UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines.

IMPLEMENTACIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA EN SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA A PRESIÓN CONSTANTE EN LAS INDUSTRIAS DE PROCESO DE CARNE DEL PAIS.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Eléctrico.

Elaborado por:

Br. Carmen Josué Herrera Gadea.
Carnet: 2013-61290

Br. Luis Enrique Rodríguez Salgado.
Carnet: 2016-1327U

Tutor:

Ing. Juan Jose Gonzalez Mena

15 de Noviembre de 2024.
Managua, Nicaragua.

INDICE

DEDICATORIA 3

DEDICATORIA 4

AGRADECIMIENTO 5

AGRADECIMIENTO 6

1. CAPITULO 1. GENERALIDADES. 7

1.1. Introducción. 7

1.2. Antecedentes. 9

1.3. Justificación. 11

1.4. Objetivos. 13

1.4.1. Objetivo General. 13

1.4.2. Objetivos específicos. 13

1.5. Marco Teórico 14

1.5.1. Sistema de bombeo. 14

1.5.1.1. Bombeo a presión constante. 14

1.5.1.2. Principios de la conservación de la energía. 15

1.5.1.3. Ahorro Energético en sistemas de bombeo. 16

1.5.1.4. Variadores de Frecuencia. 17

1.5.1.5. Estructura y funcionamiento de un variador de frecuencia. 18

1.5.1.6. Aplicaciones de los variadores de frecuencia. 18

1.5.1.7. Ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia. 20

1.5.2. Ahorro eléctrico en variadores de frecuencia. 21

1.5.3. Controlador PID. 22

1.5.4. Motores Eléctricos. 24

1.5.4.1. Motores de Corriente Alterna. 24

1.5.4.2. Motor asíncrono trifásico con rotor jaula de ardilla. 24

1.5.4.3. Estructura del motor. 24

1.5.4.4. Tipos de cargas en los motores. 27

2. CAPITULO 2. METODOLOGIA DEL TRABAJO. 28

2.1. Introducción diseño metodológico. 28

2.2. Introducción diseño metodología. 30

2.2.1. Etapa de investigación. 31

2.2.2. Etapa de modelación del sistema de control automático. 31

2.2.3. Etapa de diseño. 31
2.2.4. Etapa de implementación. 32
2.2.5. Etapa de evaluación. 32
2.2.6. Formulación de hipótesis. 32
3. CAPITULO 3. PROPUESTA A DESARROLLAR. 33
3.1. Diagrama del sistema eléctrico para un variador de Frecuencia. 33
3.2. Diagrama de conexión eléctrico del variador eléctrico. 34
3.2.1. Esquema de control. 34
3.2.2. Esquema de Fuerza. 36
3.3. Funcionamiento del sistema de control automático. 38
3.4. Diseño del hardware. 41
3.4.1. Bombas instaladas. 41
3.4.2. Controlador lógico programable PLC. 42
3.4.3. Diagrama de conexiones CPU Siemens 1212C. 45
3.4.4. Interfaz de usuario. 46
3.4.5. Sensor de presión. 47
3.4.6. Sensor de radar. 49
3.4.7. Sensor de Flujo. 50
3.4.8. Variador de frecuencia. 51
3.4.9. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas. 54
3.5. Diseño del software. 55
3.5.1. Logo Software Comfort. 55
3.5.2. Interfaz programación. 56
3.5.3. Diagrama de Flujo Con PLC S7-1200. 59
3.5.4. Diagrama de flujo. 61
3.5.5. Implementación del sistema. 62
3.5.6. Diseño de Planos Eléctricos. 63
4. CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS. 70
4.1. Ahorro Energético. 70
4.2. Ahorro en consumo de Agua. 72
4.3. Costo de Inversión y tiempo de recuperación. 75
5. CAPITULO 5. CONCLUSIONES 76
6. CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA 77

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, por su infinita misericordia y amor, que me permitieron vivir este anhelado momento de concluir esta tesis monográfica.

A mi Mama, Magaly Del Rosario Salgado Padilla, que siempre estuvo a mi lado apoyándome desde pequeño, supliendo cada necesidad en mi camino hasta poder culminar mis sueños.

A mi Papa, Luis Enrique Rodriguez Martínez, por su valiosa contribución en este trayecto de mi vida.

A mi hermano mayor, Jessy Enrique Rodriguez Salgado por estar siempre a mi lado, aconsejándome en todo momento y brindándome su apoyo incondicional.

A mis compañeros de curso, por todo su aporte a mi conocimiento y mostrarme el verdadero valor de la amistad.

A todos, Gracias Totales

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí y darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres Fausto Herrera y Teresa Gadea, por su amor incondicional y por creer en mí desde el primer día. Por sus sacrificios y su apoyo constante que han sido la clave de mi éxito.

A mis compañeros, por las risas y el estudio. Por las conversaciones estimulantes, y los momentos que compartimos juntos.

A todos aquellos que han sido una parte integral de mi camino académico y personal. No podría haber llegado hasta aquí sin su apoyo.

¡Gracias!

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso, sin él, nada es posible, no hubiera logrado nada. Gracias a Él tengo la oportunidad de haber llegado con salud hasta este momento. Ha suplido todas las herramientas necesarias para culminar esta investigación.

A mi Madre, Magaly Del Rosario Padilla, quien con mucho amor y esfuerzo me apoyo en todo momento, no me dejo caer y fue mi motor constante para seguir adelante.

A mi hermano Mayor, Jessy Enrique Rodriguez Salgado, que, con su ejemplo, consejo y motivaciones, creyó hasta el final en mi y pude completar este proceso.

A mi compañero de tesis monográfica, Carmen Josué Herrera Gadea, por ser una buena amistad durante todo este tiempo y brindarme de sus conocimientos para ayudarme a mejorar.

A mis compañeros de carrera de Ingeniería Eléctrica, por todo el compañerismo y apoyo brindado. Sin el valioso aporte que cada uno me brindo tampoco lo habría logrado.

A mis docentes universitarios a lo largo de la carrera, por ser un pilar de conocimiento en cada asignatura, con particular mención al Ing. Marvin Castañera y al Ing. Ramiro Arcia.

A todos, gracias Totales.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mi universidad por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este grupo de graduados, y como recuerdo y prueba viviente en la historia; esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

A mi familia y amigos, especialmente a mis padres Fausto Herrera y Teresa Gadea, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y superación y por estar siempre a mi lado, apoyándome incondicionalmente en todos mis proyectos.

Finalmente agradezco a quien lee este apartado y más de mi tesis, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de su formación profesional y crecimiento personal.

! A todos, Muchísimas gracias ¡

1. CAPITULO 1. GENERALIDADES.

1.1. Introducción.

En la actualidad, el uso de los variadores de frecuencia o convertidores de velocidad, se han vuelto necesarios en los sistemas de bombeo, tal es el caso de los Mataderos, donde se hace necesario mejorar los procesos de productividad, eficiencia de proceso y optimización de recursos hídricos. **(Álvarez (2006)) (Marigorta et al. (1994))**

En los sistemas de bombeo, la principal desventaja en los motores, si no existe un método de arranque adecuado, es que no se tiene una referencia constante de la velocidad de giro del motor, ocasionando que no exista un control del flujo de agua que se utiliza, por ejemplo, en el proceso de la matanza, lo que se traduce no únicamente en desperdicio critico de un recurso tan importante considerable como el agua, sino, también va a generar altos picos de demanda en temas de consumo eléctrico. A largo plazo, genera gastos financieros que constituyen en grandes pérdidas económicas para la industria. **(Marigorta et al. (1994))**

A medida que la tecnología avanza y la generación de energía es cada vez más costosa, se torna rentable y necesario hacer cada vez más eficientes los procesos de producción, Como alternativa para el suministro de agua en las industrias se optó por la implementación de sistemas de caudal constantes o aquellos que usen una presión constante. **(Padilla Narváez (2000))**

Los motores eléctricos juegan un papel muy importante tanto en el entorno industrial como cotidiano, ya que controlan básicamente todo lo que necesitamos para nuestro trabajo, actividades de ocio y necesidades del día a día. El motor o bomba es el equipo central en este estudio, ya que su trabajo consiste en sustraer el agua desde la fuente de abastecimiento el cual podría ser un pozo, un tanque o un rio, hacia su destino final de uso, en todos los ambientes de trabajo y según las condiciones de suministro requeridas.

El sistema que se utiliza en este estudio será el control de lazo cerrado por referencia de un sensor de presión de agua, el cual requiere el uso de un motor que bombee a una presión determina por el variador según sea la demanda.

Partiendo de la premisa de que al tener un mayor consumo de corriente se está demandando mayor potencia, se hace necesario regular el consumo energético, puesto que no solamente se tiene un impacto económico, sino también social porque afecta el medio ambiente de forma directa debido a que la generación se hace a base de carbón en la mayor parte de los casos.

El presente trabajo de tesis propone la automatización en un sistema de bombeo a presión constante en las industrias alimenticias de proceso de carne del país, que asegure los niveles de mejora productiva, incremente la eficiencia energética y a la vez alargue la vida útil de los equipos, previniendo así el deterioro prematuro, evitando paros improductivos y contribuyendo al uso sostenible de los recursos naturales como el agua. **(Álvarez (2006)) (Gutiérrez Martínez y Rodríguez Martínez (2017)) (Padilla Narváez (2000))**

1.2. Antecedentes.

Los sistemas convencionales de bombeo de agua presentaban perdidas de energía, daños en los equipos debido a arranques bruscos, grandes consumos energéticos, daños en las tuberías por excesos de presión y fugas. Producto de lo antes mencionado, el mantenimiento a los equipos en un sistema de bombeo se torna muy costoso, debido a la gran cantidad de parámetros eléctricos no regulados, como resultado de la inadecuada manipulación por el usuario sin importar estados técnicos de los motores e inclusive niveles de tensión en la red. **(Álvarez (2006)) (Padilla Narváez (2000))**

Los motores de inducción demandan una corriente de arranque bastante elevada, que va desde 3 hasta 15 veces la corriente nominal, lo que a largo plazo puede dañar al motor y la red de alimentación.

Actualmente las empresas ejecutan una serie de medidas para optimización de los recursos, entre ellas el balanceo de cargas eléctricas en los paneles de distribución. Existen diversos métodos de arranque: Arranques directos, arranque estrella –Delta, arrancadores suave y arranque mediante variadores de frecuencia. **(Álvarez (2006))**

Con el sistema arranque estrella–Delta se redujo bastante la corriente en el momento del arranque, al alimentar a una tensión menor "Un /√3". Con ello se consigue que la intensidad baje a una tercera parte de la intensidad que se produciría en un arranque directo. También el par de arranque se reduce a menos de la mitad, lo que hace imposible este sistema en motores de media potencia que arranquen con carga. Otro inconveniente es el corte de tensión que se produce al pasar de estrella–Delta.

En el caso de arrancadores suaves, al controlar el voltaje eficazmente y suministrarlo de forma gradual hasta la nominal de funcionamiento del motor, controlan la corriente de arranque que consume el motor y el par que se genera, evitando así el pico que se genera en la corriente de arranque.

Sin embargo, con los arrancadores suaves, únicamente evitamos el pico de intensidad de arranque, mas no ahorramos ni consumo en energía, ni podemos variar la velocidad del motor, en consecuencia, no nos permiten sacar el máximo de provecho en sistemas de bombeo automatizados. **(Marigorta et al. (1994))**

A pesar de todos estos cambios el consumo de energía reactiva en el sistema está presente por lo que es necesario buscar un método de ahorro de energía.

En la actualidad son diversas las maneras en las que se emplean los variadores de frecuencia, desde las industrias alimenticias y los procesos de alta precisión como la elaboración de plástico y bandas transportadoras hasta la trituración de minerales preciosos como el oro, todas estas industrias que forman parte vital del proceso productivo y de desarrollo de nuestro país sobre todo enfocada en la eficiencia energética y la optimización de recursos. **(Álvarez (2006)) (Gutierrez Martínez y Rodríguez Martínez (2017))**

1.3. Justificación.

En el presente trabajo investigativo se pretende abordar la importancia que tienen los variadores de frecuencia en la actualidad. El mayor porcentaje de la energía eléctrica a nivel mundial demandada se utiliza en motores, las aplicaciones industriales en las que se necesita un alto par motor y una corriente mínima son cada vez más frecuentes. Estas aplicaciones pueden demandar: rapidez de respuesta, precisión, robustez y disponibilidad, entendiendo esta última como la facilidad intrínseca del equipo en reducción de paradas programadas para revisiones de mantenimiento preventivo. **(Álvarez (2006))**

Por lo tanto, el principal objetivo del presente estudio es aprovechar las ventajas que brindan los variadores de velocidad, conocer las posibilidades que generan dichos dispositivos para reducir el desperdicio de recursos tanto económicos como materiales, logrando así acercarnos cada vez más a sistemas energéticos y procesos más eficientes.

Mediante los variadores de frecuencia se ha permitido superar la gran mayoría de necesidades planteadas para las industrias alimenticias cárnicas, en materia de gestión de recursos y en la solución de los muchos inconvenientes que se han presentado a lo largo de los años en el avance productivo y desarrollo exponencial de los mataderos. Estos, quienes representan un punto fuerte en la economía del país, requieren cada vez más de procesos de alta gama que proporcionen una rentabilidad para el crecimiento total que se puede alcanzar en el sector agrícola y ganadero, que día a día exigen industrias de proceso más eficientes, capaces de cumplir con la demanda local y garanticen procesos medioambientales amigables. **(Álvarez (2006))**

De esta forma, tener un producto de mejor calidad, que permita alcanzar las exigencias nacionales e internacionales de exportación y comercio para nuestro país.

Esta investigación, inicia desde el interés de generar propuestas que permitan implementar un sistema de control eficiente para mejorar los procesos industriales en todos los aspectos, pues con esta tecnología de operación se obtienen reducciones en consumo de los motores que puedan alcanzar el 50% , mejoras en operatividad que optimizan la rentabilidad, productividad de los procesos y minimizar las pérdidas de

energía, por lo tanto, los equipos demandaran de la red únicamente lo necesario para su régimen de trabajo.

El desarrollo de la presente tesis abre una puerta al entendimiento de las grandes ventajas obtenidas en los procesos involucrados. Con la implementación de estos dispositivos electrónicos, que va más allá de controlar el trabajo estándar de un motor sino un paso hacia la eficiencia energética y la automatización industrial que parecían una utopía y hoy en día son no solo un deseo sino una necesidad que alcanzar. **(Gutierrez Martínez y Rodríguez Martínez (2017))**

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

- Realizar un estudio para Implementar el uso de variadores de frecuencia en sistemas de bombeo de agua a presión constante y aprovechar todos beneficios que proporciona su aplicación empleada en las industrias de proceso cárnicas.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Conocer la composición y características de los variadores de frecuencia.
- Analizar las ventajas y desventajas de variadores de frecuencia.
- Diseñar propuesta de un sistema de control automatizado con un variador de frecuencia en un sistema de bombeo a presión constante.

1.5. Marco Teórico

A continuación, se describirán algunos conceptos relevantes que nos brindaran un mejor entendimiento del estudio actual, lo que es vital para que se cumplan los objetivos planteados de esta investigación.

1.5.1. 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, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en diferentes sistemas y procesos. **(Marigorta, Suárez, & Francos, 1994) (Álvarez (2006))**

1.5.1.1. Bombeo a presión constante.

Este sistema se basa en un controlador a presión constante, variador de frecuencia y un sensor de presión. El objetivo es controlar la presión del agua en forma constante regulando la velocidad de los motores de las bombas. Puede ser utilizado para controlar a presión constante, control a caudal constante o control de nivel constante, según el tipo de sensor conectado al controlador y dependiendo de la aplicación deseada. **(Padilla Narváez (2000))**

La presión constante del agua en la tubería de abastecimiento es una de las principales exigencias en hoteles, condominios y fábricas industriales que requieren agua en sus procesos. Los sistemas de control de presión por presostato no pueden garantizar la presión constante del líquido y presentan desgaste en los motores de las bombas y altas facturas eléctricas por los continuos arranques y paros. **(Padilla Narváez (2000))**

Un sistema de parámetros programables desde la interface del controlador permite una operación sencilla y sin complicaciones para el operador. Estos parámetros contienen toda la información que el sistema requiere para controlar la presión del agua y permite cambiar la forma de operación en un espacio de tiempo muy corto sin tener que detener el proceso de bombeo, aumentando así la productividad.

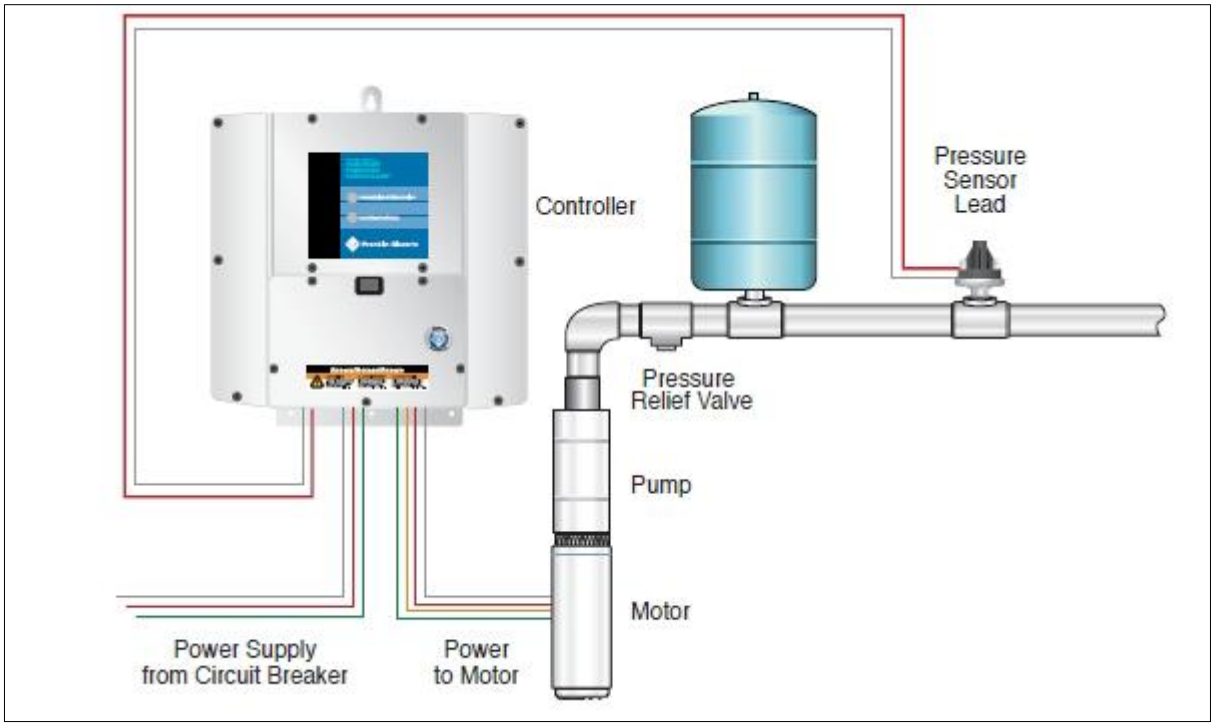


Imagen No. 1

Los sistemas de control de presión constante de dos o más bombas han sido diseñados para satisfacer las necesidades de presión constante a variaciones de caudal en las más modernas instalaciones incorporando además ventajas tan excepcionales como un importante ahorro energético y un comportamiento silencioso. **(Padilla Narváez (2000)) (Pesántez Erazo (2012))**

1.5.1.2. Principios de la conservación de la energía.

A cualquier forma de energía pueden aplicarse un conjunto de principios generales para su tratamiento y manipulación, si se pretende obtener unos ahorros de importancia. Estos principios de tipo general pueden enunciarse así:

- Debe analizarse y contrastarse la forma y extensión de cualquier uso de la energía, incluyendo la bondad del tipo de proceso y el tamaño de la aplicación que se considera. Deben considerarse los beneficios o perjuicios que incidentalmente puedan originarse.
- Siempre que sea posible deberá analizarse el trabajo útil al nivel energético adecuado a cada aplicación. La mayor parte de la energía se pierde en el

ambiente en forma de calor y debe tenerse el máximo cuidado de que en este trayecto realice el mayor trabajo posible.

Es decir, la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma, y a lo largo de la transformación se degrada hasta convertirse en calor que de alguna forma va finalmente al ambiente que nos rodea. **(Pizà,1988)**

1.5.1.3. Ahorro Energético en sistemas de bombeo.

Los sistemas de bombeo representan el 20% de la demanda mundial de energía eléctrica y entre el 25% al 50% del uso de la energía eléctrica en ciertas aplicaciones. Los equipos de bombeo son el mayor usuario de electricidad en toda la Unión Europea, consumiendo más de 300 TWhpa de electricidad, lo que a su vez representa más de 65 millones de toneladas en emisiones de CO_2. **(Marigorta et al. (1994))**

También se ha podido documentar que los equipos de bombeo rotodinámicos representan el 80% de la base instalada y están sobredimensionados entre un 20-30%. Por lo tanto, se podría lograr un gran ahorro de energía si estos equipos de bombeo rotodinámicos tuvieran el tamaño y el funcionamiento adecuados.

Lo primero es analizar el sistema de bombeo. Para identificar si un sistema de bombeo tiene el tamaño correcto, hay que realizar las siguientes comprobaciones:

- ¿Se está desperdiciando caudal de líquido?
- ¿Se está creando una sobrepresión adicional?
- ¿Cuál es la filosofía de funcionamiento y control?
- ¿Hay equipos de bombeo de gran tamaño dentro del proceso?
- ¿Podría haber equipos de bombeo sobredimensionados para el servicio requerido?
- ¿Hay equipos de bombeo anticuados?
- ¿Hay demasiado ruido en el sistema?
- ¿Hay válvulas de estrangulamiento en el sistema?
- ¿Se han instalado tuberías de un tamaño adecuado?
- Un mantenimiento inadecuado reducirá la eficiencia del sistema de bombeo.
- ¿Qué procedimiento de mantenimiento está operativo?

