	0.457	0.6856	35	0.71
38	2	84.01	145.51	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6906	35	0.71
39	2	83.84	145.22	1.82	0.327	0.24	0.457	0.6955	35	0.71
40	2	83.99	145.88	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7017	35	0.72
41	2	83.98	145.35	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7078	35	0.72
42	2	83.79	145.12	1.82	0.327	0.24	0.457	0.7121	35	0.72
43	2	84.08	145.63	1.82	0.327	0.24	0.457	0.7171	35	0.72
44	2	83.82	145.18	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7222	35	0.72
45	2	83.81	145.16	1.81	0.326	0.24	0.455	0.7272	35	0.72
46	2	83.86	145.03	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7327	35.00	0.72
47	2	83.6	145.07	1.82	0.327	0.24	0.455	0.7381	35	0.72
48	2	83.66	145.15	1.82	0.327	0.24	0.455	0.743	35	0.72
49	2	83.71	145.01	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7484	35.00	0.72
46	2	83.86	145.03	1.81	0.327	0.24	0.456	0.7535	35.00	0.72
47	2	83.89	145.13	1.81	0.326	0.24	0.456	0.7585	35	0.71
48	2	83.6	144.68	1.82	0.327	0.24	0.455	0.7636	35	0.72

Realizado por: Autores

Tabla 6-4: Datos de parámetros eléctricos a “25 Hz; 1 válvula abierta”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ACCIONADO MEDIANTE "VARIACIÓN DE FRECUENCIA"



DÍA	15/05/2019										
HORA INICIO	08:25 a. m.										
HORA FINAL	12:25 a. m.										
N° Encendidos	Válvulas	Voltaje L/N (V)	Voltaje L/L (V)	Intensidad (A)	P. Activa kW	P. Reactiva (kVar)	P. Aparente (kVA)	P. Consumida (kWh)	Frecuencia (Hz)	Factor de P.	
1	1	65.2	112.95	1.42	0.144	0.17	0.276	0.7676	25	0.51	
2	1	65.23	112.98	1.42	0.144	0.17	0.276	0.7715	25	0.52	
3	1	65.28	112.96	1.41	0.143	0.17	0.276	0.7754	25	0.52	
4	1	65.2	112.95	1.42	0.144	0.17	0.276	0.7793	25	0.51	
5	1	65.18	112.89	1.42	0.144	0.18	0.278	0.7831	25	0.52	
6	1	65.18	112.79	1.43	0.144	0.18	0.278	0.7871	25	0.52	
7	1	65.36	113.12	1.42	0.144	0.17	0.278	0.7908	25	0.52	
8	1	65.54	113.6	1.41	0.144	0.17	0.277	0.7946	25	0.52	
9	1	65.65	113.7	1.43	0.144	0.18	0.281	0.7985	25	0.51	
10	1	65.41	113.3	1.42	0.145	0.17	0.278	0.8026	25	0.52	
11	1	65.81	113.98	1.42	0.145	0.18	0.281	0.8058	25	0.52	
12	1	65.41	113.3	1.42	0.145	0.17	0.278	0.811	25	0.52	
13	1	65.45	113.13	1.42	0.144	0.17	0.279	0.815	25	0.52	
14	1	65.66	113.73	1.42	0.144	0.17	0.279	0.8185	25	0.52	
15	1	65.97	114.27	1.42	0.144	0.18	0.282	0.8229	25	0.51	
16	1	66.12	114.63	1.42	0.143	0.17	0.281	0.8272	25	0.51	
17	1	66.26	114.77	1.43	0.144	0.18	0.283	0.8313	25	0.51	
18	1	65.45	113.13	1.42	0.144	0.17	0.279	0.8355	25	0.52	