Es importante analizar la tecnología de accionamiento de alta punta y diversificarla en la industria, precisamente en los sistemas de bombeo y es en este punto, donde los variadores de frecuencia nos pueden ayudar. **(Álvarez (2006)) (Marigorta et al. (1994))**

1.5.1.4. Variadores de Frecuencia.

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de los motores. Es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores de frecuencia permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación del motor. **(Álvarez (2006))**

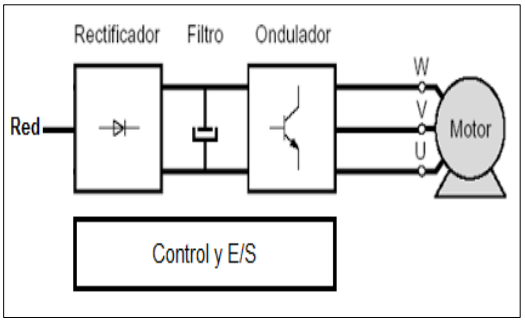


Imagen No. 2

Para el caso de un motor asíncrono se conoce que la única forma de variar la velocidad es variando la frecuencia de alimentación. En efecto, la fórmula que nos da la velocidad del campo giratorio en un motor asíncrono es: $N = 60\frac{f}{p}$ En esta fórmula las únicas variables que existen son la p que depende de cada máquina, y, por tanto, no puede variar y f, la frecuencia de la red, que es constante (60Hz en Nicaragua), sin embargo, mediante un circuito electrónico podemos cambiar la frecuencia de la señal que le llega al motor y modificar así su velocidad; este circuito se llama ciclo convertidor; el cual consta de una alimentación que puede ser monofásica o trifásica;

un rectificador, que convierte la señal alterna de la red en una señal continua; filtros para evitar que el circuito provoque interferencias de radiofrecuencia y por ultimo un inversor que será el encargado de convertir la señal nuevamente a corriente alterna, pero de otra frecuencia. **(Nistal, 2008)**

Estos dispositivos electrónicos disponen de un modo de funcionamiento de supervisión que permite observar algunos de los parámetros y magnitudes eléctricas cuando el motor está en marcha. Como: tensión en borneras del motor, velocidad estimada, estado térmico del variador, corriente consumida, tensión de la red de alimentación, etc (Martín & García).

1.5.1.5. Estructura y funcionamiento de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Una etapa rectificadora**: convierte la tensión alterna en continua mediante dispositivos electrónicos que pueden ser diodos, tiristores, etc.
- **Etapa intermedia**: es un filtro para suavizar la tensión rectificada, reduciendo el rizado del voltaje proveniente de la etapa rectificadora. Inversor. Convierte la tensión continua proveniente de la etapa intermedia en una fuente de tensión de frecuencia variable mediante la generación de pulsos (Álvarez, 2006).
- **Etapa de salida**: un ondulador convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salidas variables.
- **Control y E/S:** son los circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación, entradas y salida, tanto analógica como digital. Además, se incluye el interfaz de comunicaciones con buses y otros dispositivos de control y usuario. **(Mario Josue Gutierrez Martinez, 2017)**

1.5.1.6. Aplicaciones de los variadores de frecuencia.

Son muchos los usos que pueden tener los variadores de frecuencia en distintas industrias y aplicaciones. Los variadores de frecuencia ofrecen una tecnología avanzada que adapta cada variador al proceso requerido por el cliente. Con un control de

precisión y un servicio sobresaliente se consigue reducir al mínimo los tiempos de inactividad inesperados y aumentar al máximo la productividad. **(Álvarez (2006))**

El uso de variadores de frecuencia en la industria es amplío ya que le proporcionará ahorro de energía, confort, seguridad y simplicidad en sus procesos. Algunas de las aplicaciones de los VDF son los siguientes:

- Ascensores y montacargas.
- Grúas.
- Cabrestantes.
- Sistemas de bombeos.
- Bandas transportadoras.
- Industria Minera.
- Industrias cementeras.

Para seleccionar un variador de frecuencia en primer lugar se deberá analizar el trabajo que se va a desarrollar: así, se pueden encontrar dos aplicaciones muy distintas, es decir, que sean a:

- Régimen variable
- Régimen constante

Régimen variable: son aquellas aplicaciones en las que el motor no regenera tensión en la parada ni durante su funcionamiento; ejemplo de motores que trabajan a par variable son las cintas transportadoras, bombas centrifugas, ventiladores, etc.

Régimen constante: son aquellas aplicaciones en las que el motor regenera tensión, bien sea cuando cesa la tensión de alimentación al par éste, o durante la marcha en determinadas condiciones; por ejemplo, cuando baja la carga de una grúa, en ascensores, montacargas, etc. **(Pulido, 2000)**

Otras características que tomar en cuenta son:

- Potencia**:** de acuerdo con el motor o los motores conectados al variador de frecuencia, éste debe de ser de la capacidad de los mismos. Un variador con menor capacidad que el motor que va a manejar, simplemente no arranca y si arrancara inmediatamente se activaría el relé electrónico de sobre corriente.

- Las variables eléctricas del sistema a las que será sometido el equipo, como Tensión (380-690V BT) y Frecuencia de Red (50-60 Hz).
- En términos del equipamiento, se recomienda que el equipo tenga posibilidad de inyección de reactivos o mitigación de armónicos a través de filtros.

En resumen, para elección del variador de velocidad se necesita conocer: La tensión de alimentación del motor, la potencia del motor, aplicación es severa (mucho par de arranque) o estándar, las peculiaridades de control (si se desea control a distancia, o introducir los parámetros directamente sobre el variador). Con ellos podemos acelerar y desacelerar a voluntad, controlar la velocidad y mantener el factor de potencia.

1.5.1.7. Ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia.

- **Ventajas**

- Ahorro en mantenimiento debido a que el motor trabajara siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento.
- Control operativo, mejora la rentabilidad y la productividad de los procesos reduciendo la velocidad de los motores cuando sea necesario.
- Minimización de pérdidas en motores e instalaciones eléctricas.
- Evita picos de corrientes en los arranques del motor
- Los paros y marchas son controlados.
- El par puede ser controlado a cualquier velocidad lo que evita saltos o bloqueos del motor ante la carga (en un arrancador progresivo la regulación del par es difícil ya que se basa en valores de tensión inicial).
- Puede ser controlado a distancia y con cualquier sistema automático.

- **Desventajas**

- Elevado costo monetario. Debido a que es un equipo de electrónica de potencia bastante sofisticado, su precio es elevado.
- Las averías del variador de frecuencia no se logran reparar en el lugar, por lo cual deberán enviarse a servicio técnico, mientras tanto deberán de disponer de otro variador equivalente o dejar la instalación sin funcionamiento.

- El convertidor de frecuencia toma de la red corrientes no sinusoidales y se comporta como un generador de corrientes armónicas, que pueden causar daños en equipos electrónicos sensibles.

1.5.2. Ahorro eléctrico en variadores de frecuencia.

El ahorro de energía o eficiencia energética consiste en la optimización del consumo energético, cuyo objeto es disminuir el uso de energía, pero produciendo los mismos resultados finales. **(Gutierrez Martínez y Rodríguez Martínez (2017))**

El ahorro es, en cierta manera, un concepto económico y como tal va asociado al concepto tiempo. Un equipo consume tanta más energía cuanto más tiempo funciona. Enérgicamente cuesta más dinero cuando más tiempo funciona. En este sentido, pues, el ahorro debe ser una preocupación del usuario del equipo, del consumidor energético, el cual debe tener también la adecuada sensibilidad frente a la conservación energética.

Principio de ahorro energético en variadores de frecuencia en sistemas de bombeo.

Actualmente, ya se han logrado importantes ahorros de energía mediante el uso de variadores de velocidad y motores de alta eficiencia. Generalmente, los VSD se utilizan para ajustar continuamente la velocidad del equipo de bombeo a la demanda.

Al diseñar un nuevo sistema de bombeo, la mayoría de los equipos se seleccionan con un "factor de seguridad". Se trata de un porcentaje para prevenir posibles tasas de aumento futuras o para compensar el desgaste del equipo de bombeo o el ensuciamiento del sistema. Habitualmente, hay muchas partes diferentes involucradas en la especificación y construcción de un sistema, por lo que el factor de seguridad puede crecer exponencialmente. Esto da como resultado que el equipo de bombeo impulse un caudal mucho más alto de lo requerido. También puede ser necesario variar el caudal debido a las condiciones del proceso o a las necesidades variables de calefacción y/o refrigeración dentro de los edificios. **(Álvarez (2006))**

Tradicionalmente, se utiliza el estrangulamiento como medio para regular el caudal en un sistema de bombeo. Cuando estrangulamos el paso del fluido reducimos el caudal,

pero el motor sigue funcionando a toda velocidad y trabaja en condiciones más duras, debido a que tiene que trabajar contra una restricción. Al reducir la velocidad del motor, el variador de velocidad garantiza que no se utilice más energía de la necesaria para alcanzar el caudal requerido. Un equipo de bombeo centrífugo que funcione a la mitad de su velocidad de diseño consume sólo una octava parte de la energía en comparación con otro que funcione a plena velocidad. El uso de un variador de velocidad electrónico es la forma más sencilla y económica de controlar el equipo de bombeo y adaptarlo al sistema de bombeo diseñado. **(Álvarez (2006))**

Los variadores de frecuencia controlan el funcionamiento del motor llevándolo a su punto óptimo para la aplicación, de modo que puede reducir el consumo de energía hasta un 70% variando la velocidad del motor. La energía consumida es exactamente la necesaria y se posibilitan los arranques suaves. Esto, aparte de proporcionar ahorro eléctrico, alarga la vida útil de sus equipos e instalación, previniéndolos del deterioro, excesivas necesidades de mantenimiento y tiempos improductivos.

Además, en muchas instalaciones ayudan a la reducción del factor de potencia e incluso evitan la instalación de equipos de compensación de reactiva tales como las baterías o bancos de condensadores. Un bajo factor de potencia obliga al sobredimensionado de la instalación y conlleva a una penalización en la factura eléctrica, de modo que su control mediante la implantación de variadores es otra fuente de ahorros. Incluso una reducción pequeña en la velocidad puede representar ahorros significativos.

1.5.3. Controlador PID.

Un controlador PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo) es un mecanismo de control simultaneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. El algoritmo del control PID consiste en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los

errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control.

Las razones por la cual los PID fueron inventados son para simplificar las labores de los operadores y ejercer un mejor control sobre las operaciones. Algunas de las aplicaciones más comunes son:

- Lazos de temperatura (aire acondicionado, calentadores, refrigeradores, etc.)
- Lazos de nivel (nivel en tanques de líquidos como agua, lácteos, mezclas, crudo, etc.)
- Lazos de presión (para mantener una presión predeterminada en tanques, tubos, recipientes, etc.)
- Lazos de caudal (mantienen el caudal dentro de una línea o cañería)

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.).
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador recibe una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia, valor deseado o set point), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador.

1.5.4. Motores Eléctricos.

1.5.4.1. Motores de Corriente Alterna.

Un motor de corriente alterna es una maquina capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica rotacional para que esta sea utilizada de forma eficaz.

1.5.4.2. Motor asíncrono trifásico con rotor jaula de ardilla.

Son probablemente los más sencillos y robustos de los motores eléctricos. El rotor está constituido por varias barras conductoras dispuestas paralelamente al eje del motor y por dos anillos conductores en los extremos. El conjunto es similar a una jaula de ardilla y por eso se le denomina también motor de jaula de ardilla. El estator consta de un conjunto de bobinas, cuando la corriente alterna trifásica la atraviesa, se forma un campo magnético rotatorio en las proximidades del estator. Esto induce corriente en el rotor, que crea su propio campo magnético. La interacción entre ambos campos produce un par en el rotor. No existe conexión eléctrica directa entre estator y rotor. La frecuencia de la corriente alterna de la alimentación determina la velocidad a la cual rota el campo magnético del estator.

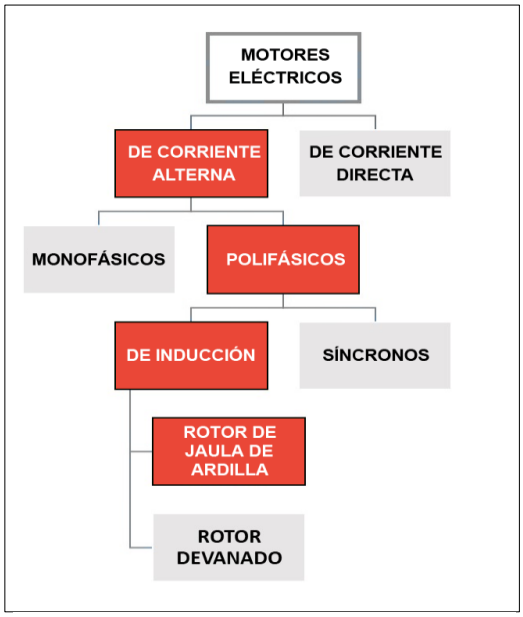


Imagen No. 3

1.5.4.3. Estructura del motor.

La parte fija del motor asíncrono se denomina soporte o estator. Se compone de una carcasa y un paquete de chapas con ranuras, en el que se encuentra el arrollamiento

de corriente trifásica. El arrollamiento se compone de tres bobinas fijadas cada una de ellas en 120º. Los extremos del arrollamiento son conducidos al tablero de bornes situado en la caja de conexión. El rotor también está compuesto por un paquete de chapas con ranuras.

En estas ranuras se introducen barras conductoras de aluminio o cobre o se inyectan barritas moldeadas a presión de aluminio, que están conectadas a las contrahuellas mediante anillos de cortocircuito. Las barritas y los anillos de cortocircuito forman una jaula y producen el arrollamiento del rotor. La disposición inclinada de la barrita produce un movimiento uniforme.

Las diversas secciones transversales en las ranuras del rotor y de las varillas correspondientes pueden influir en el par de arranque y la corriente de arranque, es decir, en las propiedades de aceleración a plena marcha.

- **Velocidad en el campo giratorio**

Cuando se conectan los arrollamientos del motor a la red de corriente trifásica, se genera un campo giratorio en el estator que gira con la velocidad sincrónica o con la velocidad en campo giratorio n_d:

$$n_d = \frac{f_1}{p}$$

Donde:

f_1 = Frecuencia de red.

P = Numero de polos.

Por número de pares de polos p se entiende la cantidad de pares de polos norte/sur que se forman por fase debido a la acción del arrollamiento del estator.

- **Par y deslizamiento**

El deslizamiento s se define como la diferencia entre la velocidad en el campo giratorio d n y la velocidad del rotor n. De este modo se generan valores de deslizamiento de entre s = 0 (caso teórico en que la velocidad del motor coincide con la velocidad sincrónica) y s =1 (parada del motor).

$$S = \frac{n_d - n}{n_d}$$

La fuerza que actúa sobre el rotor es proporcional a la corriente de inducido I2 según la ley del conductor inundado en un campo magnético. Por lo tanto, se puede afirmar que: Θ= flujo magnético en la división del aire del motor.

$M \approx \theta * I_2$

La corriente de inducido aumenta a medida que se incrementa el deslizamiento (deslizamiento = velocidad relativa estandarizada) y el par M (par = fuerza x brazo de fuerza) interno que actúa sobre el rotor también aumenta.

- **Punto de arranque:** Para ello se debe detener el rotor (n = 0). Conforme a la definición del deslizamiento. Se encuentra en el punto de arranque del deslizamiento s =1. Actúa un par de arranque MA.
- **Punto de marcha en vacío:** Si el rotor gira a la misma velocidad que el campo giratorio del estator siendo d n = n, la velocidad relativa y el deslizamiento son cero. En consecuencia, no hay ninguna inducción ni se genera ningún par. Por lo tanto, M = 0.
- **Punto de régimen nominal:** Las magnitudes más importantes de un motor son el par nominal MN y la velocidad nominal nN. Ambas pueden calcularse con los datos indicados en la placa de características del motor.

El punto de régimen nominal no es un punto especial en la curva característica, sino que normalmente se determina mediante la potencia perdida en régimen constante bajo carga y el exceso de temperatura relacionado con ella. El par nominal no aparece en la placa de características y, por lo tanto, debe calcularse mediante la fórmula siguiente:

PN= potencia nominal indicada en vatios (W) o Kw/1.000.

nN= velocidad nominal indicada en (S-1) o min-1 /60.

$$M_N = \frac{P_N}{2\pi * n_N}$$

- **Punto de inversión:** Otra magnitud importante es el par de inversión MK. Es a la vez el par máximo posible que puede generarse en los motores asincrónicos trifásicos. Si se reduce la carga, también se reducirán el ángulo de carga y el deslizamiento (S < SK), pero la velocidad aumentará (n < nK).

De este modo se alcanza la gama útil estable del motor asíncrono trifásico con rotor jaula de ardilla y se debe tener en cuenta que un régimen dentro de la gama de sobrecarga (nn >n >nk) o (sn < s < sk) sólo está permitido por poco tiempo, por. ejemplo., durante una fase de aceleración.

En los motores estándar, se puede afirmar que el par de inversión:

Mk= (2.3) x MN. El deslizamiento de desenganche K s se encuentra entre el 5 y el 10 %, y depende básicamente del tamaño del motor.

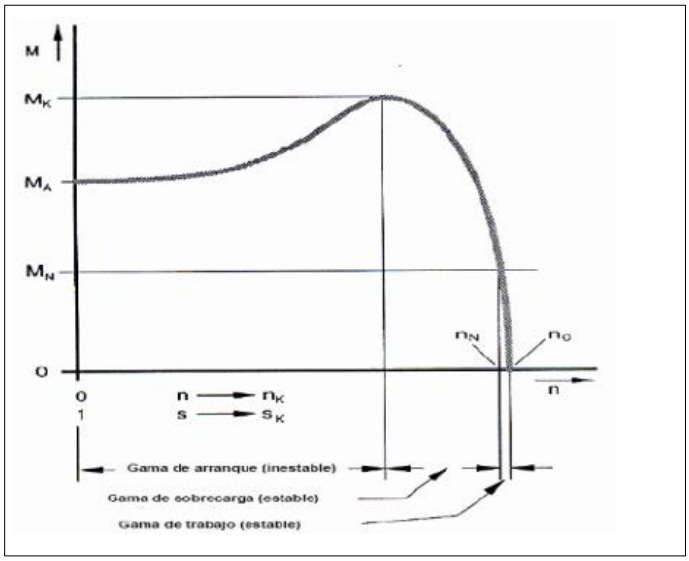


Imagen No. 4
Puntos característicos de la curva de régimen de un motor asíncrono trifásico con rotor de jaula de ardilla.

1.5.4.4. Tipos de cargas en los motores.

La primera consideración que se debe hacer al aplicar un variador de frecuencia para un motor es determinar el tipo de carga y sus características, debiendo conocer los requerimientos de Par y Velocidad. Las cargas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Cargas de par Constante
- Cargas de par lineal
- Cargas de par cuadrático o variable
- Cargas de potencia constante
- Cargas de Impacto

2. CAPITULO 2. METODOLOGIA DEL TRABAJO.

2.1. Introducción diseño metodológico.

- **Tipo de Investigación:**

El estudio está enmarcado con un enfoque cuantitativo, ya que se trata de demostrar de forma visible los beneficios obtenidos con la implementación de variadores de Frecuencia en los sistemas de bombeo de agua, así como los niveles de eficiencia energética alcanzados y porque hoy en día son una herramienta base en el control y operatividad de los procesos industriales.

Se planteará una hipótesis de investigación, del cual se desglosará un estudio práctico para obtener resultados y estadísticas reales en función de generar a través de la experimentación si la hipótesis o suposiciones están correctas o no factibles.

- **Tipo de estudio:**

Para esta investigación, el tipo de estudio seleccionada es el tipo experimental, debido a que la investigación conlleva una hipótesis que deben ser verificadas, para ser o aceptadas o rechazadas una vez concluya este estudio.

- **Fuente de Información**

Fuente primaria: Las fuentes primarias que se utilizaran para esta investigación están directamente relacionado a Ingenieros de proceso de las industrias cárnicas, personal de mantenimiento, fichas técnicas de equipos, entre otros.

Fuentes Secundaria: Las fuentes secundarias que se detallaran para la presente investigación son: Información proporcionada por la Universidad Nacional de Ingeniera, en trabajos previos de investigación, planos eléctricos de algunos mataderos, fuentes de internet, entre otras referencias bibliográficas de libros respecto a implementación de variadores de frecuencia en industrias alimenticias. (Álvarez (2006))

- **Población y muestra:**

Las estadísticas de por sí no tienen sentido si no se consideran o se relacionan dentro del contexto con que se trabajan. Ergo, es necesario entender los conceptos de población y de muestra para lograr comprender mejor su significado en la investigación educativa o social que se lleva a cabo.

Población: es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado. Cuando se vaya a llevar a cabo alguna investigación debe de tenerse en cuenta algunas características esenciales al seleccionarse la población bajo estudio.

Muestra: la muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población. Hay diferentes tipos de muestreo. El tipo de muestra que se seleccione dependerá de la calidad y cuán representativo se quiera sea el estudio de la población.

El tamaño de la muestra depende de la precisión con que el investigador desea llevar a cabo su estudio, pero por regla general se debe usar una muestra tan grande como sea posible de acuerdo con los recursos que haya disponibles. Entre más grande la muestra mayor posibilidad de ser más representativa de la población.

Población: Para esta investigación, su enfoque es Aplicado a Las industrias de proceso de carne del país.

Muestra: personal de mantenimiento Eléctrico, producción, refrigeración y calidad, en las Industrias de proceso de carne del país.

- **Herramientas Metodológicas:**

Para brindar una solución a la problemática y comprobar si las hipótesis planteadas son o no correcta después de proceder a los hechos experimentales, es necesario la utilidad de herramientas metodológicas que puedan desglosar la información recopilada en información útil de investigación.

Son técnicas que se desarrollan mediante la planeación consecutiva de una serie de actividades con el fin de llevar a cabo procesos de enseñanza, aprendizaje, donde los individuos forman parte activa del proceso. Entre estas técnicas clásicas, pueden ser observación, encuestas o entrevistas.

La herramienta seleccionada ha sido, una breve consultoría aleatoria con personal del área de mantenimiento eléctrico de un matadero en el país, que nos brinda de primera mano información más puntual y detallada, comprobando o no la factibilidad de esta investigación.

- **Herramientas Aplicadas:**

Para los objetivos específicos, y tener más probabilidad de cumplirlos con información detallada y objetiva, se utilizará la herramienta de entrevista semi estructurada, donde se van a elaborar diferentes preguntas con el propósito de indagar en información adicional para la investigación.

Esta entrevista es realizada de manera online, donde se tratará de acaparar toda información objetiva y proporcional que pueda ser útil para el cumplimiento de los objetivos propuestos, pero también de la hipótesis.

- **Hipótesis:**

Una hipótesis de investigación es una declaración que realizan los investigadores cuando especulan sobre el resultado de una investigación o experimento. Todo diseño experimental verdadero debe tomar esta declaración como el núcleo de su estructura, como el objetivo final de cualquier experimento.

Para esta investigación, se formularon tres hipótesis, que servirán como punto de partida en los experimentos a futuro y comprobar al menos algunas de estas.

- **H1.** El método de arranque por variador de frecuencia aplicado en sistemas de bombeo ahorrar un 30% en consumo energético en Mataderos.
- **H2.** Los Variadores de Frecuencia justifican la inversión en costo a través de su funcionamiento a corto y mediano plazo.
- **H3.** El método de arranque por variador de frecuencia permite controlar cuánta agua irrigar en los procesos de matanza dentro de un matadero.

2.2. Introducción diseño metodología.

Para realizar la automatización de un sistema de bombeo de agua con variadores de velocidad para obtener presión constante, se plantean etapas de revisión como son: etapa de investigación, modelación, diseño, implementación y pruebas de funcionamiento. Se utiliza una metodología que permita el diseño en pasos. Un punto esencial es plantear la relación de variables dependiente e independiente con ello se ejecutará a través de una hipótesis de funcionamiento.

2.2.1. Etapa de investigación.

Consiste en la revisión de las partes constitutivas que intervienen en el sistema, para su correcta operación, al ser un sistema de bombeo de agua está constituido por partes mecánicas y equipos eléctricos. La parte mecánica es el impulsor de la bomba de agua que es la parte fundamental en el sistema de bombeo de agua. A su vez la bomba de agua esta acoplada a un motor por lo que dispone de un sistema eléctrico que lo acciona.

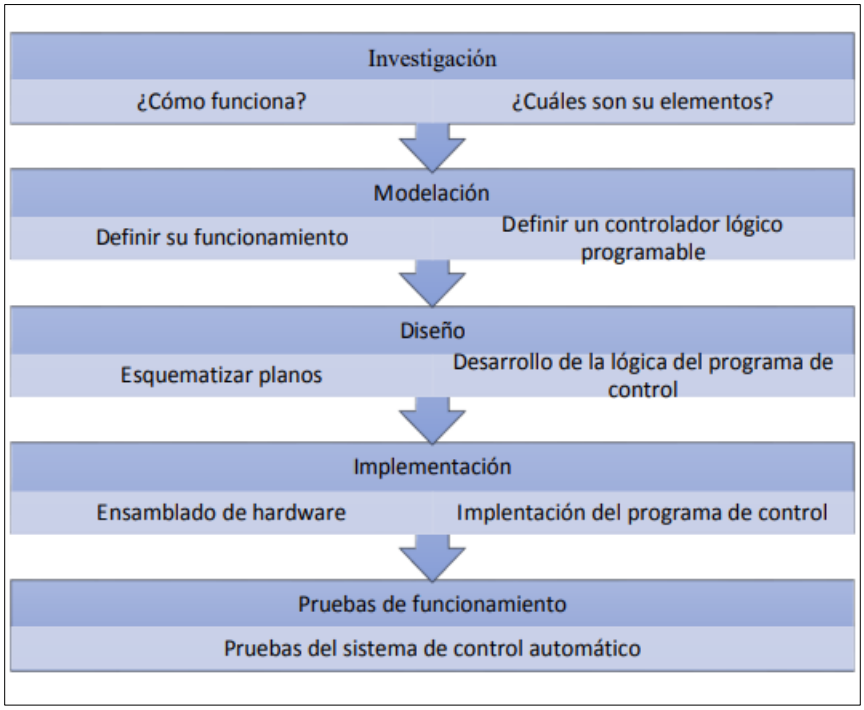


Imagen No. 5
Metodología usada para la automatización

2.2.2. Etapa de modelación del sistema de control automático.

En esta etapa se definen todos los elementos que conforman el sistema de control automático y como se basará el funcionamiento de cada elemento. Además, se define un elemento de control para que el sistema tenga una retroalimentación de la presión.

2.2.3. Etapa de diseño.

En esta etapa desarrolla los aspectos de la lógica de control y la programación de los equipos para el correcto funcionamiento del sistema, además de esquematizar los planos eléctricos de la propuesta. Se desarrolla el software que es el programa que se

usará para lograr alcanzar el objetivo de mantener la presión constante. Para sustentar los diseños, se somete a pruebas de simulación en los programas de diseño de software.

2.2.4. Etapa de implementación.

Con los aspectos revisados en la anterior etapa se procede al ensamblaje del hardware, como es el tablero de control automático y todo su cableado interno para su funcionamiento.

Al terminar el montaje del tablero se procede a la descarga del software de programación del controlador lógico programable y de la interfaz de usuario. Una vez realizado el paso anterior se procede a la programación de los variadores de velocidad.

2.2.5. Etapa de evaluación.

Cuando el tablero de control automático esté listo, con todos sus elementos y programas, se someterá a pruebas de funcionamiento para demostrar que realiza la función de manera automática de mantener la presión constante de agua.

2.2.6. Formulación de hipótesis.

En el problema se plantea si el control automático de bombeo con variadores de velocidad podrá mantener la presión de acuerdo con la demanda. Se pretende validar el funcionamiento del sistema de presión constante mediante pruebas de funcionamiento, la señal de retroalimentación es de un sensor de presión el cual brindan una retroalimentación al sistema para que gestione el control del proceso.

La variable independiente es la presión y el control sobre los variadores de velocidad que controlan los motores de las bombas de agua son la variable dependiente. A su vez, comprobar si este arranque permite un ahorro significativo en consumo eléctrico y ahorro de agua.

3. CAPITULO 3. PROPUESTA A DESARROLLAR.

3.1. Diagrama del sistema eléctrico para un variador de Frecuencia.

En el presente capítulo se describirá el funcionamiento del sistema de control, para obtener presión constante de agua mediante el uso de variador de frecuencia.

El diagrama de control y potencia de este equipo parte de las conexiones minias requeridas para su optimo funcionamiento, tomando como principal referencia los valores obtenidos del sensor de presión del sistema y estableciendo un set point en el sistema automático a través del controlador lógico PLC.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas.

Gracias a la referencia principal de la presión del sistema obtenida en el sensor de presión, se logrará optimizar el consumo de la bomba únicamente según lo demande el sistema, por lo que salvo en ocasiones donde el 100% de presión será requerida, la mayoría del tiempo el variador trabajara en rangos del 50% al 70% de bombeo de agua para lograr una estabilidad de consumo de agua según requiera el servicio de demanda de agua en el matadero.

Esto nos deja un ahorro energético significativo versus un sistema convencional en donde la bomba desde su inicio de operación a la hora 0:00 de accionamiento, hasta la hora de apagado, generalmente en jornadas de hasta 12 horas de producción, conlleve a un consumo energético con demanda del 100% de energía, generando una facturación eléctrica innecesaria y un desperdicio del vital líquido del agua en el sistema, sin mencionar un deterioro considerable del motor a largo plazo, así como del sistema de tubería de agua, al no tener dominio sobre la presión en la misma y ocasione en números escenarios un mantenimiento correctivo debido a posibles fisuras por el

excesivo trabajo mecánico ocasionado por la presión al máximo en el sistema cuando no sea realmente necesario.

3.2. Diagrama de conexión eléctrico del variador eléctrico.

3.2.1. Esquema de control.

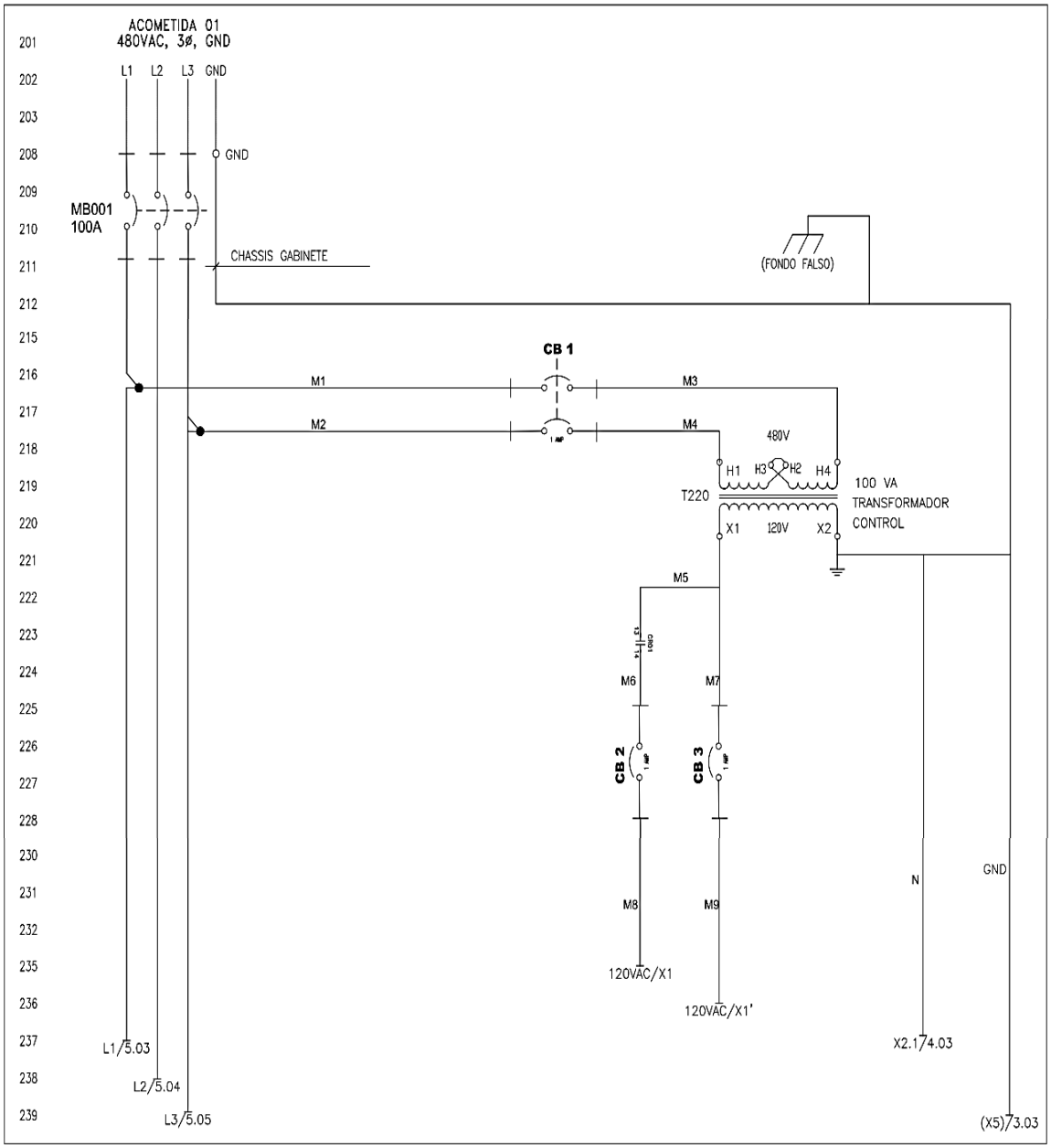


Imagen No. 6

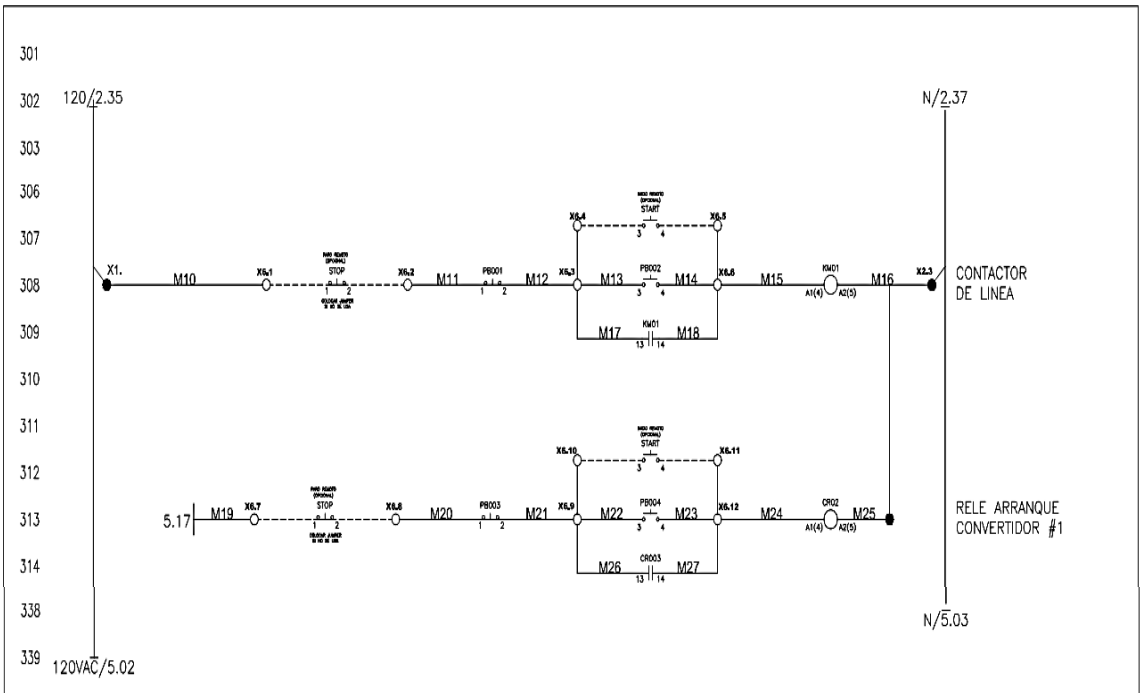


Imagen No. 8

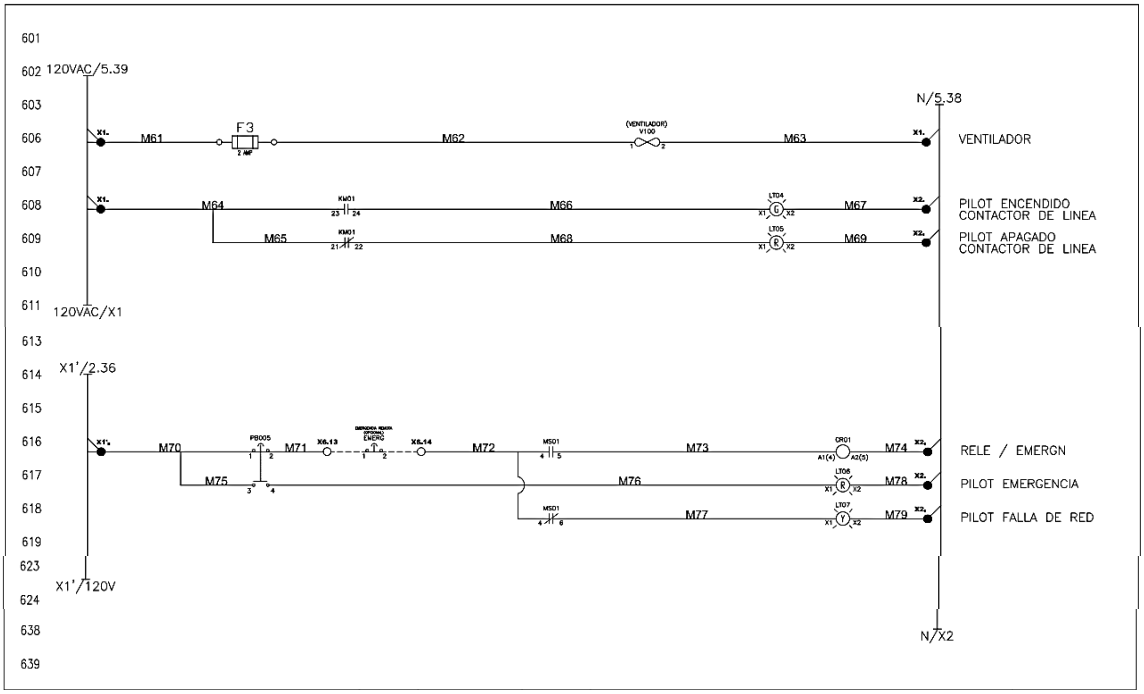


Imagen No. 7

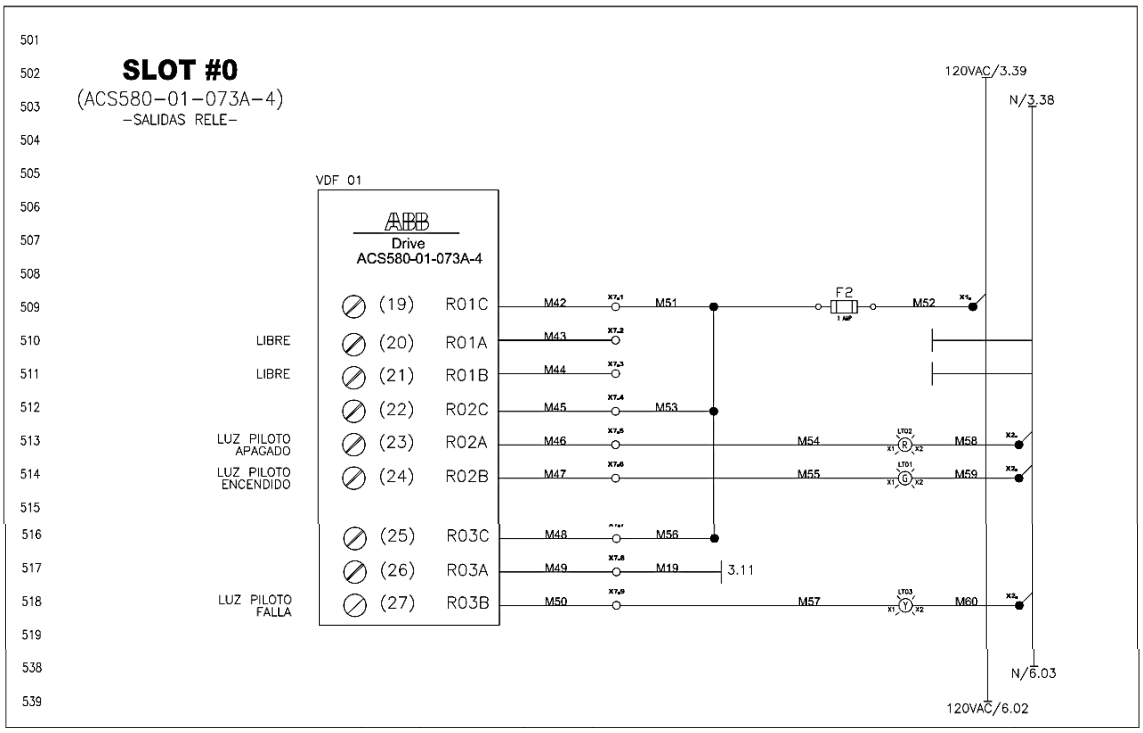


Imagen No. 9

3.2.2. Esquema de Fuerza.

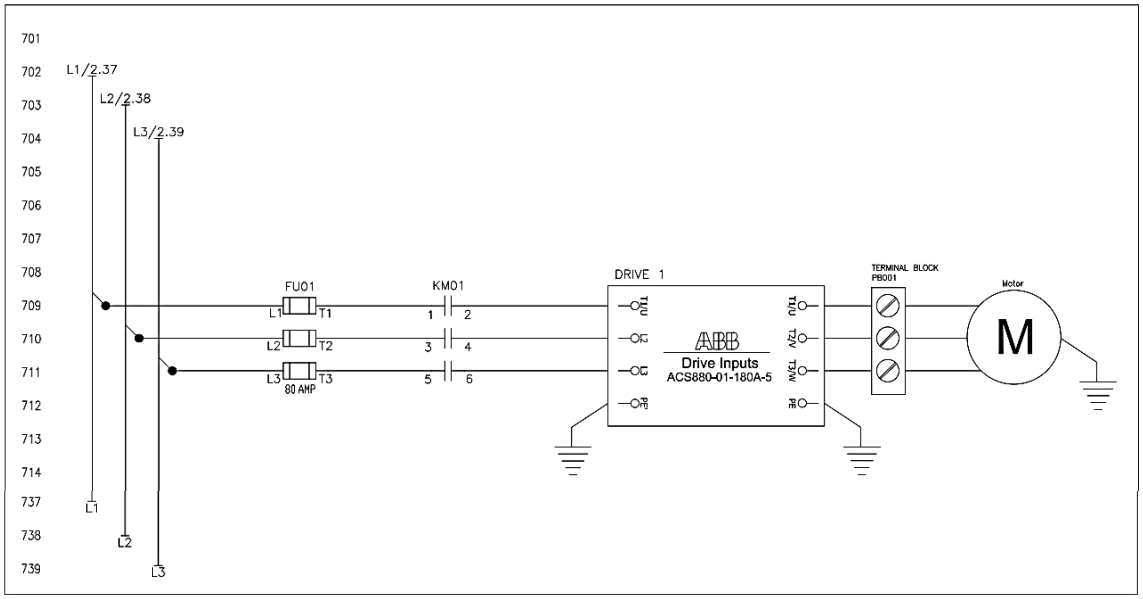


Imagen No. 10

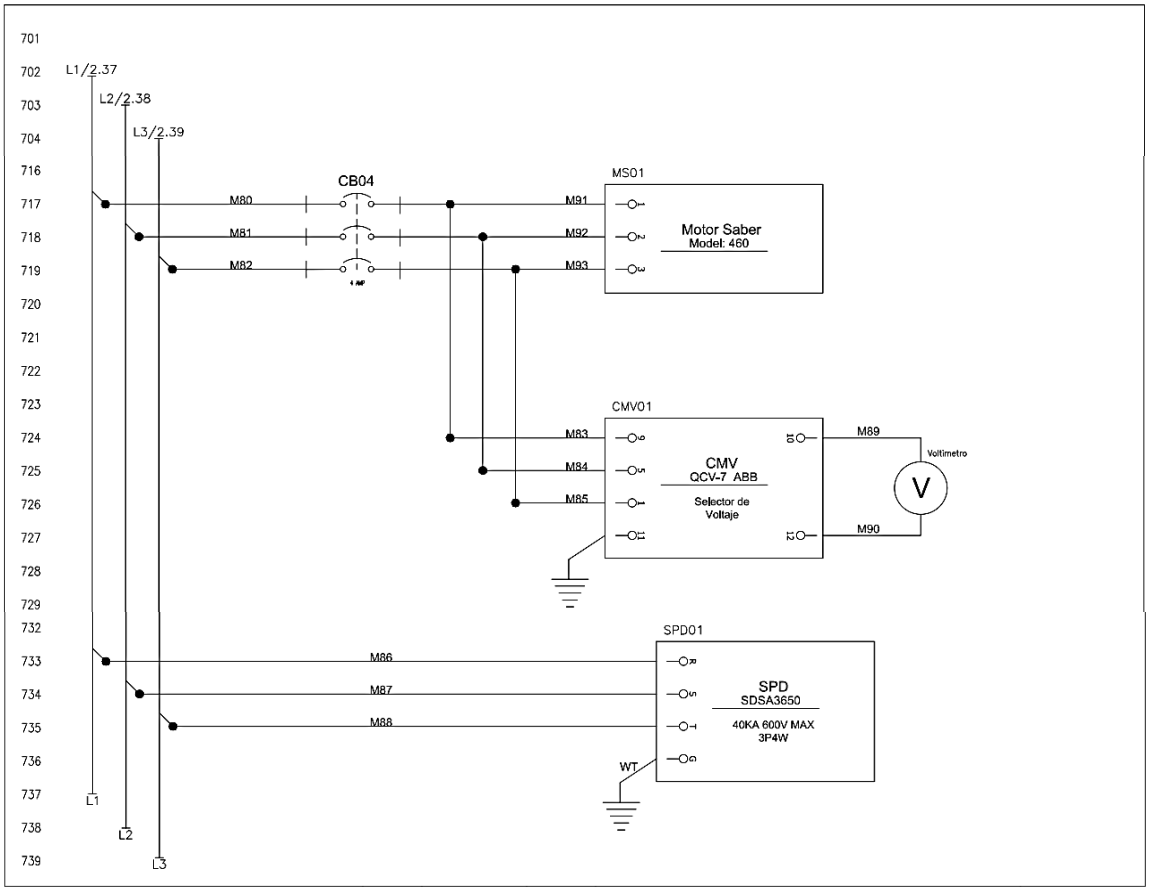


Imagen No. 11

Vista de Tablero Armado.