19	1	65.98	114.37	1.41	0.144	0.17	0.281	0.8393	25	0.51
20	1	66.32	114.88	1.42	0.145	0.17	0.283	0.8433	25	0.51
21	1	66.14	114.55	1.42	0.144	0.17	0.281	0.8472	25	0.51
22	1	66.66	115.52	1.43	0.145	0.18	0.285	0.8514	25	0.51
23	1	66.45	115.02	1.42	0.144	0.18	0.284	0.8561	25	0.51
24	1	66.25	114.75	1.42	0.144	0.17	0.281	0.8602	25	0.51
25	1	66.05	114.4	1.43	0.145	0.18	0.282	0.8642	25	0.51
26	1	65.63	113.77	1.43	0.145	0.18	0.282	0.8685	25	0.51
27	1	66.14	114.55	1.42	0.144	0.17	0.281	0.8736	25	0.51
28	1	65.62	113.48	1.42	0.144	0.17	0.278	0.8774	25	0.52
29	1	66.32	114.88	1.42	0.145	0.17	0.283	0.8818	25	0.51
30	1	65.39	113.26	1.42	0.145	0.18	0.278	0.8856	25	0.52
31	1	65.25	112.9	1.42	0.144	0.18	0.278	0.8894	25	0.52
32	1	65.27	112.98	1.42	0.144	0.18	0.278	0.8939	25	0.52
33	1	65.19	112.92	1.42	0.144	0.18	0.278	0.8978	25	0.52
34	1	65.22	112.97	1.42	0.144	0.17	0.277	0.902	25	0.52
35	1	66.32	114.88	1.42	0.145	0.17	0.283	0.9062	25	0.51
36	1	65.27	112.98	1.42	0.144	0.18	0.278	0.9102	25	0.51

Realizado por: Autores

(VER ANEXO L).

Análisis sistema de bombeo accionado de manera directa

Mediante el análisis del sistema de bombeo accionado de manera directa se logró determinar el consumo de energía en un periodo de 12 horas de funcionamiento en condiciones de consumo alto, medio y bajo, alcanzado un consumo energético total de 2.048 kWh.

Análisis sistema de bombeo mediante variación de frecuencia

Mediante el análisis del sistema con variación de frecuencia se logró constatar una reducción de la intensidad y el voltaje al variar la frecuencia se logró una reducción significativa del consumo de energía durante 12 horas de funcionamiento, alcanzado un consumo total de 0.9107 kWh.

4.2 Costo del consumo de energía en el sistema de bombeo.

Tabla 7-4: Resultado del consumo de energía eléctrica

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MÉCANICA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO



Sector: Residencial

Nivel de voltaje (201- 250) V

Costo por kWh = \$ 0.099 = 9.90 ctvs

Resultados del Consumo de Energía

	Análisis Diario		Análisis Mensual		Análisis Anual		Ahorro Económico
	Consumo Eléctrico Diario (kWh)	Gasto Diario	Consumo Eléctrico Mensual (kWh)	Gasto Mensual	Consumo Eléctrico Anual (kWh)	Gasto Anual	
Sistema de Bombeo Accionado de Manera directa	2.048	\$ 0.2	61.44	\$ 6.1	737.28	\$ 73.0	\$ 40.55
Sistema de Bombeo Accionado con un Sistema de Variación de Frecuencia	0.9102	\$ 0.090	27.306	\$ 2.7	327.672	\$ 32.4	
Porcentaje de ahorro de energía	55.56 %						

Realizado por: Autores

Análisis

Mediante el sistema de variación de frecuencia se logra un ahorro muy importante, se reduce alrededor del 55.56% de consumo de energía eléctrica total.

Por lo cual es muy recomendado la automatización de un sistema de bombeo accionado mediante variación de frecuencia.

4.3 Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual para una vivienda, accionado mediante arranque directo y variación de frecuencia

Datos:

$V_{\text{tanque succión}} = 4.000 \text{ lt}$
 $V_{\text{tanque descarga}} = 400 \text{ lt}$
 $\text{Consumo total diario} = 800 \text{ lt}$
 $t_{\text{llenado tanque}} = 7.40 \text{ minutos}$
 $C_E = \text{consumo de energía eléctrica}$

Horario de Consumo

05:00 a 08:00 = 200 lt
 08:00 a 12:00 = 100 lt
 12:00 a 14:00 = 200 lt
 14:00 a 18:00 = 100 lt
 18:00 a 22:00 = 200 lt
 Total consumo diario = 800 lt