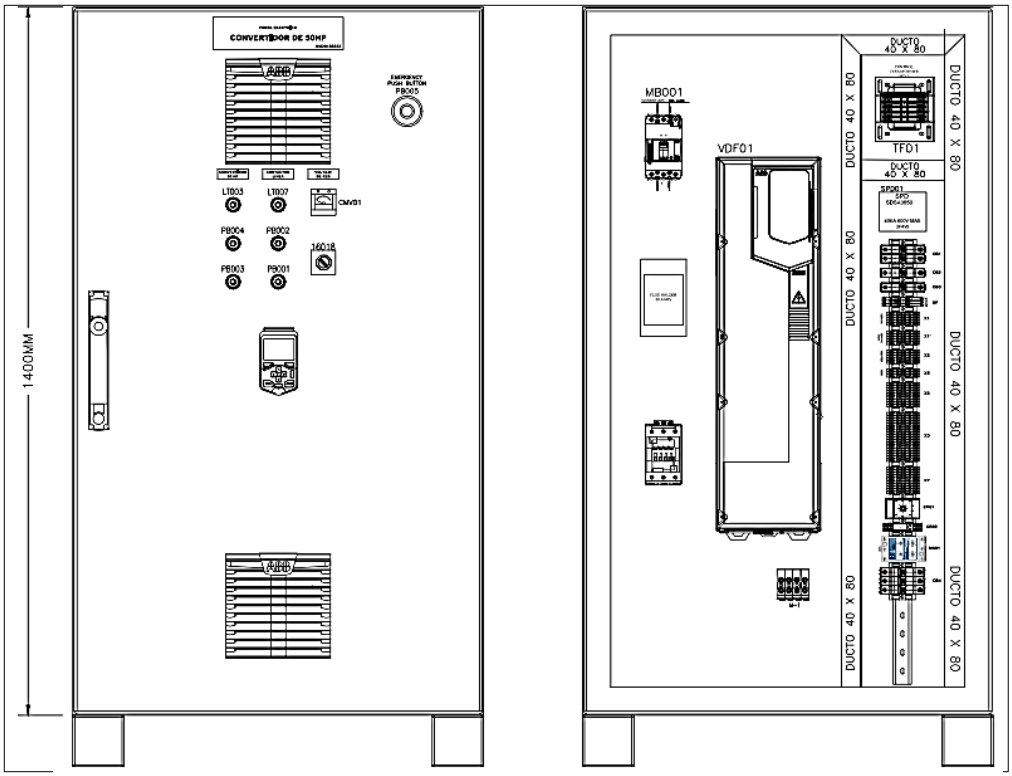


Imagen No. 12

3.2.3. Lista de Componentes.

Nombre	Descripción	Fabricante
Panel	Gabinete Metálico	ABB
Ventilador	Ventilador 250x250mm	ABB
MB001	Interruptor Principal	ABB
VDF01	Variador De Frecuencia	ABB
Fuse Holder	Seccionador Portafusible	ABB
Contactor	Contactor De Accionamiento	ABB
TF01	Transformador De Control	ABB
SPD01	Supresor De Picos	ABB
CR01	Rele De Interfase 1	ABB
CR02	Rele De Interfase 2	ABB
MS01	Monitor De Voltaje Motor Saver	Little Fuse
CMV01	Voltimetro Analogico	ABB
16018	Selector De Fases De Voltimetro	ABB
PB00X	Pulsadores De Accionamiento	ABB
LT00X	Luces Piloto Indicadoras	ABB

Tabla 1

3.3. Funcionamiento del sistema de control automático.

El control del sistema de presión constante se realizará utilizando un controlador lógico programable PLC y variadores de velocidad. Anexo se utilizará un sensor de flujo y un sensor de nivel.

El controlador lógico programable ordenará el encendido, apagado y variación de la velocidad de las bombas de acuerdo con la demanda que requiera en un instante determinado, como realimentación del sistema se tendrá un sensor de presión para determinar la presión del sistema a la salida de las bombas.

Se utilizarán variadores de frecuencia, para poder controlar la velocidad de las bombas de acuerdo con la demanda existente del sistema, esto se verá reflejado que cuando la presión en el sistema se esté aproximando a su set point, la bomba bajará la velocidad y en el caso de alejarse de su set point la bomba se accionará a más velocidad para alcanzar su set point.

Se utilizará un Sensor de flujo que nos permitirá conocer la velocidad del fluido y así conocer cuánta agua estamos bombeando directamente desde el pozo hacia tanques de almacenamiento desde nuestro sistema de bombeo.

Se utilizará un sensor de nivel tipo radar, para conocer los niveles de llenado de los tanques, y definir a que porcentajes se mandará a encender o apagar la bomba.

Se utilizará un módulo Gateway IOT, que nos permitirá comunicar desde un punto hasta un punto B información para tener un histórico de datos de flujo, nivel, presión, apagado y encendido de bombas a través de un reporte.

Se colocará un sistema automático y manual de encendido. En modo automático funcionará sin intervención de ningún operario manteniendo la presión constante y accionando las bombas necesarias, en caso de mantenimiento en modo automático se podrá deshabilitar una bomba para que se realice su mantenimiento respectivo sin paralizar el sistema de bombeo y el sistema funcionará de manera autónoma solo con una bomba.

En modo manual, se podrá encender cada bomba al cien por ciento de su capacidad, pero se debe realizar una supervisión del funcionamiento, ya que las tuberías pueden saturarse de presión.

Se preverá que el tanque de almacenamiento de agua tenga un sensor de nivel para poder parar el proceso de bombeo, en caso de que el sistema se quede con un nivel de agua bajo y no pueda arrancar mientras el nivel de agua no sea el mínimo.

En la visualización se tendrán luces indicadoras de encendido de cada bomba y en caso de fallas y alarmas se desplegará una alarma visual en la pantalla del tablero.

Las bombas de agua serán accionadas de acuerdo con la necesidad de presión requerida y serán controladas por los variadores de velocidad que realizarían la modulación de la variación de la velocidad sobre la bomba, gestionando la presión necesaria en ese instante de tiempo. Por medio de este sistema de bombeo de agua, se busca establecer que las bombas sean accionadas de acuerdo con la demanda.

Se gestionarán las alarmas, protecciones eléctricas, el control en caso de sobre presión o baja presión y evitar el golpe de ariete en la tubería. Se busca también gestionar el desgaste de las bombas de agua con el uso equitativo de las mismas, con ello se busca evitar costos de mantenimiento correctivo innecesarios de las bombas de agua.

Se monitoreará el uso de las bombas por horas de funcionamiento lo que permitirá planificar los mantenimientos predictivos necesarios para las bombas de agua.

En la pantalla de visualización se podrá observar la presión, la velocidad de la bomba, horas de funcionamiento, estado de las bombas, valores del proceso, setpoint y alarmas.

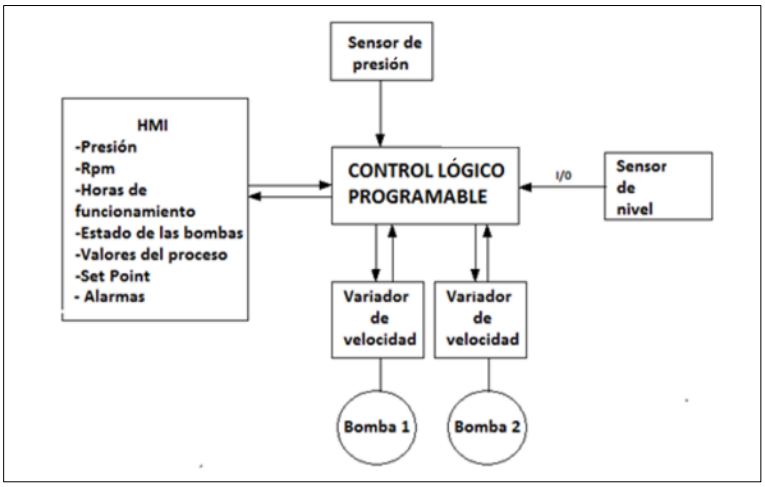


Imagen No. 13

En la siguiente figura se puede apreciar un esquema general de la distribución del sistema, los elementos necesarios para el control de las bombas de agua irán ubicadas en el tablero de control, el cual gestionará la activación, desactivación y modulación de las bombas de acuerdo con la demanda.

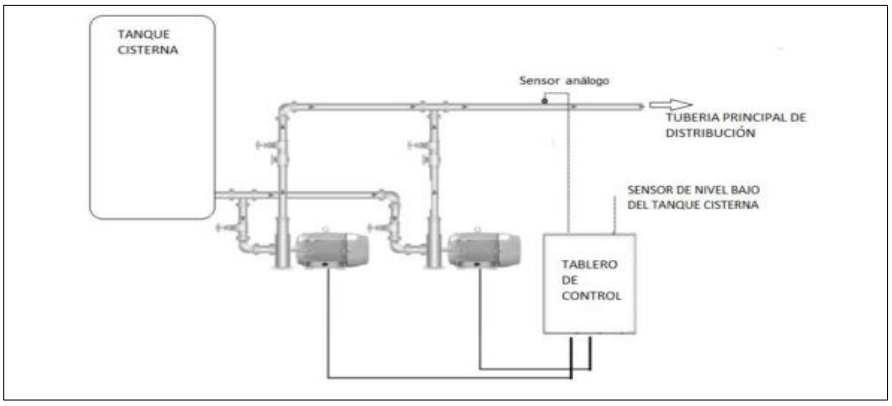


Imagen No. 14

3.4. Diseño del hardware.

3.4.1. Bombas instaladas.

El sistema cuenta con dos bombas de agua del tipo centrífugas, las bombas son las encargadas de mantener el sistema de bombeo de agua a presión constante, las bombas de agua son controladas por los variadores de frecuencia que regulan la velocidad de acuerdo con la demanda.

Las bombas tienen las siguientes características:

Marca	Baldor
Potencia	30 HP
Voltaje	230/460 V
RPM	1800 RPM
Frecuencia	60 HZ
Factor de Potencia	0.85
Corriente	76/38 AMP

Tabla 2

Los datos que se muestran en la tabla 2, son datos necesarios para el dimensionamiento de los elementos eléctricos, que se mencionaran más adelante.

3.4.2. Controlador lógico programable PLC.

El controlador lógico programable será el encargado de gestionar todo el sistema automático de bombeo de agua, para mantener la presión constante, ahora se determinará los elementos que lo conforman. Para determinar cuántas entradas, salidas y señales analógicas se requerirá, se elaborará una tabla de asignación de entradas, salidas, entradas analógicas y salidas analógicas con el fin de determinar el número correcto de señales necesarias y con ello determinar las características del controlador lógico programable.

DI	Identificador	Función	Tipo de contacto
I1	S1	Selección modo automático	NO
I2	S2	Selección modo manual	NO
I3	S3	Habilita Bomba 1	NO
I4	S4	Habilita Bomba 2	NO
I5	S5	Sensor de nivel tanque	NC
I6	S6	Flujómetro	NO
I7	S7	Falla Bomba 1	NO
I8	S8	Falla Bomba 2	NO

Tabla 3

En la tabla3, se encuentra asignado las entradas necesarias que se requiere, para llevar a cabo el proyecto, la nomenclatura utilizada para su comprensión es la siguiente:

- DI: entradas digitales.
- DO: salidas digitales.
- I: entradas hacia el controlador lógico programable.
- NO: contacto normalmente abierto.
- NC: contacto normalmente cerrado.
- Q: salidas del controlador lógico programable.
- AM2: módulo de entrada analógica.
- AI: entrada analógica.
- AM2 AQ: módulo de salida analógica.
- AO2: salida analógica.

DO	Identificador	función	Tipo de contacto
Q1	Q1	Enciende variador 1	NO
Q2	Q2	Enciende variador 2	NO

Tabla 4

En la tabla 4, se encuentra el número de salidas necesarias para encender y apagar los variadores, de acuerdo con la programación realizada.

AM2	Identificador	Función	Tipo de señal
A11	A11	Entrada analógica sensor de presión	0-10 VDC

Tabla 5

En la tabla 5, se encuentra la entrada analógica AI1, la cual es necesaria para conectar un sensor de presión, el cual envía una señal eléctrica para poder monitorear el valor de la presión y con ello realizar el control automático.

AM2 AQ	Identificador	Función	Tipo de señal
AO1	AQ1	Salida analógica, controla variador 1	0-10 VDC
AO2	AQ2	Salida analógica, controla variador 2	0-10 VDC

Tabla 6

En la tabla 6, se encuentra las salidas analógicas que se requiere, las cuales se conectarán a los variadores de velocidad, para controlar la velocidad de las bombas de agua.

Una vez determinado el número de entradas, salidas, tanto digitales como analógicas, se procede a seleccionar un controlador lógico programable que cumpla con los requerimientos necesarios.

En el mercado nicaragüense existen diversas marcas de controladores lógicos programables, para el presente proyecto se tomaron como referencia dos marcas

Siemens y Schneider, en la tabla 7, se muestra un cuadro comparativo de las características de cada controlador lógico programable.

Número de entradas y salidas requeridas	**Siemens**	**Schneider**
Modelo	6ES7 212-1BE31-0XB0	BR2 B121 FU
Alimentación	100-240 VAC	100-240VAC
Entradas	8	8
Salidas	6	2
Entradas Analógicas	2	1
Salidas Analógicas	2	2
Comunicación	Ethernet	
	No requiere cable de programación para cargar al PLC.	Requiere cable de programación para cargar al PLC.

Tabla 7

La entrada analógica y salidas analógicas vienen en módulos como accesorio para acoplar directamente al controlador lógico programable.

Una vez realizado la comparación de los aspectos técnicos que se requieren para desarrollar el proyecto, se puede consolidar que el controlador lógico programable de Siemens modelo 6ES7 212-1BE31-0XB0, cumple con los requisitos necesarios para desarrollar el proyecto. Una ventaja destacable es el puerto de comunicación ethernet, que viene integrado en el equipo el cual es un puerto estándar de comunicación por el protocolo que maneja, se puede conectar al equipo con cualquier tipo de cable ethernet, además la mayoría de los equipos en la actualidad utilizan este protocolo de comunicación.

3.4.3. Diagrama de conexiones CPU Siemens 1212C.

Para el presente proyecto se utilizará un módulo de entrada analógica el cual recibirá la señal de un sensor de presión analógico, para realimentar al sistema con la presión existente en un determinado de instante de tiempo para mantener la presión constante. (Padilla Narváez (2000))

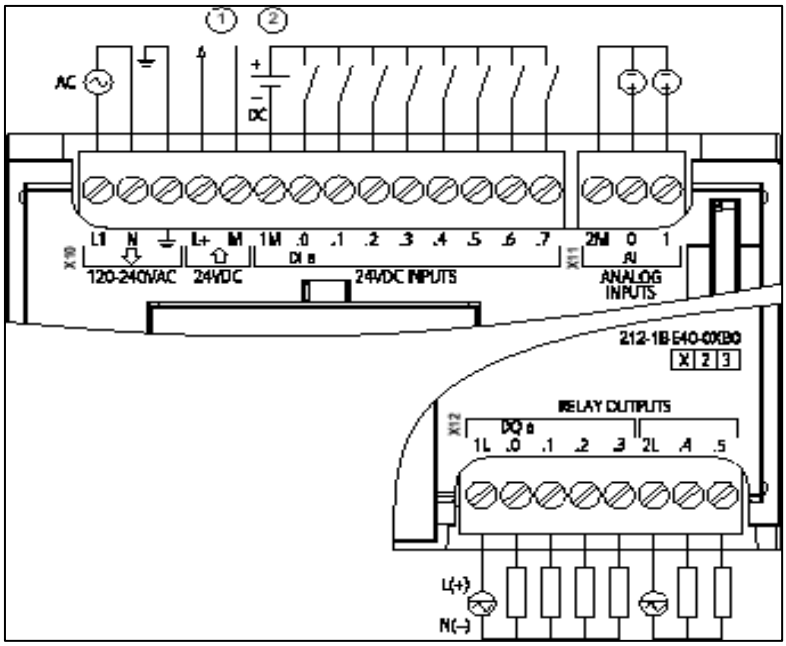


Imagen No. 15

En la Imagen 16 se encuentra el diagrama de bloques del funcionamiento de la salida analógica, la cual es maniobrada por el controlador lógico programable y gestiona el porcentaje de salida de la señal analógica para que el variador de frecuencia realice la modulación de la velocidad del motor de la bomba de acuerdo con la demanda.

El módulo de salidas analógicas controlará la velocidad de los motores de las bombas de agua, de acuerdo con la programación realizada.

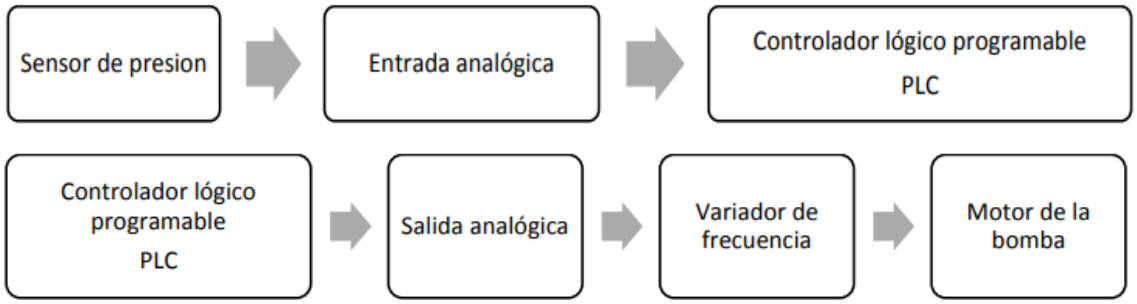


Imagen No. 16

3.4.4. Interfaz de usuario.

El sistema cuenta con un panel HMI para interfaz con usuario., es propio de la tecnología de automatización de PLC Siemens. La interfaz dispone dos puertos ethernet para comunicarse con el controlador y un protocolo de comunicación en Profinet. Tiene las siguientes características:

En la pantalla se podrá visualizar datos del proceso como es el valor del proceso, punto de ajuste, horas de funcionamiento, alarmas, estado de las bombas y fallas. Las características técnicas del equipo son las siguientes:

- Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
- Tamaño: 7 Pulgadas
- Tipo: Básica
- Color
- Interfaz: Profinet
- Visualización de texto y gráfico de barras.
- Modificación del punto de ajuste del sistema.
- Dispone de teclas F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 cuya función se establece en la programación del sistema.
- Configurable desde WINCC BASIC V13/ STEP7
- Tipo de tensión de la alimentación: 24 V DC
- Valor nominal (DC): 24 V

Imagen No. 17

El diagrama de bloques del funcionamiento de la pantalla se observa en la figura que va conectada directamente hacia el controlador lógico programable vía comunicación ethernet.

Imagen No. 18

3.4.5.Sensor de presión.

Para el funcionamiento del sistema en lazo cerrado se utilizará un sensor de presión, el cual proveerá una retroalimentación al sistema. El sensor de presión convierte una variable física en una señal eléctrica que puede ser interpretada por el controlador lógico programable PLC.

La señal eléctrica puede ser de voltaje o corriente, el módulo de entrada analógica es configurable para los dos tipos de señales, en este caso se utilizará la señal de voltaje. El sensor de presión irá instalado a la salida de las bombas con el fin de obtener la medición de la presión a la salida de las bombas de agua.

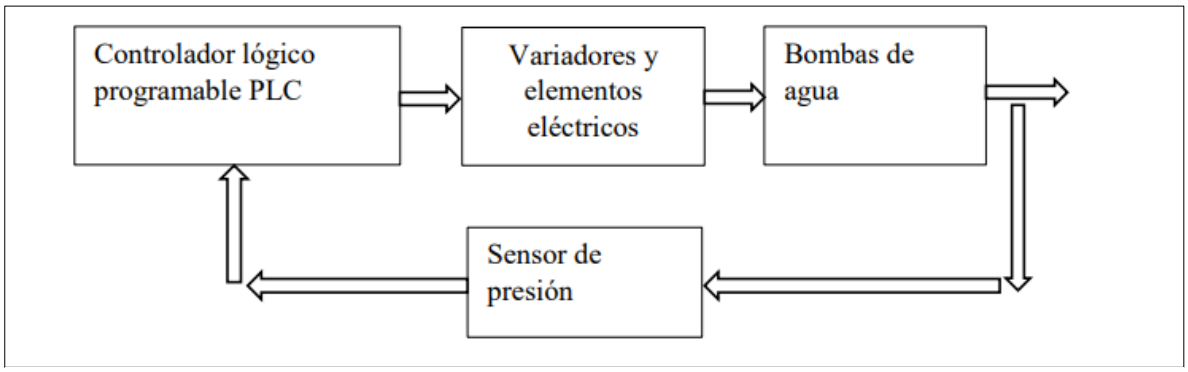


Imagen No. 19

El sensor de presión enviara la señal analógica para la realimentación del sistema con el fin de determinar la presión del sistema.

El sensor de presión tiene conexión G ¼ con rosca exterior, apto para conexión al proceso directamente. El sensor de presión funciona con alimentación a 24 VDC.

Las características técnicas del sensor son las siguiente:

Tipo de Sensor	Presión
Código	PT2424
Tensión de alimentación	16-36 VDC
Rango de presión	0-200 PSI
Señal de salida	Analógica
Salida de tensión	0-10 VDC
Grado de protección	IP67
Temperatura del Proceso	-40...90°C
Conexión eléctrica	1 x M12
Conexión al proceso	Rosca G 1/4 rosca exterior

Tabla 8

El rango medición del sensor de presión es de 0 – 13.7 Bares, la unidad de medida que se utilizará en la pantalla de visualización serán los PSI (libras por pulgada cuadrada). Para ello se realiza la siguiente conversión de unidades:

PSI = BAR * 14,5038 (Fórmula de conversión de BAR a PSI)

PSI = 13.7 BAR * 14,5038

PSI = 200 PSI

Imagen No. 20

3.4.6.Sensor de radar.