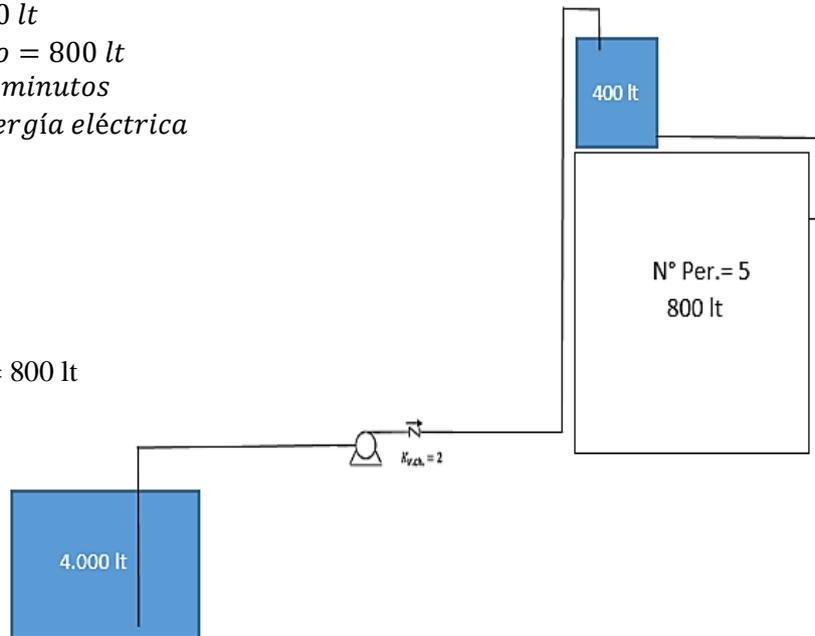


Figura 3-4: Consumo de energía de una vivienda
Realizado por: Autores

4.3.1 Accionado en modo directo

4.3.1.1 Tiempo llenado del tanque de descarga “400 lt” a “60 Hz”

$$\begin{aligned}
 45 \text{ lt} &\rightarrow 50 \text{ s} \\
 400 \text{ lt} &\rightarrow t_{\text{llenado}} \\
 t_{\text{llenado}} &= \frac{(400 \text{ lt} * 50 \text{ s})}{45 \text{ lt}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{llenado}} &= 444.44 \text{ seg} \\
 t_{\text{llenado}} &= 7.40 \text{ min}
 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga

$$\begin{aligned}
 0.014 \text{ kWh} &\rightarrow 50 \text{ s} \\
 C_E &\rightarrow 444.44 \text{ s} \\
 C_E &= \frac{(0.014 \text{ kWh} * 444.44 \text{ s})}{50 \text{ s}} \\
 C_E &= 0.124 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Debido a que el volumen del tanque de descarga es de 400 lt y el consumo diario por los usuarios es de 800 lt, la bomba centrífuga de accionara 2 veces por día, por lo cual el consumo de energía activa se multiplica por 2, para calcular el costo diario de energía eléctrica por la bomba.

$$C_E \text{ diario} = 0.124 \text{ kWh} * 2$$

$$C_E \text{ diario} = 0.248 \text{ kWh}$$

$$C_E \text{ mensual} = 7.47 \text{ kWh}$$

4.3.1.3 *Calculo del costo diario de energía eléctrica mediante arranque directo*

$$\text{Costo diario} = 0.248 \text{ kWh} * 0.099$$

$$\text{Costo diario} = 0.024 \text{ USD}$$

$$\text{Costo diario} = 2.46 \text{ centavos}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.024 \text{ USD} * 30 \text{ dias}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.72 \text{ USD}$$

4.3.2 *Accionado mediante sistema de variación de frecuencia*

4.3.2.1 *Tiempo llenado del tanque de descarga "400 lt" alto caudal "45 Hz"*

$$45 \text{ lt} \quad \rightarrow \quad 60 \text{ s}$$

$$400 \text{ lt} \quad \rightarrow \quad t_{\text{llenado}}$$

$$t_{\text{llenado}} = \frac{(400 \text{ lt} * 60 \text{ s})}{45 \text{ lt}}$$

$$t_{\text{llenado}} = 533.33 \text{ s}$$

$$t_{\text{llenado}} = 8.88 \text{ min}$$

4.3.2.2 *Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga*

$$0.0066 \text{ kWh} \quad \rightarrow \quad 60 \text{ s}$$

$$C_E \rightarrow 533.33 \text{ s}$$

$$C_E = \frac{(0.0066 \text{ kWh} * 533.33 \text{ s})}{60}$$

$$C_E = 0.058 \text{ kWh}$$

4.3.3.3 *Tiempo llenado del tanque de descarga "400 lt" bajo caudal "35 Hz"*

$$45 \text{ lt} \quad \rightarrow \quad 70 \text{ s}$$

$$400 \text{ lt} \quad \rightarrow \quad t_{\text{llenado}}$$

$$t_{\text{llenado}} = \frac{(400 \text{ lt} * 70 \text{ s})}{45 \text{ lt}}$$

$$t_{\text{llenado}} = 622.22 \text{ s}$$

$$t_{\text{llenado}} = 10.37 \text{ min}$$

4.3.3.4 *Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga*

$$0.0054 \text{ kWh} \quad \rightarrow \quad 70 \text{ s}$$

$$C_E \rightarrow 622.22 \text{ s}$$

$$C_E = \frac{(0.0054 \text{ kWh} * 622.22 \text{ s})}{70 \text{ s}}$$

$$C_E = 0.048 \text{ kWh}$$

4.3.3.5 *Calculo del consumo de energía total diario mediante variación de frecuencia*

$$C_E \text{ diario} = 0.058 \text{ kWh} + 0.048 \text{ kWh}$$

$$C_E \text{ diario} = 0.106 \text{ kWh}$$

$$C_E \text{ mensual} = 3.18 \text{ kWh}$$

4.3.3.6 *Calculo del costo diario de energía eléctrica mediante variación de frecuencia*

$$\text{Costo diario} = 0.106 \text{ kWh} * 0.099$$

$$\text{Costo diario} = 0.010 \text{ USD}$$

$$\text{Costo diario} = 1.049 \text{ centavos}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.010 \text{ USD} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.30 \text{ USD}$$

Análisis

Mediante un sistema de variación de frecuencia se genera un ahorro de consumo de energía del 57.24 %, generando un ahorro económico mensual de 0.50 centavos de dólar americanos.

4.4 Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual para un edificio, accionado mediante arranque directo y variación de frecuencia

Datos:

$$V_{\text{tanque succión}} = 100.000 \text{ lt}$$

$$V_{\text{tanque descarga}} = 8.000 \text{ lt}$$

$$\text{Consumo total diario} = 24.000 \text{ lt}$$

Horario de Consumo

- 05:00 a 08:00 = 7000 lt
- 08:00 a 12:00 = 2000 lt
- 12:00 a 14:00 = 5000 lt
- 14:00 a 18:00 = 3000 lt
- 18:00 a 22:00 = 7000 lt
- Total consumo diario = 24000 lt
- Nº de pisos = 10
- Nº de departamentos por piso = 3
- Total de departamentos = 30
- Consumo de agua por piso = 2400 lt

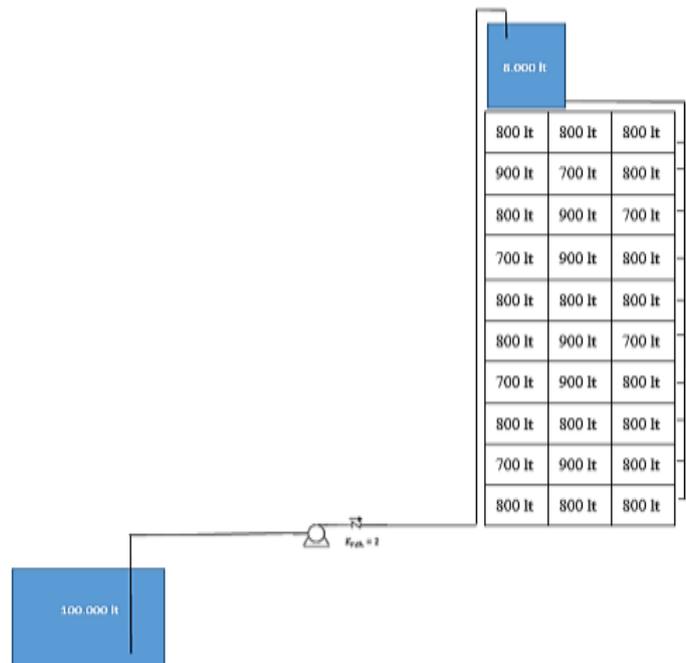


Figura 4-4. Consumo de energía de un edificio.
Realizado por: Autores

4.4.1 Accionado en modo directo

4.4.1.1 Tiempo llenado del tanque de descarga “8000 lt” a “60 Hz”

$$45 \text{ lt} \rightarrow 50 \text{ s}$$

$$8000 \text{ lt} \rightarrow t_{\text{llenado}}$$

$$t_{\text{llenado}} = \frac{(8000 \text{ lt} * 50 \text{ s})}{45 \text{ lt}}$$

$$t_{\text{llenado}} = 8888.89 \text{ s}$$

$$t_{\text{llenado}} = 148.15 \text{ min}$$

4.4.1.2 Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga

$$\begin{aligned} 0.014 \text{ kWh} &\rightarrow 50 \text{ s} \\ C_E &\rightarrow 8888.89 \text{ s} \\ C_E &= \frac{(0.014 \text{ kWh} * 8888.89 \text{ s})}{50 \text{ s}} \\ C_E &= 2.488 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Debido a que el volumen del tanque de descarga es de 8.000 lt y el consumo diario por los usuarios es de 24.000 lt, la bomba centrífuga de accionara 3 veces por día, por lo cual el consumo de energía activa se multiplica por 3, para calcular el costo diario de energía eléctrica por la bomba.