El Sensor de Nivel por Radar de Onda Libre Serie F78MP ofrece medición continua de nivel sin contacto para materiales a granel en silos, tanques y silos. Precisa y confiable en entornos difíciles, la serie F78MP es un indicador de nivel ideal para la medición de nivel de líquidos y sólidos a granel. El radar de onda libre de la serie F78MP resiste entornos corrosivos y mide consistentemente el vapor, el polvo y otras condiciones de turbulencia.

Imagen No. 21

Mide el nivel de material en un tanque o silo, monitoreando el tiempo que tarda para un pulso de microondas emitido que viaja desde el medidor de nivel hasta la superficie del material que se está midiendo y de regreso al medidor. Este tiempo se calcula en distancia, que luego se traduce en una medición de nivel.

- **Ideal para entornos difíciles;** transmitiendo a una frecuencia de 78 GHz con un ángulo de haz estrecho de 4 grados, el Sensor de Nivel por Radar de Onda Libre Serie F78MP es consistente y preciso en entornos difíciles.
- **Buen posicionamiento;** Para obtener mejores resultados, una brida direccional (5 grados) o de mira (10 grados) se ofrece en la serie F78MP. Permiten que la unidad se dirija específicamente al lugar deseado dentro del silo. Una brida plana también está disponible.
- **Distancia de transmisión extendida;** Para silos altos y cortos, la distancia medida es de hasta 100 metros

- **Instalación simple;** 78GHz con ángulo estrecho de 4° para medición precisa. Opción de brida o puntería de 5° o 10°. Configuración rápida en 6 pasos.
- **Mínimo mantenimiento;** Emisor y antena integrados ofrecen protección contra la acumulación de material. Purga de aire es estándar; aperturas angulares para limpieza rápida y eficiente. Ninguna parte móvil o partes externas que entran en contacto con el material
- **Infinitas aplicaciones;** Alto ángulo de reposo. Polvo. Baja constante dieléctrica. Materiales pegajosos

3.4.7.Sensor de Flujo.

El Magmeter 6600 es un caudalímetro electromagnético en línea recomendado para aplicaciones que involucran líquidos conductores o lodos.

El sensor de Flujo funciona según el principio de inducción electromagnética, aplicando un campo electromagnético controlado (2) en el tubo de medición por medio de bobinas (1). Fluido conductivo que fluye a través del campo electromagnético genera un voltaje proporcional a su velocidad. Los electrodos de detección (4) en la superficie interna del tubo de medición detectan el voltaje inducido, la unidad se convierte además en una tasa de flujo volumétrico. El Magmeter 6600 cuenta con una función de reducción de ruido, en la que un electrodo de puesta a tierra (6) detecta el ruido ambiental.

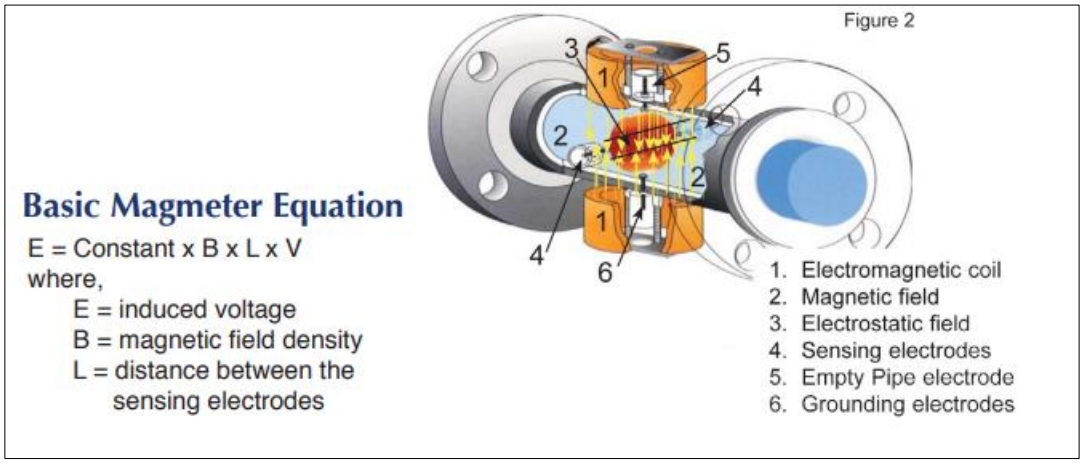


Imagen No. 22

Se selecciono un sensor de flujo para una velocidad de flujo de 150 m3/h para tubería de 6" a como se muestra en la tabla 9.

Flow Ranges/Dimensions/Weights

Flow ranges based on line size and ANSI Class 150

Line Size	minimum measureable flow (GPM)	minimum 20 mA setting (GPM)	maximum 20mA setting (GPM)	Dimension "A" (end to end) Inches	Dimension "B" (width) Inches	Dimension "C" (height) Inches	Weights (lbs)
0.50	0.14	1.40	25	8.268	6.457	7.047	22.04
1.00	0.40	4.00	80	8.268	6.457	7.047	30.81
1.50	1.00	10.00	195	8.268	6.457	7.047	35.27
2.00	1.50	15.00	310	8.268	6.457	7.047	39.68
3.00	4.00	40.00	790	11.204	8.78	9.213	59.52
4.00	6.00	60.00	1230	11.204	8.78	9.213	72.75
5.00	10.00	100.00	1980	13.386	13.661	14.09	99.2
6.00	14.00	140.00	2820	13.386	13.661	14.09	110.23
8.00	25.00	250.00	4975	13.386	13.661	14.09	121.25
10.00	39.00	390.00	7790	18.11	18.583	18.583	220.46
12.00	55.50	555.00	11095	19.291	20.784	20.784	286.6
14.00	76.00	760.00	15250	22.047	22.48	22.48	357.15
16.00	99.50	995.00	19900	24.016	25.472	25.472	429.9
18.00	126.00	1260.00	25200	25.984	27.362	27.362	487.22
20.00	155.50	1555.00	31100	25.984	28.465	28.465	694.46
24.00	220.00	2200.00	44900	31.102	32.992	32.992	826.73

Tabla 9

La electrónica del sensor de flujo se alimenta con 110VAC y tiene salida 4-20 ma. Lo que nos permite sacar un registro en Excel de dato del flujo periódicamente y opción a tener electrónica remota.

3.4.8.Variador de frecuencia.

El variador de frecuencia será el encargado de modular la velocidad de las bombas aumentando o disminuyendo su velocidad, de acuerdo con la consigna de velocidad enviada desde el controlador lógico programable, para mantener el sistema a la presión constante deseada.

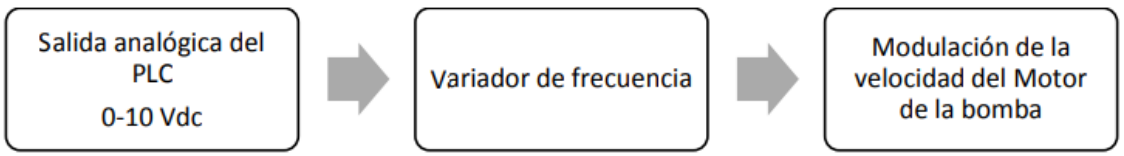


Imagen No. 23

Varios factores intervienen en la selección de un variador de frecuencia, siendo los más importantes:

- Voltaje de alimentación
- Medio ambiente
- Potencia
- Corriente
- Aplicación

Imagen No. 24

En el mercado hay varias marcas de variadores de frecuencia y dependiendo de los requerimientos se puede seleccionar el que cumpla con todos los aspectos técnicos deseados. Para seleccionar el variador adecuado, se hizo uso de catalogo digital ABB. Respecto al flujo en la tubería, se seleccionó un variador de 30HP dimensionado a la potencia de la bomba.

En la tabla 10 se puede observar que soporta una corriente de salida de 46 amp el variador seleccionado es el ACS580-01-046A-4, el cual también cuenta con alimentación trifásica 380-480V y salida trifásica aplicable para uso en trabajo ligero y pesado.

Convertidores ACS580-01 para montaje en pared

		Trifásica, U_N = 380, 400, 415 V							Trifásica, U_N = 440, 460, 480 V*				
		Especificaciones nominales		Uso en carga ligera		Uso en trabajo pesado		Intensidad de salida máx.	Uso en carga ligera		Uso en trabajo pesado		Intensidad de salida máx.
		P_N (kW)	I_N (A)	I_{Ld} (A)	P_{Ld} (kW)	I_{Hd} (A)	P_{Hd} (kW)	$I_{máx}$ (A)	I_{Ld} (A)	P_{Ld} (CV)	I_{Hd} (A)	P_{Hd} (CV)	$I_{máx}$ (A)
ACS580-01-02A7-4	R1	0,75	2,6	2,5	0,75	1,8	0,55	3,2	2,1	1	1,6	0,75	2,9
ACS580-01-03A4-4	R1	1,1	3,3	3,1	1,1	2,6	0,75	4,7	3	1,5	2,1	1	3,8
ACS580-01-04A1-4	R1	1,5	4	3,8	1,5	3,3	1,1	5,9	3,5	2	3	1,5	5,4
ACS580-01-05A7-4	R1	2,2	5,6	5,3	2,2	4	1,5	7,2	4,8	3	3,4	2	6,1
ACS580-01-07A3-4	R1	3	7,2	6,8	3	5,6	2,2	10,1	6	3	4	3	7,2
ACS580-01-09A5-4	R1	4	9,4	8,9	4	7,2	3	13	7,6	5	4,8	3	8,6
ACS580-01-12A7-4	R1	5,5	12,6	12	5,5	9,4	4	14,1	12	7,5	7,6	5	11,4
ACS580-01-018A-4	R2	7,5	17	16,2	7,5	12,6	5,5	22,7	14	10	11	7,5	19,8
ACS580-01-026A-4	R2	11	25	23,8	11	17	7,5	30,6	23	15	14	10	25,2
ACS580-01-033A-4	R3	15	32	30,4	15	24,6	11	44,3	27	20	21	15	37,8
ACS580-01-039A-4	R3	18,5	38	36,1	18,5	31,6	15	56,9	34	25	27	20	48,6
ACS580-01-046A-4	R3	22	45	42,8	22	37,7	18,5	67,9	44	30	34	25	61,2
ACS580-01-062A-4	R4	30	62	58	30	44,6	22	76	52	40	40	30	76
ACS580-01-073A-4	R4	37	73	68,4	37	61	30	104	65	50	52	40	104
ACS580-01-088A-4	R5	45	88	82,7	45	72	37	122	77	60	65	50	122
ACS580-01-106A-4	R5	55	106	100	55	87	45	148	96	75	77	60	148

Imagen No. 25

El variador de frecuencia ABB, es fácil de adquirir, instalar, configurar y dispone de una interfaz de usuario intuitiva plug & play. Las aplicaciones más comunes, son ventiladores, cintas transportadoras, bombas de agua, molinos industriales, etc.

Los variadores de frecuencia se utilizan en aquellas situaciones que se requiere controlar la velocidad y evitar que el sistema eléctrico sufra perturbaciones por el arranque del motor, la puesta en marcha y el uso óptimo del variador viene a cargo del ingenio de la persona que usa el variador para una determinada aplicación.

Las especificaciones del variador ABB, mencionan que puede soportar rangos de sobrecarga que se clasifica en dos tipos, carga normal y carga pesada. El tipo de carga va relacionada con la corriente nominal de salida del variador de frecuencia.

- **Carga normal**: Puede soportar una sobrecarga del 110% durante 60 segundos, cada cinco minutos.
- **Carga pesada**: Puede soportar una sobrecarga del 150% durante 60 segundos, cada cinco minutos.

En este caso para la aplicación de bombeo de agua es una aplicación de carga normal, por tener un par variable y por no presentar sobrecargas en la aplicación, un ejemplo de aplicación de carga pesada es un molino de piedra que tiene un par constante, el cual requiere a bajas velocidades el mismo par de carga que cuando se encuentra trabajando a plena capacidad.

De acuerdo con la ecuación revisada en el capítulo 1, se pude calcular la velocidad del motor variando la frecuencia, entonces de los datos de placa del motor se tiene los siguientes datos: frecuencia 60Hz, numero de pares de polos del motor 1, velocidad nominal del motor 3600 rpm.

Al variar la frecuencia el motor aumentará o reducirá su velocidad como se muestra en los siguientes cálculos:

Con una frecuencia de 30 Hz:

$N = 120 * f / 2\ (rpm)$

$N = 120 * 30Hz / 2^*$ (rpm)

N = 1800 rpm

Con una frecuencia de 45 Hz:

N = 120 $*$ f/ 2 (rpm)

N =120 $*$ 45Hz/2 *(rpm)

N = 2700 rpm

Con una frecuencia de 60 Hz:

N = 120 $*$ f/ 2 (rpm)

N = 120 $*$ 60Hz/2* (rpm)

N = 3600 rpm

3.4.9. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas.

El variador que accionará el motor de las bombas de agua tiene una potencia de 30 HP, corriente de nominal de entrada de 46 amperios a 480vac, 60Hz. Para el cálculo de la protección electromagnética, se utiliza la ecuación 3.2., donde el valor de 1.25 se multiplica por In que es la corriente de entrada del variador.

Ip = 1.25 $*$ In

Ip = 1.25 $*$ 46 A

Ip = 57.5 Amp

Para el breaker general de entrada se considera la suma de todas las cargas.

- Variador 1: 46 A
- Variador 2: 46 A
- Fuente de alimentación: 5 A
- Controlador lógico programable: 40mA
- Módulo de entrada analógica: 25mA
- Módulo de salida analógica: 30mA
- El breaker de entrada será: 57.5 A + 5A + 0.04A + 0.025A + 0.03A = 62.095A

Para seleccionar el breaker se debe seleccionar el más cercano al estándar comercial, en este caso el valor más cercano es 80A regulable.

3.5. Diseño del software.

3.5.1.Logo Software Comfort.

Para la programación del controlador lógico programable se requiere, de un software de programación donde se desarrollará la lógica de funcionamiento del sistema de presión constante.

El software es propiedad de Siemens, que se llama TIA PORTAL, que cuenta con diferentes lenguajes de programación.

El lenguaje KOP, también conocido como Ladder o Diagrama de escalera, es un lenguaje basado en la lógica cableada. Antes de que existieran los autómatas, la automatización se hacía todo mediante cableado eléctrico, relés y otras movidas. Cuando salieron los PLC, como eran complejos de programar debido al tan bajo nivel que utilizaban (tipo lenguaje ensamblador) se diseñó y creo el KOP, basado en aquella lógica cableada.

Existen los contactos (entradas) y las bobinas (salidas), donde los contactos actúan de la misma forma que un pulsador, al cerrarse, dejan pasar corriente, y al abrirse, no dejan pasar corriente. La bobina actúa como elemento de salida, como si fuera la bombilla de un circuito eléctrico.

Imagen No. 26
En el ejemplo, si se activa la «entrada» o «entrada2», se activará la «salida».

3.5.2. Interfaz programación.

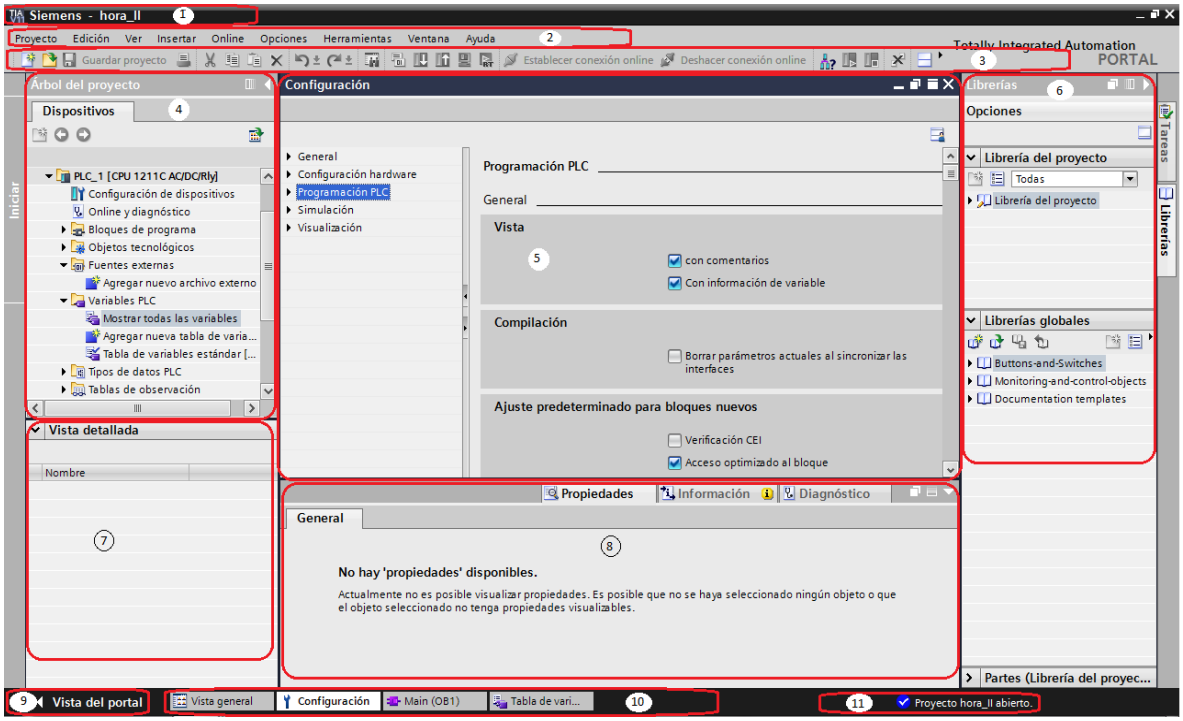


Imagen No. 27

En la interfaz de programación la pantalla se inicia con un diagrama en blanco, la mayor parte de la pantalla está dedicada a la creación de esquemas de conexiones, el área se denomina interfaz de programación. La interfaz de programación cuenta con los símbolos y enlaces del programa a diseñar.

1) Barra de menús

2) Barra de herramientas

3) Barra de modo

4) Barra de herramientas "Herramientas"

5) Interfaz de programación

6) Barra de estado

7) Árbol de esquemas

8) Árbol de operaciones.

Filosofia de Llenado

A continuación, se muestra una imagen general de la filosofía de llenado

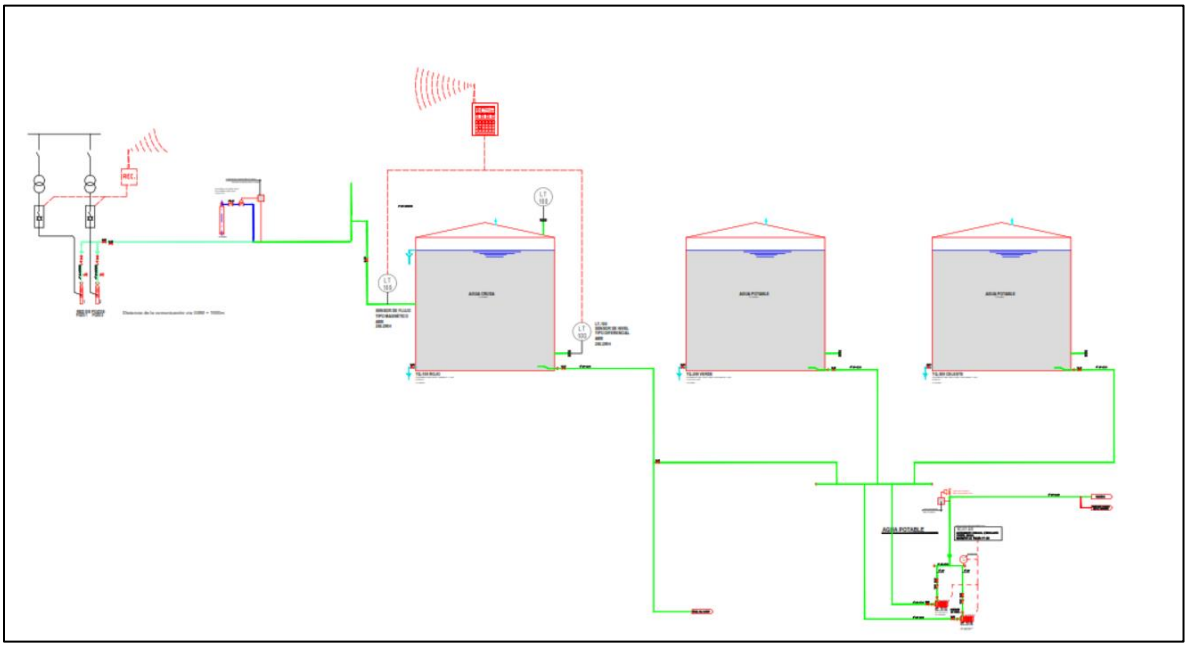


Imagen No. 28

A como se puede observar en la imagen 28, existen tres tanques de almacenamiento de agua. Dichos tanques son llenados desde una distancia de 1.6 km a través de unos pozos que estarán accionados por variadores de frecuencia.

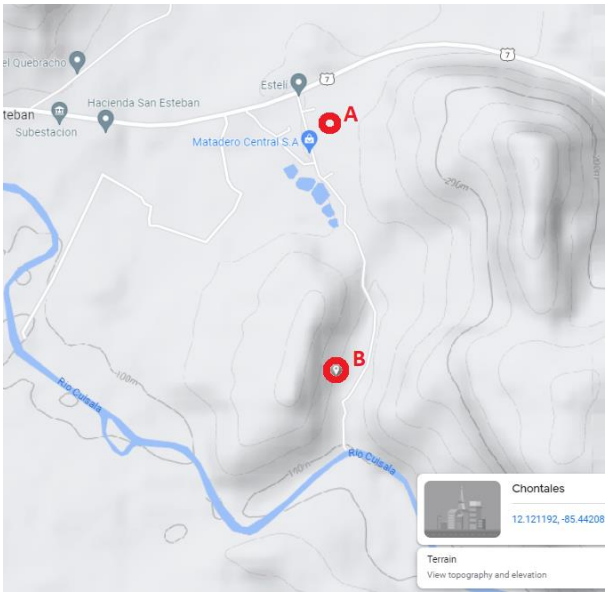


Imagen No. 29

En la imagen 29, se podrá observar que en el punto B existente dos redes de pozos que estarán accionados por un Variador de frecuencia.