$$\begin{aligned} C_E \text{ diario} &= 2.488 \text{ kWh} * 3 \\ C_E \text{ diario} &= 7.464 \text{ kWh} \\ C_E \text{ mensual} &= 223.92 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.4.1.3 Calculo del costo diario de energía eléctrica mediante arranque directo

$$\begin{aligned} \text{Costo diario} &= 7.466 \text{ kWh} * 0.14 \\ \text{Costo diario} &= \$ 1.04 \\ \text{Costo diario} &= 104.52 \text{ centavos} \\ \text{Costo mensual} &= \$ 1.04 * 30 \text{ dias} \\ \text{Costo mensual} &= \$ 31.20 \end{aligned}$$

4.4.2 Accionado mediante sistema de variación de frecuencia

4.4.2.1 Tiempo llenado del tanque de descarga “8000 lt” alto caudal “45 Hz”

$$\begin{aligned} 45 \text{ lt} &\rightarrow 60 \text{ s} \\ 8000 \text{ lt} &\rightarrow t_{\text{llenado}} \\ t_{\text{llenado}} &= \frac{(8000 \text{ lt} * 60 \text{ s})}{45 \text{ lt}} \\ t_{\text{llenado}} &= 10666.67 \text{ s} \\ t_{\text{llenado}} &= 177.78 \text{ min} \end{aligned}$$

4.4.2.2 Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga

$$\begin{aligned} 0.0066 \text{ kWh} &\rightarrow 60 \text{ s} \\ C_E &\rightarrow 10666.67 \text{ seg} \\ C_E &= \frac{(0.0066 \text{ kWh} * 10666.67 \text{ s})}{60 \text{ s}} \\ C_E &= 1.173 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.4.2.3 Tiempo llenado del tanque de descarga “8000 lt” caudal medio “35 Hz”

$$\begin{aligned} 45 \text{ lt} &\rightarrow 70 \text{ s} \\ 8000 \text{ lt} &\rightarrow t_{\text{llenado}} \\ &59 \end{aligned}$$

$$t_{\text{llenado}} = \frac{(8000 \text{ lt} * 70 \text{ s})}{45 \text{ lt}}$$

$$t_{\text{llenado}} = 12444.44 \text{ seg}$$

$$t_{\text{llenado}} = 207.51 \text{ min}$$

4.4.2.4 Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga

$$\begin{aligned} 0.0054 \text{ kWh} &\rightarrow 70 \text{ s} \\ C_E &\rightarrow 12444.44 \text{ s} \end{aligned}$$

$$C_E = \frac{(0.0054 \text{ kWh} * 12444.44 \text{ s})}{70 \text{ s}}$$

$$C_E = 0.959 \text{ kWh}$$

4.4.2.5 Tiempo llenado del tanque de descarga "8000 lt" bajo caudal "45 Hz"

$$\begin{aligned} 45 \text{ lt} &\rightarrow 60 \text{ s} \\ 8000 \text{ lt} &\rightarrow t_{\text{llenado}} \\ t_{\text{llenado}} &= \frac{(8000 \text{ lt} * 60 \text{ s})}{45 \text{ lt}} \end{aligned}$$

$$t_{\text{llenado}} = 10666.67 \text{ s}$$

$$t_{\text{llenado}} = 177.78 \text{ min}$$

4.4.2.6 Consumo de energía activa por cada llenado del tanque de descarga

$$\begin{aligned} 0.0066 \text{ kWh} &\rightarrow 60 \text{ s} \\ C_E &\rightarrow 10666.67 \text{ s} \end{aligned}$$

$$C_E = \frac{(0.0066 \text{ kWh} * 10666.67 \text{ s})}{60 \text{ s}}$$

$$C_E = 1.173 \text{ kWh}$$

4.4.2.7 Calculo del consumo de energía total diario mediante sistema de variación de frecuencia

$$C_E \text{ diario} = (1.173 + 0.959 + 1.173) \text{ kWh}$$

$$C_E \text{ diario} = 3.305 \text{ kWh}$$

$$C_E \text{ mensual} = 99.15 \text{ kWh}$$

4.4.2.8 Calculo del costo diario de energía eléctrica mediante variación de frecuencia

$$\text{Costo diario} = 3.305 \text{ kWh} * 0.14$$

$$\text{Costo diario} = 0.463 \text{ USD}$$

$$\text{Costo diario} = 46.27 \text{ centavos}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.463 \text{ USD} * 30 \text{ dias}$$

$$\text{Costo mensual} = 13.89 \text{ USD}$$

Análisis

Mediante un sistema de variación de frecuencia se genera un ahorro de consumo de energía del 55.48 % generando un ahorro económico mensual de 17.31 USD.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Antes de realizar un proyecto se debe hacer un análisis minucioso de todos los requerimientos así para nuestro proyecto se necesitó tres software (Solid Works, Tia Portal V.15, Eplan Electric), tanto para el diseño, selección del material, programación de los equipos de mando control y automatización, además se debe tener en cuenta las características y versiones de los equipos de automatización debido a que en el mercado existe una gran cantidad de equipos para automatizar a pesar que son de la misma marca estos no son compatibles unos a otros, provocando inconvenientes a la hora de utilizarlos.

Una vez elaborado el módulo de sistema de bombeo se monitoreó en las dos condiciones dando como resultado, en arranque directo valores promedios de voltaje, intensidad, potencia y frecuencia igual a ($U= 212 \text{ V}$, $I=3.55 \text{ A}$, $P =1,21 \text{ kW}$ a una $f = 60 \text{ Hz}$) sin importar el caudal requerido por el usuario, mientras con un sistema de variación de frecuencia estos valores promedios disminuyen mientras baja la frecuencia de funcionamiento del sistema debido a que depende del caudal requerido por el usuario, los valores promedios fueron: caudal alto ($U= 179 \text{ V}$, $I=2.56 \text{ A}$, $P =0.656 \text{ kW}$ a una $f = 45 \text{ Hz}$), caudal medio ($U= 145 \text{ V}$, $I=1.82 \text{ A}$, $P =0.327 \text{ kW}$ a una $f = 35 \text{ Hz}$) y con un consumo de caudal bajo disminuyó a ($U= 114 \text{ V}$, $I=1.42 \text{ A}$, $P =0.144 \text{ kW}$ a una $f = 25 \text{ Hz}$) .

Al monitorear durante un periodo de 12 horas en cada condición de funcionamiento mediante arranque directo y controlado por un sistema de variación de frecuencia, se obtuvo un consumo total de energía eléctrica activa en arranque directo de 2.048 kWh, mientras que en arranque por variación de frecuencia consumió 0.9102 kWh lo que representa un ahorro del 55.56 % de energía activa consumida.

El costo mensual a pagar durante el funcionamiento de la bomba centrífuga en arranque directo es de \$ 6.10 y mediante el sistema de variación de frecuencia se reduce a \$ 2.70 lo cual significa un ahorro económico importante del 55.56%, por ende la implementación de un sistema de bombeo controlado por un sistema de variación de frecuencia es un proyecto factible tanto técnicamente como económicamente.

Recomendaciones

Proporcionar al personal encargado de la operación del sistema de bombeo una capacitación del funcionamiento y arranque del sistema para obtener buenos resultados en cada análisis realizado y de esta manera evitar daños del sistema de bombeo.

Evitar reducir excesivamente la frecuencia de funcionamiento del sistema de bombeo debido a que el motor eléctrico tiende a recalentarse por la falta de trabajo del ventilador. En caso de reducir excesivamente la frecuencia de funcionamiento del sistema se recomienda utilizar una ventilación forzada.

Realizar un mantenimiento preventivo semestral del sistema de bombeo, principalmente de la bomba centrífuga para mantener su funcionamiento correcto y evitar daños en los elementos críticos del equipo tales como: sello mecánico, impeler, rodamientos y otros elementos críticos del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

ARCANEL. *Piego tarifario para las empresas electricas.* [En línea] 2019. [Consulta: 28 de Mayo de 2018.] Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf>.