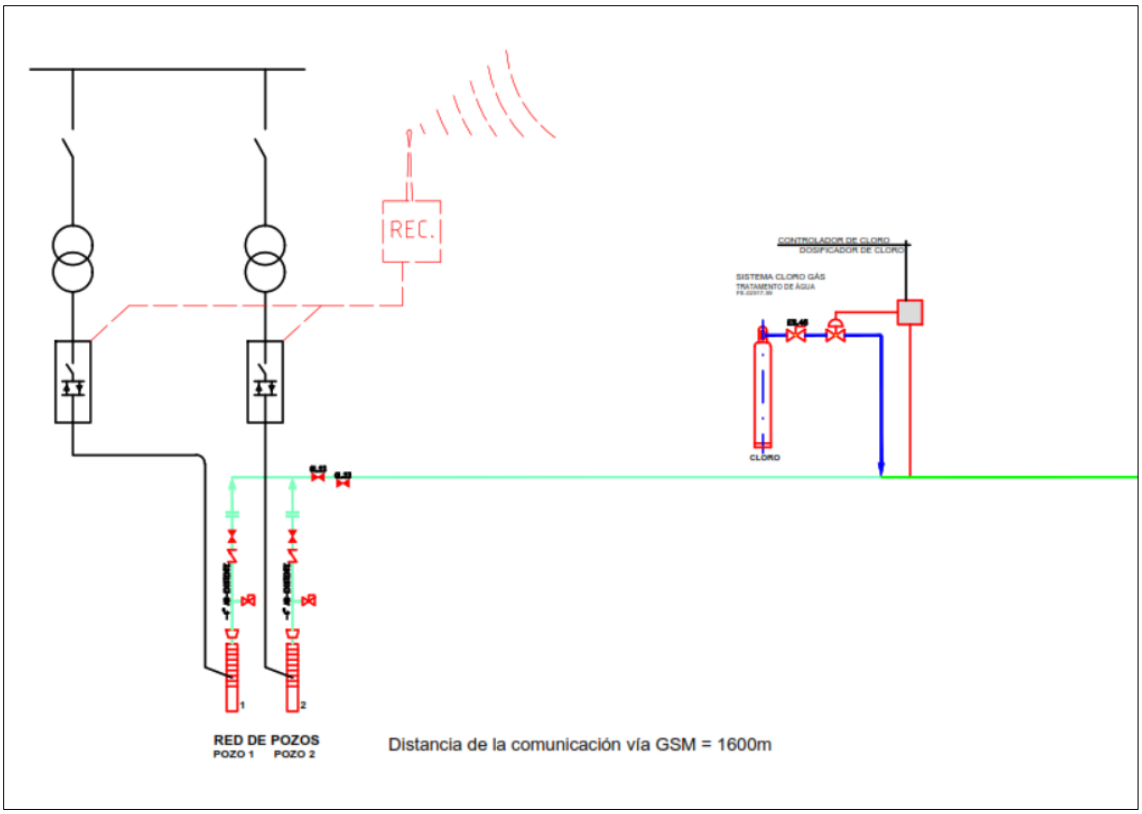


Imagen No. 31

Dicho sistema de pozos tiene un sistema de clorinacion en línea para eliminar presencia de microrganismos existentes y garantizar una mejor condición del agua.

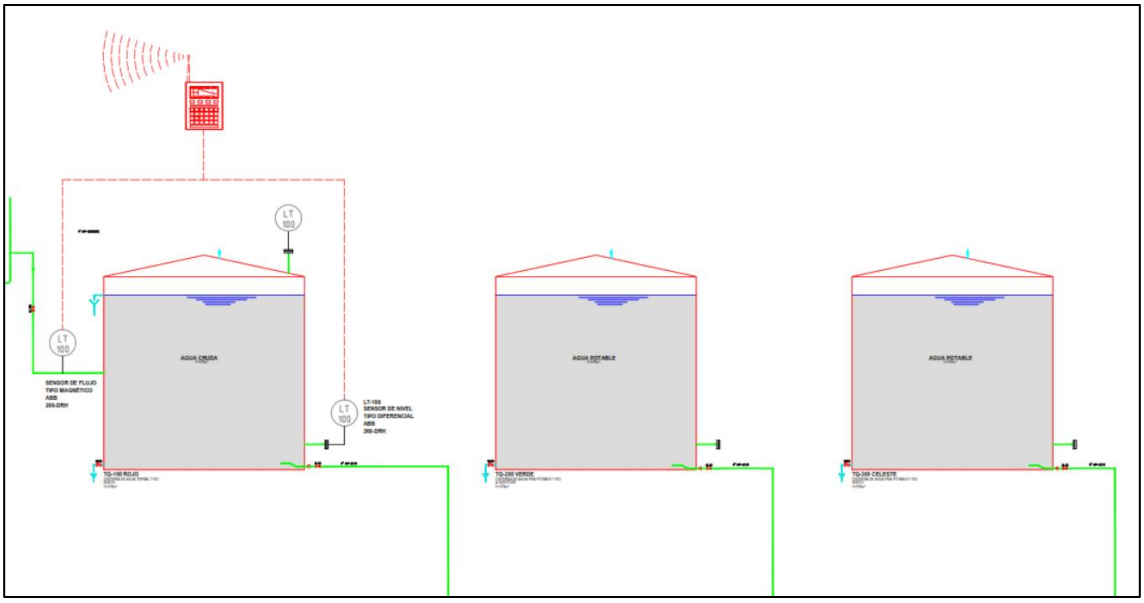


Imagen No. 30

Para solucionar el problema de las distancias, la comunicación bidireccional será a través de un IOT-Gateway que funciona como un Emisor/Receptor a distancia a través de una red LTE.

Es necesario conocer las coordenadas exactas para temas de asignamiento de dirección en el sistema. Para garantizar la funcionalidad de los equipos LTE, se realizan pruebas de conectividad para encontrar el punto con mayor señal, garantizando que la información no tenga ningún tipo de interferencia.

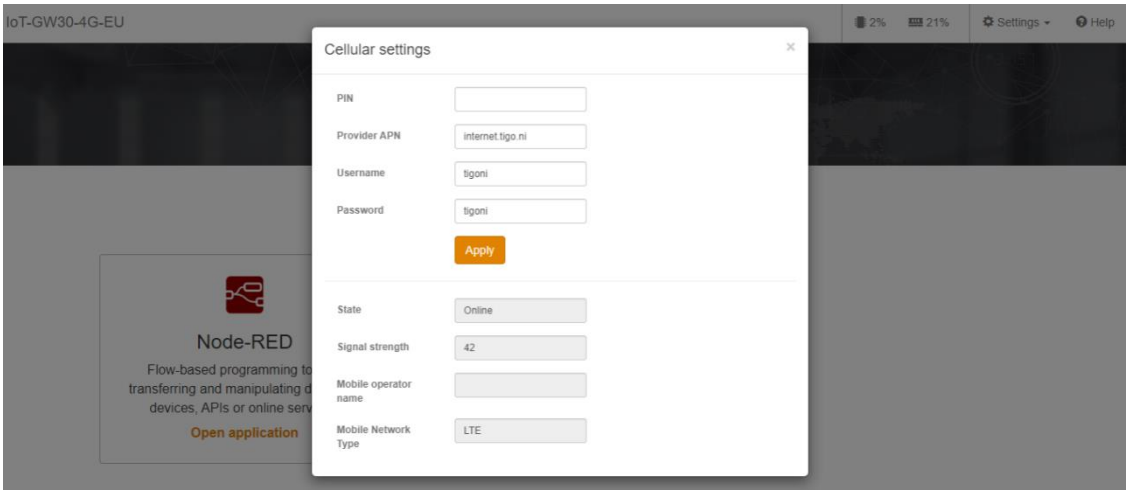


Imagen No. 32

Se hace uso un programa en línea a través de Node-red, que es un sistema de programación abierto y de uso libre.

En la parte superior del tanque se coloca el sensor de nivel para monitorear el nivel a través de un principio de radar en el tanque principal y asi conocer el porcentaje continuo de agua y poder tomar decisiones en relación con el PLC.

A su vez el sensor de flujo de 6" estará registrando el caudal en m^3/h tiempo continuo.

3.5.3. Diagrama de Flujo Con PLC S7-1200.

Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del PLC sucede con el fin de mantener la presión constante de agua, a continuación, se indica los requerimientos necesarios para el funcionamiento del sistema

El programa debe ser capaz de: Procesar las señales de 1 sensor de nivel y 1 sensor de flujo.

- La señal del transmisor de nivel le indicará al PLC cuando deberá alarmarse, cuando enviará un mensaje determinado y le dirá a los VFD de las bombas de los pozos cuando parar y arrancar.
- Se indicará a una interfaz ubicada en la misma caseta el nivel, en tiempo real, del tanque.
- El sensor indicará a los arrancadores de las bombas de la red de distribución que no se puede seguir bombeando.
- Los niveles serán los siguientes:

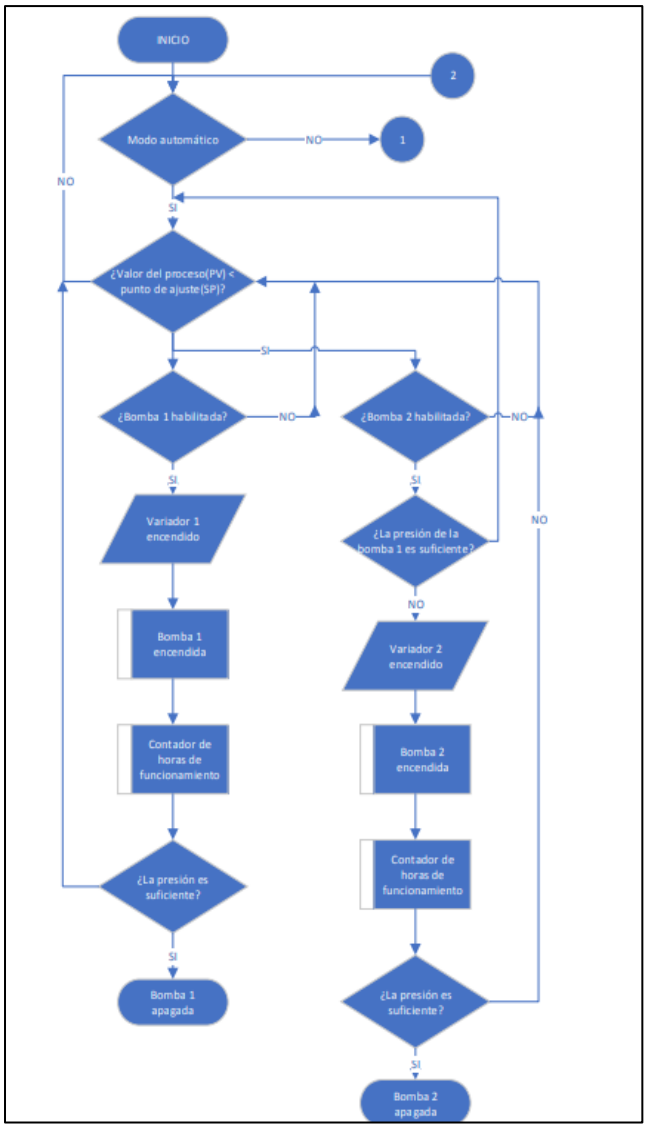
1. 10% imbombeable, nivel solo para Sistema Contra Incendio. Las bombas de distribución deben detenerse.
2. 11% al 20% Alarma por bajo nivel, el mensaje llegará a los usuarios designados vía SMS y correo electrónico.
3. 21% al 95% Nivel de operación. No hay alarma
4. 98% Apaga la bomba del pozo.
5. 80% vuelve a arrancar la bomba, apaga en 98%.
6. Un medidor de caudal enviará al PLC el registro de los m^3/h que han ingresado al sistema.

Consideraciones adicionales:

- Mantener la presión constante agua en cualquier instante de tiempo.
- En caso de que el sistema necesite más presión por una alta demanda, se accionará la segunda bomba de agua para mantener la presión constante.
- Las bombas de agua serán controladas por los variadores de frecuencia, para modular su velocidad de acuerdo con la demanda existente en un determinado momento.
- Se monitoreará las horas de funcionamiento de las bombas de agua, con el fin de planificar mantenimientos predictivos. La realimentación del sistema estará gestionada, por un sensor de presión.

- En el caso que una bomba entre a mantenimiento el sistema debe seguir funcionando.
- El sistema de control tendrá modo automático y manual.
- Prevenir daños en las bombas de agua, por sub corriente, sobre corriente, sub-voltaje y sobre-voltaje.
- Monitorear los datos del sistema como es el valor del proceso, el valor de ajuste, estados de las bombas, tiempo de funcionamiento de las bombas de agua, fallas y alarmas.
- Apagar el sistema en caso de sobrepresión

3.5.4. Diagrama de flujo.



3.5.5. Implementación del sistema.

Para la implementación del Sistema, se define primeramente la lógica de emisor y receptor del Equipo IOT-Gateway y los equipos que estarán transmitiendo datos.

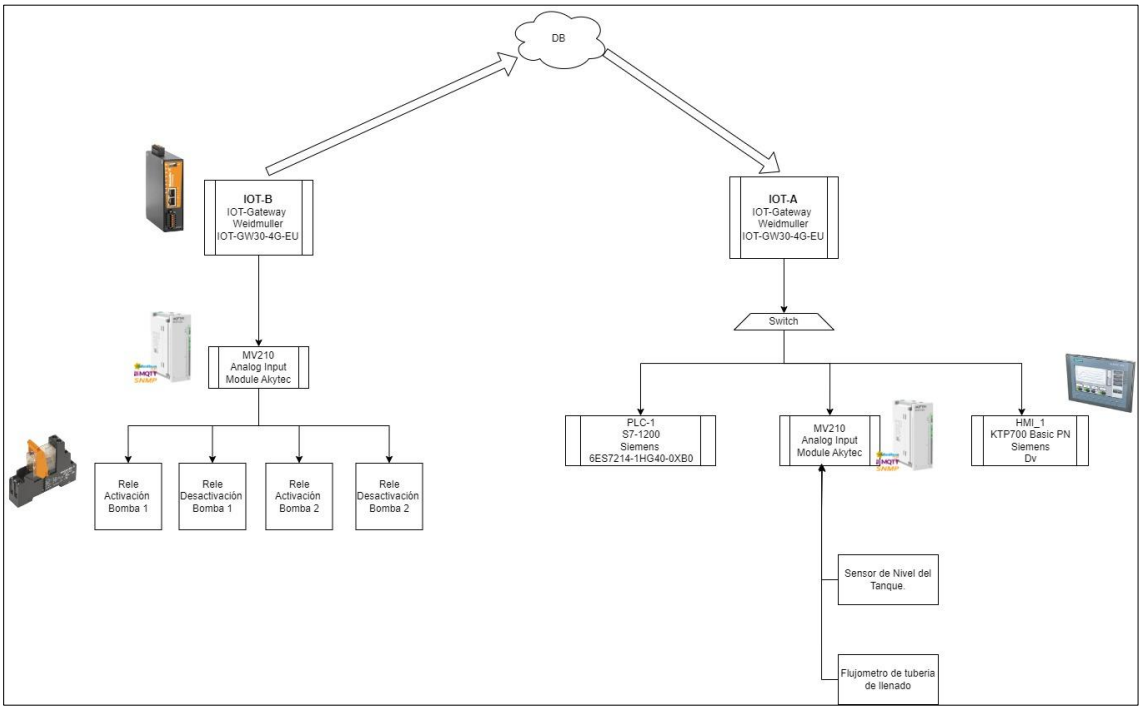


Imagen No. 34

- **Lógica de control de programación S7-1200 Siemens.**

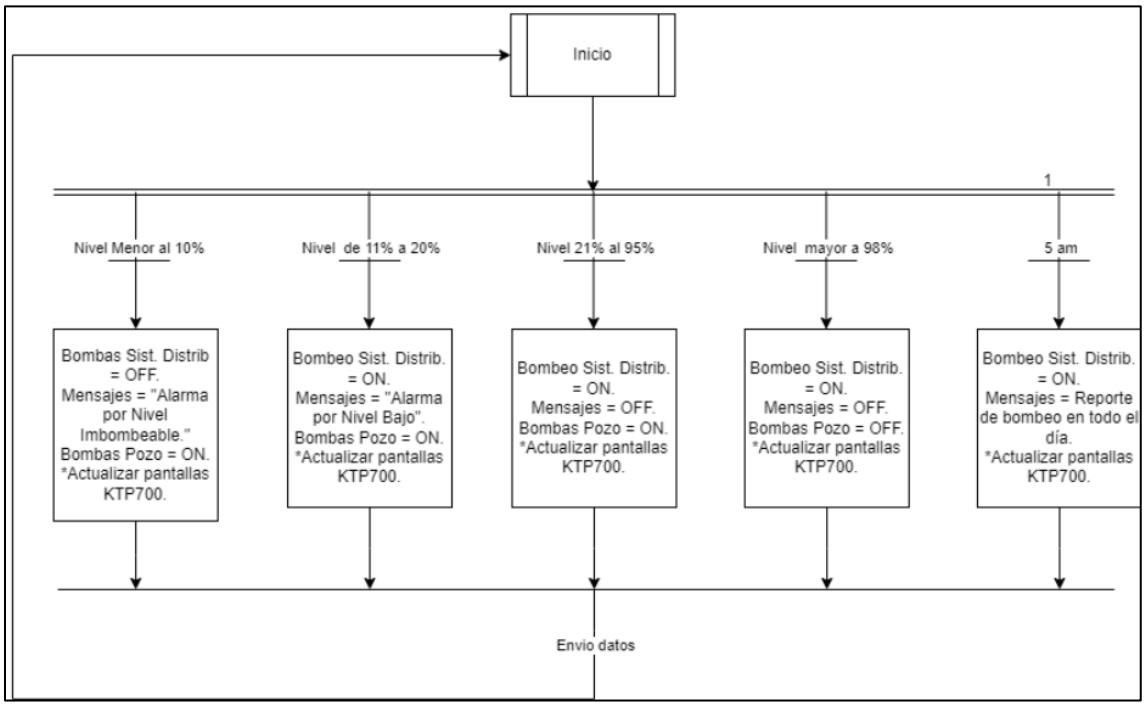


Imagen No. 35

Se asignaron los porcentajes de los niveles obtenidos del sensor de radar para tomar decisiones de apagado y encendido de las bombas, de esta forma se garantiza que no exista un rebase del tanque principal y contribuya a un ahorro hídrico del proceso. Adicional se designó un sistema de notificación para que los usuarios de mantenimiento y gerencia estén enterados en qué fase del proceso se encuentra el llenado del tanque.

El sistema es capaz de generar la siguiente información:

a. Mensaje con el volumen de agua que ha ingresado al Sistema con corte diario a las 5:00 AM
b. Mensaje con el porcentaje de agua en el tanque a las 5:00 AM.
c. Mensaje con conteo de las veces que la bomba ha arrancado.