BRADLEY, Allen. *Cuándo utilizar un arrancador suave o un variador de frecuencia.* [En línea] 2014. [Consulta: 08 de Abril de 2019.] Disponible en: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/150-wp007_-es-p.pdf.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. *Variadores de frecuencia -Sistemas de bombeo-Bombeo de agua potable municipal Estados y municipios.* [En línea] 2014. [Consulta: 14 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/variadores-de-frecuencia-sistemas-de-bombeo-bombeo-de-agua-potable-municipal-estados-y-municipios?state=published>.

DÍAZ, Ricardo. *Estudio de eficiencia energética.* [En línea] 2015. [Consulta: 05 de Junio de 2019.] Disponible en: <http://www.circutor.com/es/108-sectores/aplicaciones-de-referencia?start=6>.

DIRECT INDUSTRY. *Alimentación eléctrica AC/DC / para aplicaciones industriales / en riel DIN / conmutada.* [En línea] 2019. [Consulta: 14 de Abril de 2019.] Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-power-supplies/product-17494-1864526.html>.

FACTORENERGÍA. *Que es la eficiencia energética.* [En línea] 2017. [Consulta: 08 de Junio de 2019.] Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>.

FRAILE MORA, Jesús. *Máquinas eléctricas de corriente alterna.* 5ta ed. Madrid-España : Concepción Fernandez, 2008, pp. 20-35.

HUGUET, Ramón. *Estaciones de bombeo evolución y futuro.* [En línea] 2010. [Consulta: 08 de Junio de 2019.] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000300010.

MÁRQUEZ, René. *Qué se entiende por Eficiencia energética?* [En línea] 2016. [Consulta: 08 de Junio de 2019.] Disponible en: <http://www.belees.com/que-se-entiende-por-eficiencia-energetica/>.

MIPODO. *¿Qué es el consumo energético?* [En línea] 2019. [Consulta: 10 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://www.mipodo.com/blog/diccionario/consumo-energetico-que-es/>.

PEDROLLO. *Electrobombas centrífugas.* [En línea] 2019. [Consulta: 15 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://www.pedrollo.com.mx/es/cp-037-22-kw-electrobombas-centrifugas/245>.

ROJAS, Eliana. *Arranque directo a linea.* [En línea] 2015. [Consulta: 13 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/263420717/Arranque-Directo-a-Linea>.

ROSAS MOYA, Ramón. *Implementación de eficiencia energética en sistemas de bombeo para reducir el ahorro en la Industria.* [En línea] 2016. [Consulta: 08 de Abril de 2019.] Disponible en: <http://www.congresodeenergia.com/new/22julio/Conferencia-6-Implementacion-de-Eficiencia-Energetica-en-Sistema-de-Bombeo-Ing-Ramon-Rosas.pdf>.

SÁNCHEZ SOBERANIS, Edgar. *Mundohvacr.* [En línea] 2018. [Consulta: 08 de Junio de 2019.] Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/10/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-bombeo-y-compresores/>.

SÁNCHEZ, Edgar. *Eficiencia energética en sistemas de bombeo y compresores.* [En línea] 2016. [Consulta: 26 de Octubre de 2018.] Disponible en: https://www.mundohvacr.com.mx/2014/10/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-bombeo-y-compresores/?fbclid=IwAR1T0_HWP-a-elI4M_3elixveSa1mczRIXCCCdi068A_0vEGRAWrMhIpqkw.

SIEMENS. *Manual de equipos de control y automatización.* [En línea] 2004. [Consulta: 10 de Marzo de 2019.] Disponible en: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200-FOLLETO.PDF>.

TATO, Roberto. *Sistemas de Bombeo Hidraulica.* [En línea] 2013. [Consulta: 14 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/145693047/Sistemas-de-Bombeo-Hidraulica>.

UROZ FABREGAT, Gemma. *Control y automatización de una estación de bombeo.* [En línea] 2009. [Consulta: 20 de Enero de 2019.] Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1410pub.pdf>.

VERDEZOTO PALACIOS, Ruben Darío; & ZAPATA LEMA, Juan Robert. Diseño y automatización del proceso de laminado de alambre, para la fabricación de esponjas de acero inoxidable, mediante la implementación de un sistema HMI con protocolo de comunicación ethernet, controlado por un PLC Siemens S7-1200; en la empresa Mart. [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Quito, Ecuador. 2015. pp. 15-25. [Consulta: 20 de Abril de 2019.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10194/1/UPS%20-%20ST001855.pdf>.