3.5.6. Diseño de Planos Eléctricos.

1. Alimentación General.

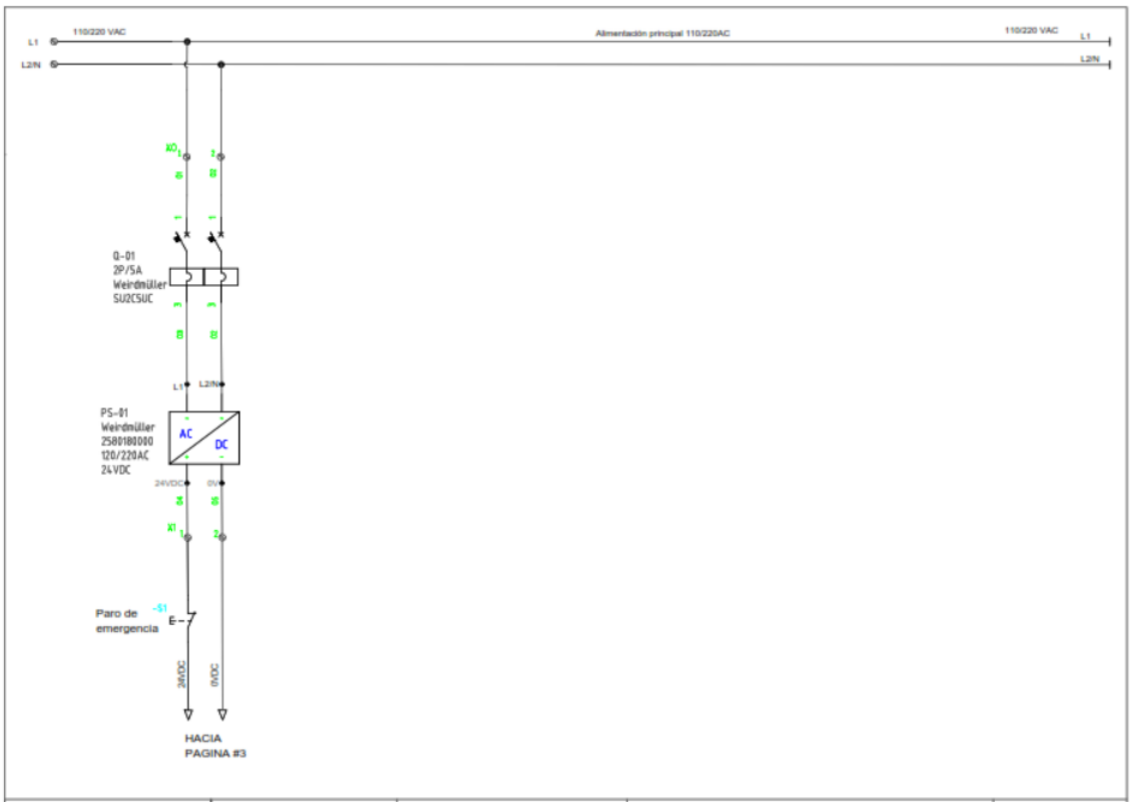


Imagen No. 36

2. Alimentación IOT Gateway.

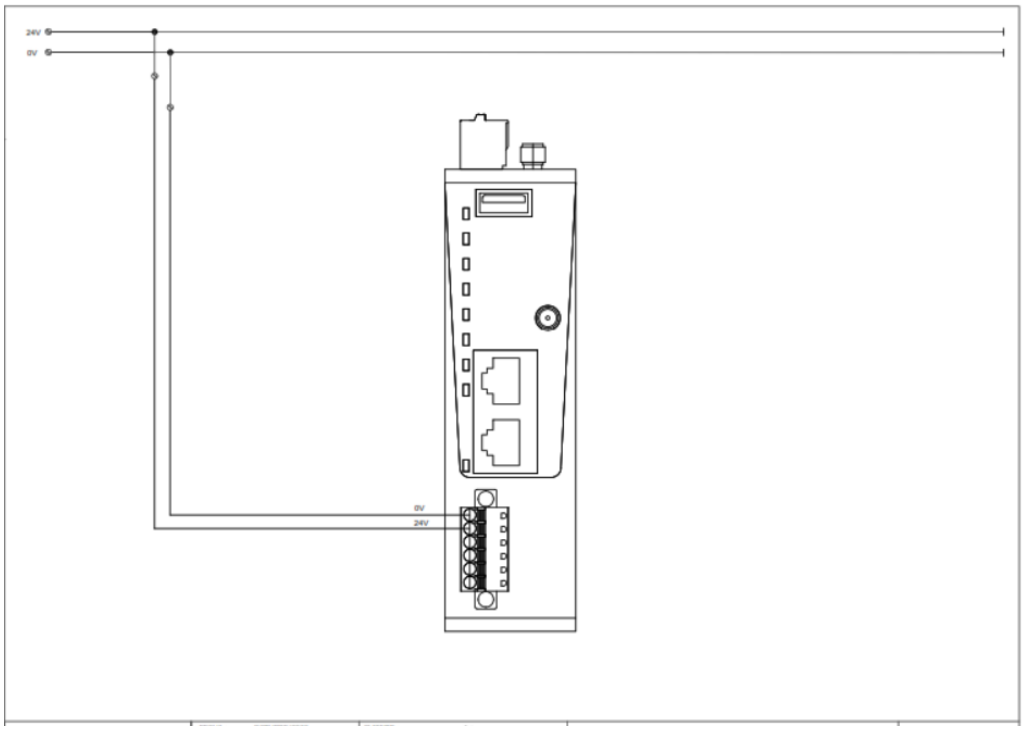


Imagen No. 37

3. Alimentación controlador S7-1200.

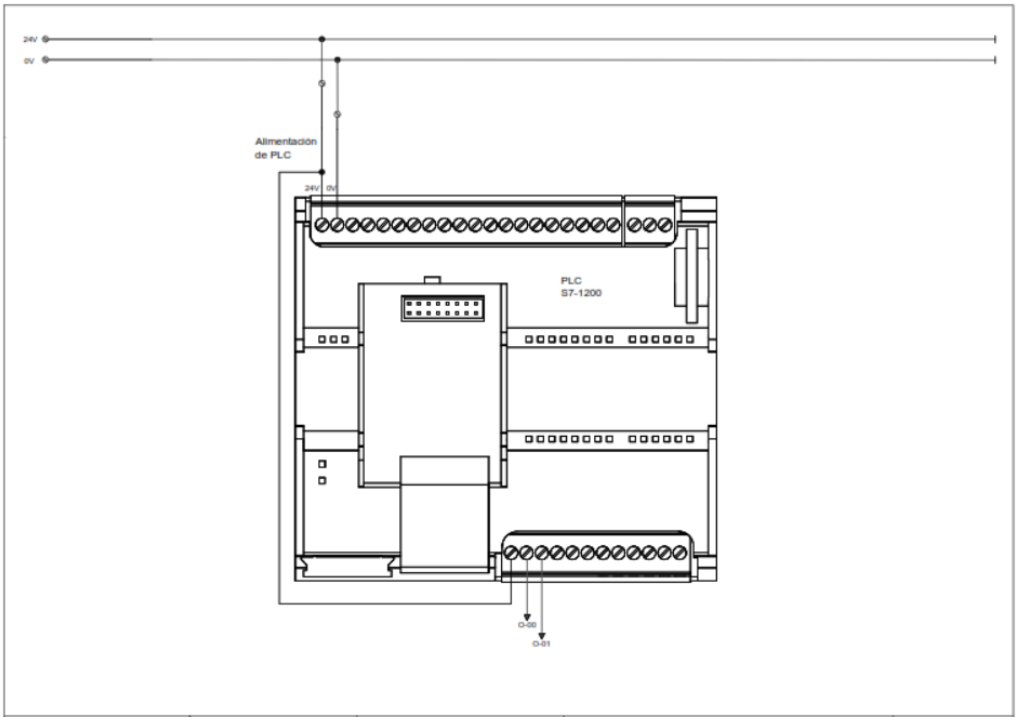


Imagen No. 38

4. Módulo de entrada análoga Akytec.

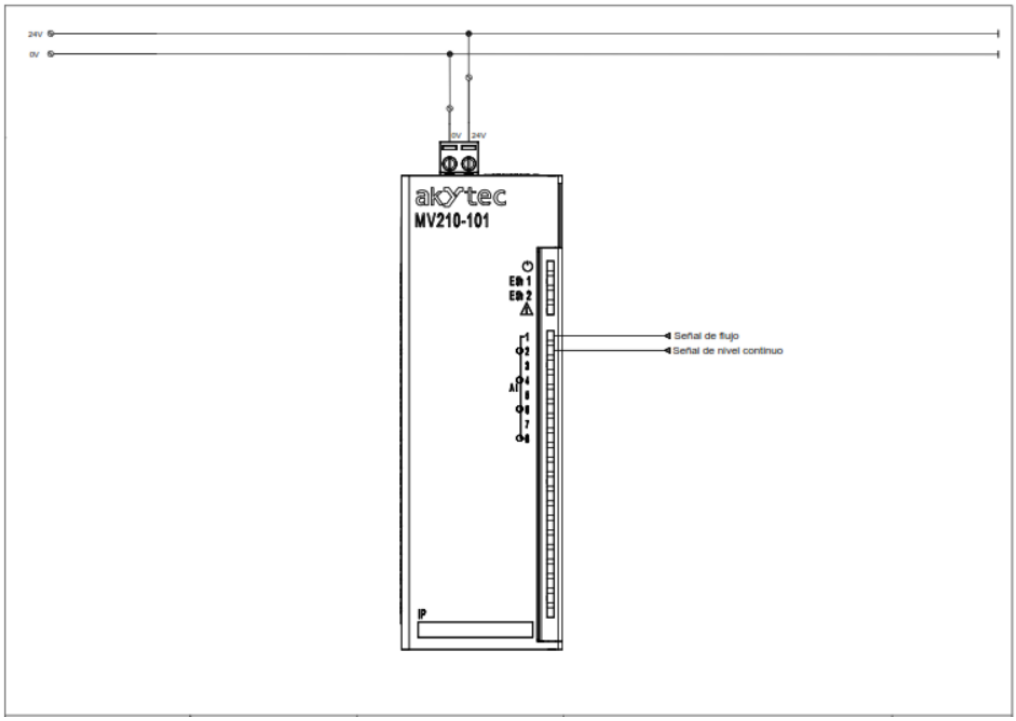


Imagen No. 39

5. Switch Industrial Ethernet.

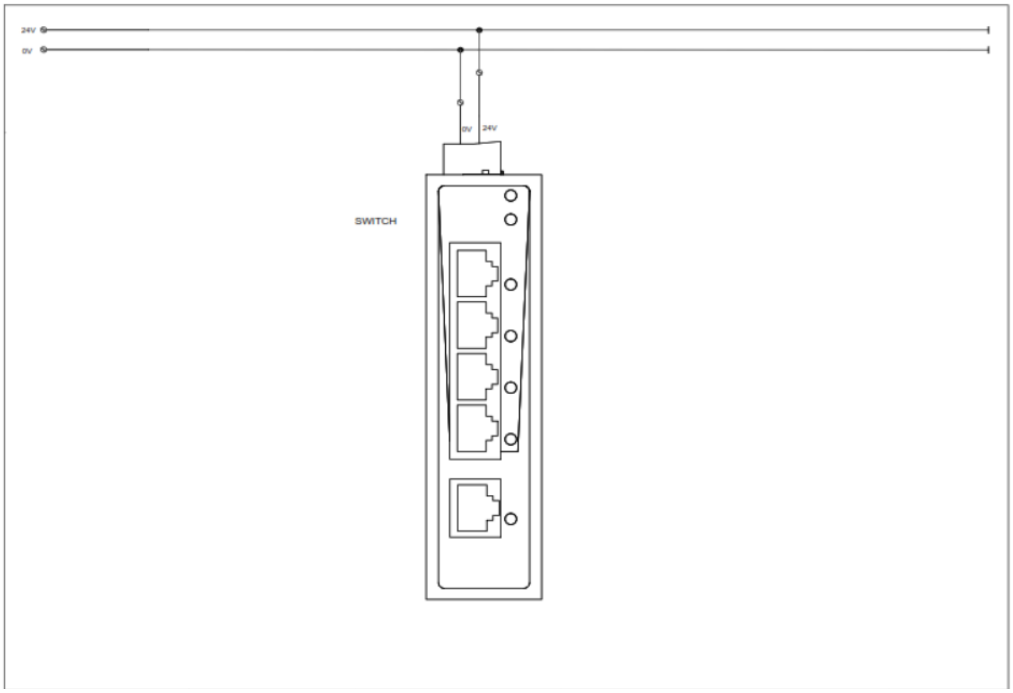


Imagen No. 40

6. Activación salidas de control.

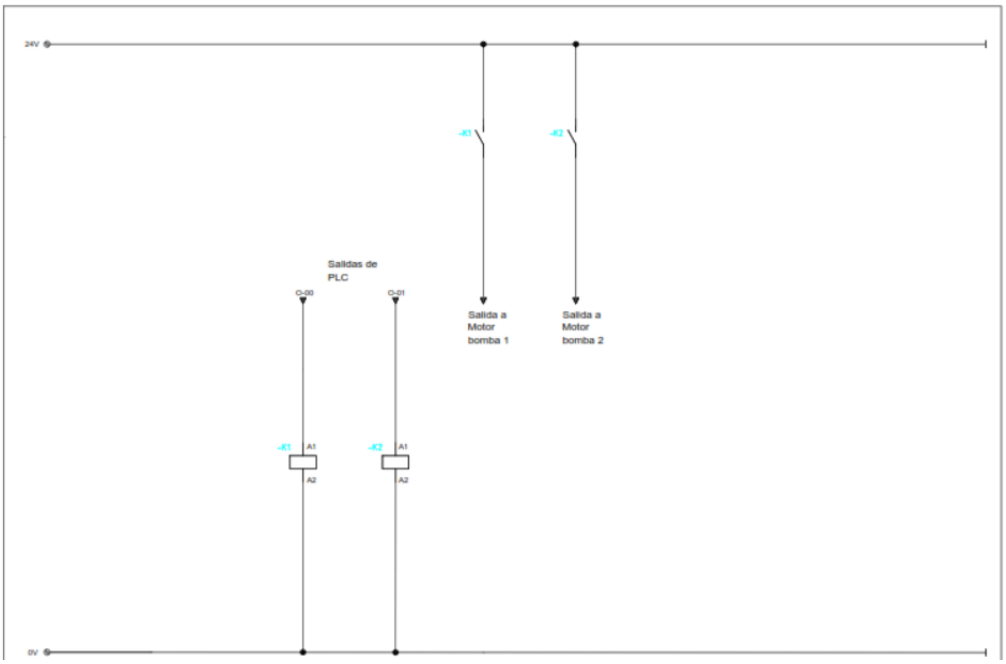


Imagen No. 41

7. Programación en Nod-red.

El programa Node-Red se encarga de la recepción, control y envío de las señales de los sensores. La primera sección del programa hace la lectura del módulo análogo Akytec traduciendo el mensaje del protocolo de comunicación y enviándolo al PLC permitiendo que la variable se visualice en el HMI luego de ser procesada por el PLC.

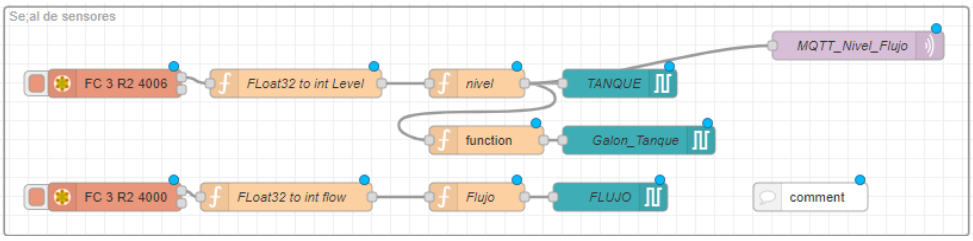


Imagen No. 42

Node-Red realiza en envío y recepción de las señales, según la lógica de control envía señales al PLC para controlar sus salidas dependiendo las necesidades, de la misma manera recopila las señales de HMI que recepciona el PLC y envía al IOT Gateway, la misma sección del programa se encarga de mantener el conteo de flujo que ha circulado por el flujómetro y el envío de los datos al Sheets de drive para el almacenamiento y comunicación de pozo.

La lógica de control consiste en el constante monitoreo del nivel del tanque y las señales de control enviadas desde HMI. La maniobra manual de las bombas de pozo es posible siempre y cuando el nivel del tanque se encuentre por debajo del 92%, de lo contrario las bombas de pozo se apagan automáticamente al mismo tiempo manda la señal de cierre de la válvula tiempo después de apagar las bombas de pozo.

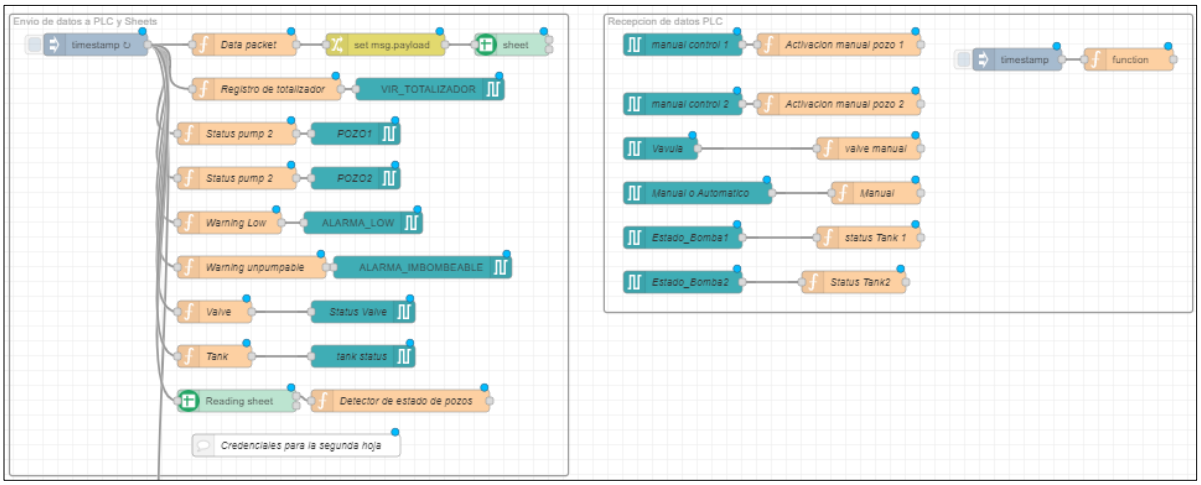


Imagen No. 43

El mando de encendido y pagado es comandado por los botones virtuales del HMI, cuando ambas bombas de pozo están apagadas y se desea poner en marcha alguna de ellas el IOT debe recibir la señal de encendido del HMI y encender la válvula permitiendo el paso del fluido, luego de un tiempo encenderá la bomba según la señal del HMI. El control permite el encendido y apagado independiente de las bombas de pozo siempre y cuando el nivel esté por debajo del 92%.

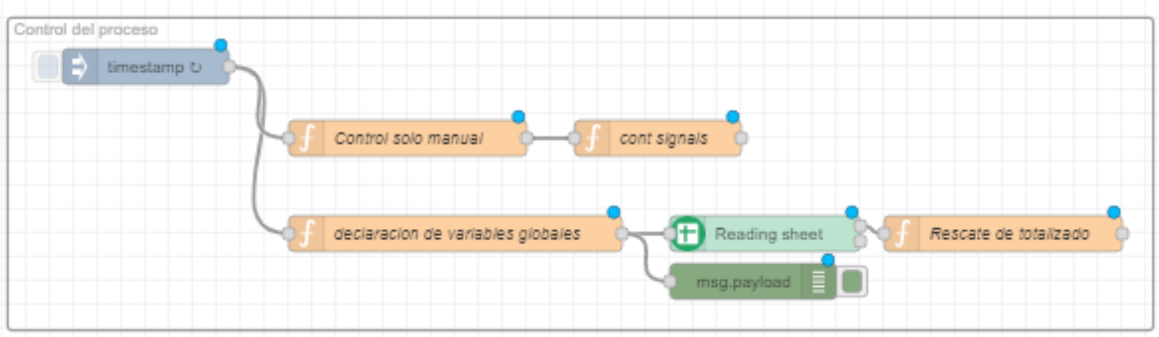


Imagen No. 44

Una sección aparte del programa se encarga de la mensajería de los datos. Node-Red se encarga de enviar un resumen de la cantidad de veces que se encendieron las bombas de pozo y distribución, además de mandar el nivel que se encuentra en el momento y la cantidad de flujo total consumido al día, los mensajes son enviados vía correo y a un grupo de telegram cada día a las 5:00 am, para un informe más detallado el programa se encarga de generar un archivo ".csv" donde guarda las mediciones de cada minuto en el día dando la posibilidad de importarlos a un excel para una visualización más cómoda.

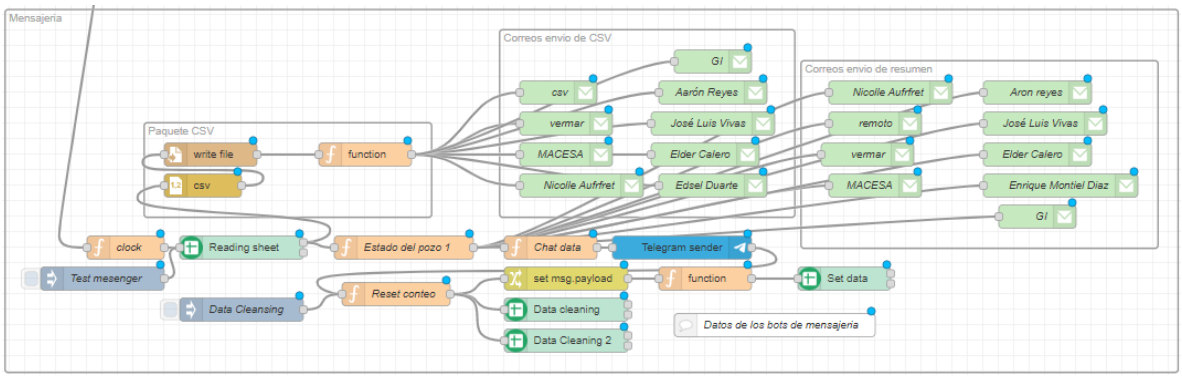
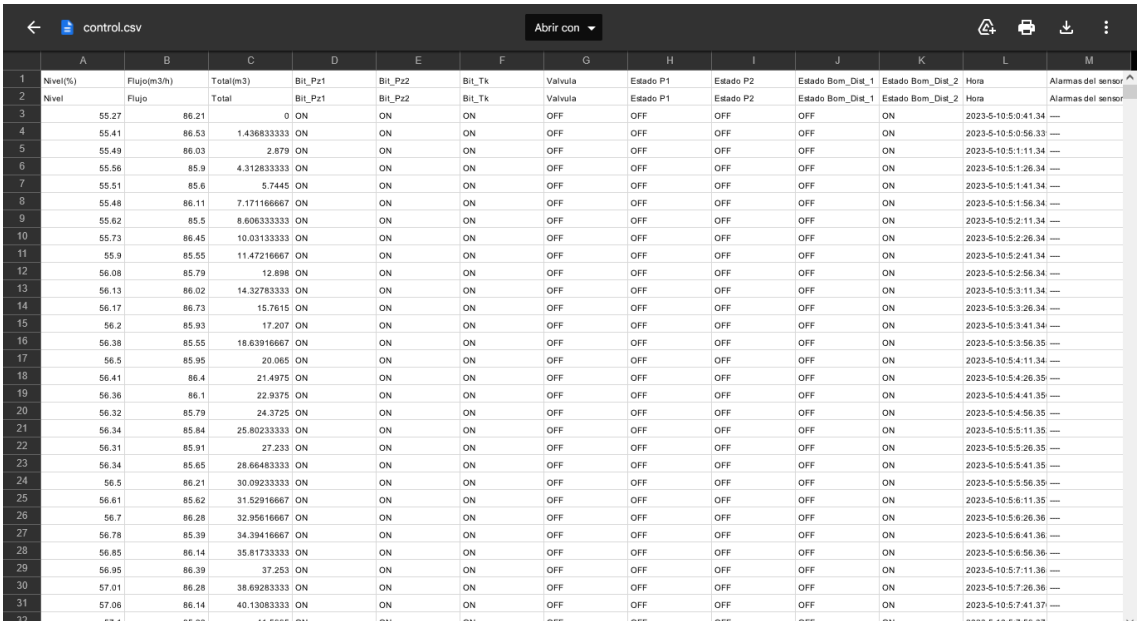


Imagen No. 45

Adicional, en un spreadsheet en vivo se podrá monitorear en tiempo real el flujo en relación al nivel de los tanques.


control.csv — Abrir con

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Nivel(%)	Flujo(m3/h)	Total(m3)	Bit_Pz1	Bit_Pz2	Bit_Tk	Valvula	Estado P1	Estado P2	Estado Bom_Dist_1	Estado Bom_Dist_2	Hora	Alarmas del sensor
2	Nivel	Flujo	Total	Bit_Pz1	Bit_Pz2	Bit_Tk	Valvula	Estado P1	Estado P2	Estado Bom_Dist_1	Estado Bom_Dist_2	Hora	Alarmas del sensor
3	55.27	86.21	0	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:0:41.34	—
4	55.41	86.53	1.436833333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:0:56.33	—
5	55.49	86.03	2.879	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:1:11.34	—
6	55.56	85.9	4.312833333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:1:26.34	—
7	55.51	85.6	5.7445	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:1:41.34	—
8	55.48	86.11	7.171166667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:1:56.34	—
9	55.62	85.5	8.606333333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:2:11.34	—
10	55.73	86.45	10.03133333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:2:26.34	—
11	55.9	85.55	11.47216667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:2:41.34	—
12	56.08	85.79	12.898	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:2:56.34	—
13	56.13	86.02	14.32783333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:3:11.34	—
14	56.17	86.73	15.7615	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:3:26.34	—
15	56.2	85.93	17.207	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:3:41.34	—
16	56.38	85.55	18.63916667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:3:56.35	—
17	56.5	85.95	20.065	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:4:11.34	—
18	56.41	86.4	21.4975	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:4:26.35	—
19	56.36	86.1	22.9375	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:4:41.35	—
20	56.32	85.79	24.3725	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:4:56.35	—
21	56.34	85.84	25.80233333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:5:11.35	—
22	56.31	85.91	27.233	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:5:26.35	—
23	56.34	85.65	28.66483333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:5:41.35	—
24	56.5	86.21	30.09233333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:5:56.35	—
25	56.61	85.62	31.52916667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:6:11.35	—
26	56.7	86.28	32.95616667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:6:26.36	—
27	56.78	85.39	34.39416667	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:6:41.36	—
28	56.85	86.14	35.81733333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:6:56.36	—
29	56.95	86.39	37.253	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:7:11.36	—
30	57.01	86.28	38.69283333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:7:26.36	—
31	57.06	86.14	40.13083333	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	2023-5-10 5:7:41.37	—

Imagen No. 46

8. Pantallas HMI.

Se procedió a programar las pantallas de acuerdo con la animación que el cliente necesita visualizar en tiempo real.

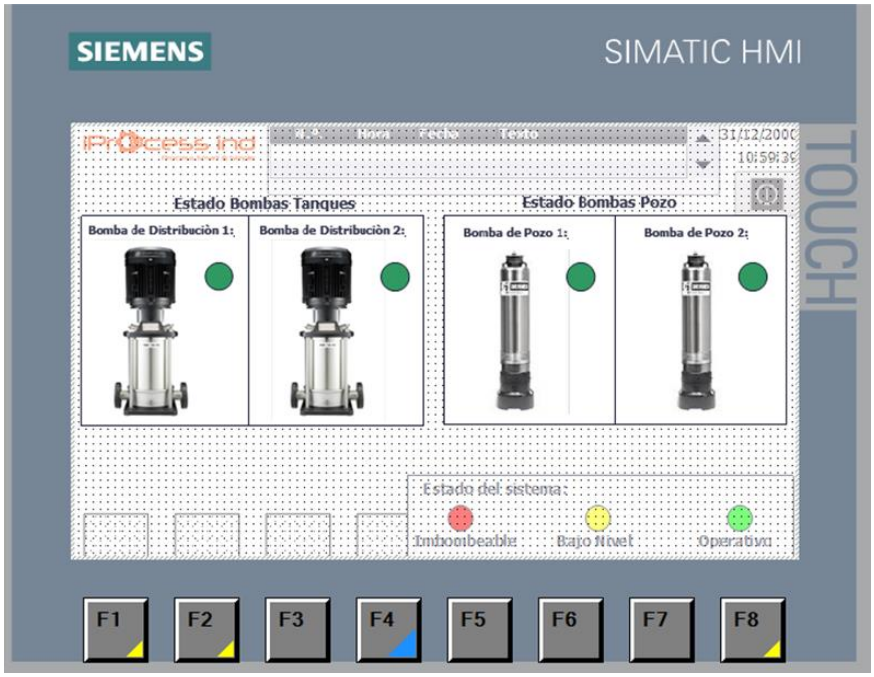


Imagen No. 47

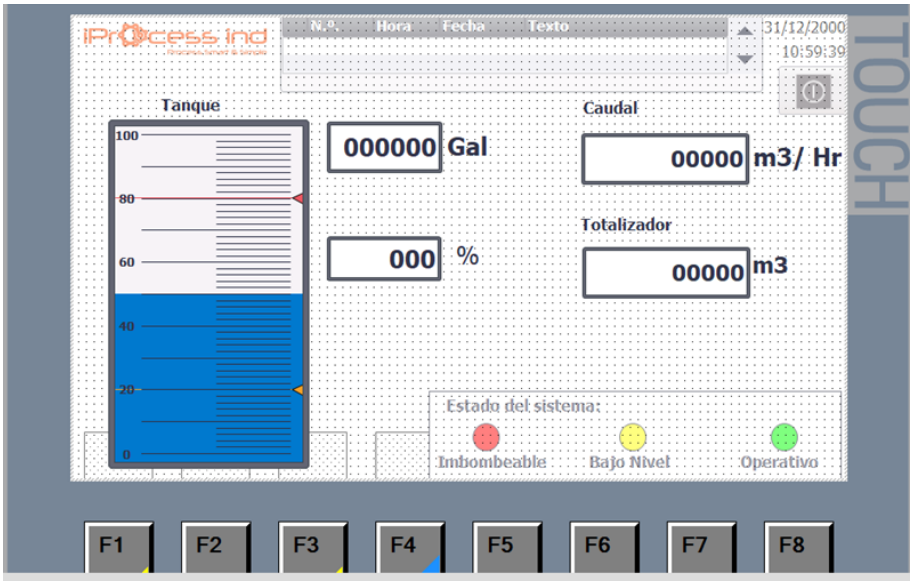


Imagen No. 48

4. CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1. Ahorro Energético.

Para el análisis de los datos partiremos de la comparativa de consumo energético con un arranque convencional de bombas de agua por método de arranque directo, versus el arranque y control de estas, mediante variadores de frecuencia en KW de carga y demanda de facturación emitidas por la distribuidora.

Comparativa de los tipos de arranque de motores.

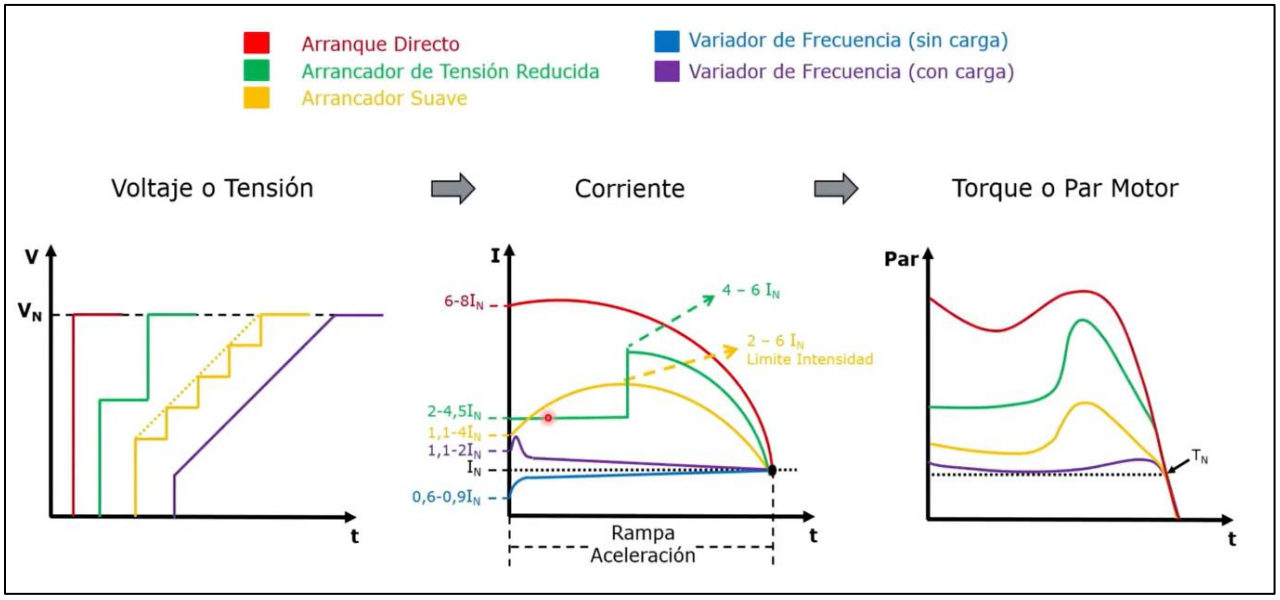


Imagen No. 49

Partiendo de los datos de la Bomba para 30HP la potencia equivalente es de 22Kw.

- **Consumo Energético Mediante Arranque Directo.**

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \emptyset \text{ [Kw]}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \text{Cos } \emptyset} \text{ [Amp]}$$

- Corriente en plena carga (100%) Frecuencia 60Hz

$$I\,n = \frac{22{,}000}{\sqrt{3} * 480 * 0.85} = [\ 31.13 \text{ Amp }]$$

$$I \text{ Arranq} = 8\ I\,n = [\ 8 * 31.13\ ] = [\ 249.05 \text{ Amp }]$$

- Demanda capturada por medidor de la distribuidora

$P = \sqrt{3} * 480 * 249.05 * 0.85 = [\ 176\ Kw\ ]$

- Consumo de Potencia Nominal por 12 horas de trabajo a 6 días a la semana en el mes.

$P\ mes = 22 * 12 * 6 * 4 = [\ 6{,}336\ Kw]$

- Cobro según pliego tarifario corresponde a tarifa T5 Industrial Mayor: Consumo Kw C$6.1176 / Demanda C$673.8580

$Consumo = 6{,}336 * 6.1176 = C\$\ 38{,}761.11$

$Demanda = 176 * 673.8580 = C\$\ 118{,}599.01$

$Total = 38{,}761.11 + 118{,}599.01 = C\$\ 157{,}360.12$

- **Consumo Energético Mediante Variador de Frecuencia.**

$P = \sqrt{3} * V * I * Cos\ \emptyset\ [Kw]$

$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * Cos\ \emptyset}\ [Amp]$

- Corriente en carga (60%) Frecuencia 36Hz (Ejemplo):

$I\ n = \frac{22{,}000}{\sqrt{3} * 480 * 0.85} = [\ 31.13\ Amp\ ]$

$I\ consumo = 60\ \% * In = [\ 18.68\ Amp\ ]$

$I\ Arranq = 0.9\ I\ n = [\ 1 * 31.13\ ] = [\ 28.02\ Amp\ ]$

- Demanda capturada por medidor de la distribuidora

$P = \sqrt{3} * 480 * 28.02 * 0.85 = [\ 19.8\ Kw\ ]$

- Consumo de Potencia Nominal por 12 horas de trabajo a 6 días a la semana en el mes.

$P\ Consumo = \sqrt{3} * 480 * 18.68 * 0.85 = [\ 13.2\ Kw]$

P mes $= 13.2 * 12 * 6 * 4 =$ [3,801.6 Kw]

- -Cobro según pliego tarifario corresponde a tarifa T5 Industrial Mayor: Consumo Kw C$6.1176 / Demanda C$673.8580

Consumo $= 3{,}801.6 * 6.1176 =$ C$ 23,256.67

Demanda $= 19.8 * 673.8580 =$ C$ 13,342.39

Total $= 23{,}256.67 + 13{,}342.39 =$ C$ 36,599.06

- **Resultados de comparativa de Ahorro Energético** (Pesántez Erazo (2012))

Económico C$ = C$ 157,360.12 – C$ 36,599.06 = C$ 120,761.06 / MES

Energía KW = 6,336 KW – 3,801.6 KW = 2,534.4 KW / MES - Eqq = 30.41 MW / AÑO

4.2. Ahorro en consumo de Agua.

Para el análisis del ahorro de consumo de agua tomares en cuenta los siguientes datos:

Datos Proporcionados

1. Motor: 30 HP
2. Flujo Promedio:
   - Arranque Directo: 150m^3/h
   - Variador de Frecuencia: 125m^3/h (ajustado a la demanda)
3. Volumen del Tanque: 30,000 litros = 30m^3
4. Niveles de Operación:
   - Encendido: 10% del tanque (3m^3)
   - Apagado: 98% del tanque (29.4m^3)
5. Horas de Operación: 8 horas/día
6. Set Point de Presión:
   - Arranque Directo: 100% del tanque (30m^3)
   - Variador de Frecuencia: 60% del tanque (18m^3)
7. Costo del Agua: C$ 24.08 Córdobas/m^3

La bomba funciona a un flujo constante de 150m^3/h durante 8 horas diarias:

Consumo Diario = Flujo X Horas de Operación

Consumo Diario Con Arranque Directo = $150m^3/h$ X 8h = $1{,}200m^3/día$

- **Consumo de Agua Mediante Arranque Directo.**
- **Numero de Ciclos:**

La bomba se apaga cuando el tanque llega a $30m^3$ (100%) y se enciende cuando llega a $3m^3$ (10%). El volumen bombeado por ciclo es:

Volumen por Ciclo = $30m^3 - 3m^3 = 27m^3$.

- **Tiempo de Bombeo por Ciclo:**

$$\text{Tiempo de Bombeo por Ciclo} = \frac{27m^3}{150m^3/h} = 0.18 \text{ horas} = 10.8 \text{ minutos}$$

Numero de Ciclos por Hora:

$$\text{Numero de Ciclos por Hora} = \frac{60\ min}{10.8 \text{ min/ciclo}} = 5.56 \text{ ciclos/hora}$$

- **Número Total de Ciclos Diarios**:

Número Total de Ciclos Diarios = 5.56 ciclos/hora X 8 horas = 44.44 ciclos/día.

Consumo Diario Total Arranque Directo = $27m^3$ X 44.44 ciclos/día = $1{,}200m^3$/día.

- **Consumo de Agua Mediante Variador de Frecuencia.**
- **Numero de Ciclos:**

Con el variador de frecuencia, la bomba ajusta el flujo a 125 m^3/h. Considerando el set point a 60% del tanque ($18m^3$), el volumen bombeado por ciclo es:

Volumen por Ciclo = $18m^3 - 3m^3 = 15m^3$

- **Tiempo de Bombeo por Ciclo:**

$$\text{Tiempo de Bombeo por Ciclo} = \frac{15\text{m}^3}{125\text{m}^3/\text{h}} = 0.12 \text{ horas} = 7.2 \text{ minutos}$$

Numero de Ciclos por Hora:

$$\text{Numero de Ciclos por Hora} = \frac{60\ min}{7.2 \text{ min/ciclo}} = 8.33 \text{ ciclos/hora}$$

- **Número Total de Ciclos Diarios**:

Número Total de Ciclos Diarios = 8.33 ciclos/hora X 8 horas = 66.67 ciclos/día.
Consumo Diario Total VDF = 15m³ X 66.67 ciclos/día = 1,000m³/día.

- **Resultados de comparativa de Ahorro de Agua**

Ahorro Diario de Agua:

Ahorro Diario = Consumo Diario Arranque Directo − Consumo Diario Con VFD
Ahorro Diario = 1,200m³ – 1,000m³ = 200m³/día.

Ahorro Anual de Agua:

Ahorro Anual = Ahorro Diario X 365 días

Ahorro Anual = 200m³/día X 365 días = 73,000m³/año**.**

Ahorro Económico mensual de Agua: 200m³ X 30 días X C$24.08 = C$ 144,480.

Ahorro Total Económico:

Ahorro Eléctrico + Ahorro de Agua = C$ 120,761.06 + C$ 144,480 = C$265,241.06

El uso de un variador de frecuencia para controlar el flujo de agua, en comparación con el arranque directo, genera un ahorro significativo en el consumo de los recursos y en costos asociados. Con los datos proporcionados, el ahorro estimado mensual es de = C$265,241.06, equivalente a $ 7,214.91 dólares al mes.

4.3. Costo de Inversión y tiempo de recuperación.

Partiendo del precio de mercado y según cotizaciones recopiladas en el sector eléctrico podemos considerar si el costo de la inversión con este sistema es viable para las industrias en el país.

Detalle de componentes	Cantidad	Precio	Sub Total
Bomba de Agua a 30HP 480VAC 3F 3600rpm	1	$ 2,135.00	$ 2,135.00
Tablero con Variador de Frecuencia 30HP y Protecciones	1	$ 6,477.50	$ 6,477.50
Tablero con PLC de control y módulos de Comunicación	1	$ 3,669.00	$ 3,669.00
Flujómetro Electrónico	1	$ 3,574.50	$ 3,574.50
Sensor de Nivel tipo Radar	1	$ 1,469.00	$ 1,469.00
Mano de obra en instalación de sitio	1	$ 4,395.00	$ 4,395.00
		Total de Inversion	**$ 19,585.00**

Tabla 10

Los costos de inversión requeridos para implementar un sistema de bombeo a presión constante en 1 motor de 30HP son de $19,585 dólares incluyendo componentes y mano de obra de instalación en sitio, tomando los datos de ahorro mensuales estimados con un régimen de trabajo al 60% de demanda del sistema se obtienen $7,214.91 dólares disponibles para una inversión dicho sistema y siendo retornable en un periodo aproximado de 3 meses (Costo / Ahorro = $19,585 / $7,214.91 = 2.71 Meses).

La gran viabilidad de este sistema en términos económicos nos muestra la potencialidad de mejora que las industrias obtendrían no solo en un sector renovable del medio ambiente y sus recursos, sino también, con sus propios costos de producción, mantenimiento y gasto mensual de operaciones, siendo impactado directamente en su facturación de Agua y energía, brindando como resultado no solo una recuperación eficiente de la inversión del sistema, sino un colchón de ahorro en el presupuesto mensual durante los ciclos de productividad posteriores de la empresa.

5. CAPITULO 5. CONCLUSIONES

Hemos concluido que, con la implementación de variadores de frecuencia para los sistemas de bombeo de Agua en las industrias de procesamiento de carne en el país, se obtienen favorables resultados para los impactos medioambientales y económicos, que recaen directamente en la mejora continua y el desarrollo sostenible de las industrias alimenticias bajo los regímenes y estándares actuales del mundo moderno.

Se lograron comprender y destacar las principales ventajas y desventajas que conlleva implementar esta tecnología y sus componentes de automatización en los sistemas de mantenimiento eléctrico y de operación de las industrias cárnicas, con las que el país debe equiparse en post del desarrollo productivo eficiente y rentable de sus futuras actividades de mejora continua.

El sistema de control automático de llenado de tanque ha demostrado ser eficaz y fiable. Los cálculos y resultados confirman que el sistema cumple con los requisitos técnicos y operativos establecidos, y que es capaz de gestionar el proceso de llenado del tanque de manera sostenible.

Los resultados proporcionan una base sólida para la implementación y operación del sistema en entornos reales, y abren la puerta para futuras optimizaciones y desarrollos, brindando no solo un retorno de inversión relativamente corto, sino ampliando los beneficios a una presencia constante que mejora sus gastos operativos mensuales y los acerca un paso más a cumplir con sus objetivos de responsabilidad social y efectiva como industrias destacadas en el uso de recursos renovables y medioambientales amigables dentro de un sector automatizado, explotando los mejores beneficios que la tecnología y el desarrollo de las propuestas de ingeniería eléctrica brindan a la mejora continua de los procesos industriales del país.

6. CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA

Álvarez, E. (2006). Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electrosumergible: Ingeniero de ejecución en electromecánica), Escuela politécnica del ejército, Latacunga, Ecuador. (Álvarez (2006))

Flores, B., Ernesto, M., Huiza Deras, J. E. G., & Rivas García, W. A. (2015). Evaluación del parámetro rendimiento bajo Std. IEEE 739 en sistemas de bombeo de agua potable para motores trifásicos de inducción accionados por variadores de velocidad. Universidad de El Salvador. (Flores et al. (2015)) (Marigorta et al. (1994)) (Padilla Narváez (2000))

Marigorta, E. B., Suárez, S. V., & Francos, J. F. (1994). Sistemas de bombeo: Universidad de Oviedo, Departamento de Energía. (Marigorta et al. (1994))

Mario Josue Gutierrez Martinez, M. A. R. M. (2017). Diseño e implementación de variadores de frecuencia en máquinas extrusoras de plásticos para mejorar los procesos y mejorar la energía en la empresa PLASTINIC S.A. (Álvarez (2006)) (Gutierrez Martínez y Rodríguez Martínez (2017))

Nistal, F. J. C. (2008). Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos: Paraninfo. (Nistal (2008))

Padilla Narváez, F. H. (2000). Sistema de bombeo de agua a presión constante mediante la aplicación de variadores de velocidad. Quito: EPN, 2000. (Álvarez (2006)) (Padilla Narváez (2000))

Pesántez Erazo, A. A. (2012). Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio con Variador de Frecuencia para el Control de un Sistema de Bombeo y Determinación del Ahorro Energético. (Álvarez (2006)) (Pesántez Erazo (2012))

Pizà, E. (1988). Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía: Marcombo. (Pizà (1988))

Pulido, M. Á. (2000). Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR: Marcombo. (Pulido (2000))

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Managua 14 de noviembre del 2024

Msc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Director del Área de Conocimientos de Ingeniería y Afines

Estimado Msc. Chavarría

Reciba cordiales saludos y éxito en el desempeño de sus funciones

Me dirijo a usted para informarle que estoy brindando visto bueno y Aval para realización de la defensa del trabajo monográfico titulado:

"Implementación de Variadores de Frecuencia en Sistemas de Bombeo de Agua a Presión Constante en las Industrias de Procesos de Carne del País."

Trabajo monográfico que fue desarrollado por los bachilleres.
Br. Luis Enrique Rodríguez Salgado 2016-1327U
Br. Carmen Josué Herrera Gadea 2013-61290

Agradeciendo de antemano le saludo
Atentamente,

Tutor
Ing. Juan José Gonzalez Mena
Docente Ingeniería Eléctrica

Teléfono: (505) 2251 8276

Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.

luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación
Decanatura
DF-09-2023-39

Managua, 27 de septiembre del 2023.

Bachilleres.
Carmen Josué Herrera Gadea 2013-61290.
Luis Enrique Rodríguez Salgado 2016-1327U.
Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada **"Implementación de variadores de frecuencia en sistemas de bombeo de agua a presión constante en las Industrias de proceso de carne del País".** Para optar al Título de Ingeniero Eléctrica, para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía **Ing. Juan José González Mena.**

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA · REPUBLICA DE NICARAGUA · AMERICA CENTRAL · DECANO F.E.C.

Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes. Secretaria Académica.
Ing. Napoleón Blanco Orozco. Jefe de Dpto. de Eléctrica.
Ing. Juan González. Tutor.
Archivo.

Teléfono: (505) 2270 5126

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES** hace constar que:

RODRÍGUEZ SALGADO LUIS ENRIQUE

Carné: **2016-1327U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2021 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y siete días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono: (505) 2251 8276

Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.

luis.chavarria@fti.unl.edu.ni
www.unl.edu.ni

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES** hace constar que:

HERRERA GADEA CARMEN JOSUE

Carné: **2013-61290** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2017 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y siete días del mes de agosto del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA · REPÚBLICA DE NICARAGUA · AMERICA CENTRAL · SECRETARÍA DE FACULTAD F.E.C.

Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono: (505) 2251 8276

Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.

luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2024

No. Recibo **43250** No. Inscripción **717**

NOMBRES Y APELLIDOS: Luis Enrique Rodríguez Salgado

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRICA CARNET: 2016-1327u TURNO:

PLAN DE ESTUDIO: 2015 SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE 2024 FECHA: 23/08/2024

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1						
	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

DORTUNO

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

FIRMA DEL ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 23-ago.-2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2024

No. Recibo **43248** No. Inscripción **718**

NOMBRES Y APELLIDOS: Carmen Josue Herrera Gadea

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRICA **CARNET:** 2013-61290 **TURNO:**

PLAN DE ESTUDIO: 2015 **SEMESTRE:** SEGUNDO SEMESTRE 2024 **FECHA:** 23/08/2024

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1						

ULTIMA LINEA

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

DORTUNO

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

FIRMA DEL ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 23-ago.-2024