



**unitec**<sup>®</sup>  
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES<sup>®</sup>

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO CON VARIADOR DE VELOCIDAD PARA POZO,  
GILDAN HOSIERY RIO NANCE**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21411191      LENNIN MAURICIO TORRAKA SALGADO**

**ASESOR: ING. HEGEL LOPEZ GARCIA**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**OCTUBRE 2018**

## Dedicatoria

**A Dios:** quiero agradecer por sus infinitas bendiciones, sé que sin tí no hubiera podido culminar mis estudios. Solo tu señor conoces todos los sacrificios que tuve que realizar para poder terminar con éxito esta etapa de mi vida. Solo me queda pedirte señor, que me orientes siempre por el buen camino, tengo toda la confianza de que tienes algo muy grande para mí y mi familia.

A mis abuelos que más que eso son mis padres, no tengo las palabras suficientes para agradecerles por todo lo que han hecho por mí, ayudaron en gran parte a pagar mis estudios y voy a estar agradecido con ustedes para toda la vida. Este triunfo se los dedico porque a pesar de todas las adversidades por las que pasaron, siempre me apoyaron en todo momento de una u otra manera.

**A mis padres:** papa quiero agradecerte porque todos estos años aprendí de tí muchas cosas, principalmente a ser una persona disciplinada, una persona honesta que siempre lucha por las cosas que desea dando lo mejor en todo momento, simplemente no hubiera podido llegar hasta donde estoy sin tu ayuda. Madre mía eres y siempre serás el tesoro más grande que Dios me regaló, gracias por todos los sacrificios que tuviste que hacer desde el momento en que nací, por tu amor y tu apoyo incondicional. Este triunfo que tanto anhelé también es de ustedes.

**A mis hermanos:** a pesar de que no soy perfecto y cometo muchos errores espero que logren aprender de mí todas esas cualidades que poseo y me han ayudado para poder llegar hasta esta etapa de mi vida. Tenía una responsabilidad muy grande por ser el hermano mayor, simplemente espero no decepcionarlos nunca.

**A mis amigos:** Mecaleros muchas gracias a cada uno de ustedes, realmente fue una excelente experiencia haber compartido estos años. A mis amigos más cercanos Marlon, Luis, María y Carla gracias por todo su apoyo

## RESUMEN EJECUTIVO

La realización de este proyecto se llevó a cabo en la empresa de automatización Falcon Ingeniería, pero se implementó dicho proyecto en Gildan Hosiery. Consiste en la automatización, control y monitoreo de un pozo de agua que abastece un tanque de agua en la planta de producción, manteniendo un nivel constante durante los 365 días del año.

La automatización del sistema se realizó a través de un controlador PLC, que es el encargado de controlar una bomba de agua y esta a su vez traslada el líquido del pozo al tanque de agua. El PLC se encarga de regular la frecuencia de la bomba a través de un PID incluido en la programación del variador utilizando un sensor de nivel como referencia. Existen dos PLC, uno que se encuentra en el pozo y el otro que se encuentra en el cuarto de bombas, se comunican entre ellos a través de un protocolo de comunicación.

El control y monitoreo se realiza a través de una HMI que se encuentra en pozo en ella podemos encontrar todas las variables primordiales para el correcto funcionamiento del sistema. Esta HMI también es utilizada por los operarios y el ingeniero encargado del pozo para realizar los reportes semanales y mensuales.

Finalmente, como una empresa multinacional Gildan Hosiery realiza distintos reportes de productividad y eficiencia. Estos datos son obtenidos a través de un SCADA que recolecta todos los datos del pozo.

## **ABSTRACT**

This project was realized by the automation company Falcon Ingeniería, but this project was implemented in Gildan Hosiery. It consists in the automation, control and monitoring of a water well that supplies a water tank in the production plant, maintaining a constant level during the 365 days of the year.

The automation of the system was carried out through a PLC controller, which is in charge of controlling a water pump and it transfers the liquid from the well to the water tank. The PLC is responsible of regulating the frequency of the pump through a PID included in the programming of the drive using a level sensor as a reference. There are two PLCs, one that is in the well and the other that is in the pump room, they communicate with each other through a communication protocol.

The control and monitoring is done through an HMI that is in a well where we can find all the important variables for the correct functioning of the system. This HMI is also used by the operators and the engineer in charge of the well to realize the weekly and monthly reports.

Finally, as a multinational company Gildan Hosiery makes different reports of productivity and efficiency. These data are obtained through a SCADA that collects all the data from the well.

# INDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
	2.1 ANTECEDENTES.....	3
	2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
	2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	5
	2.4 OBJETIVOS.....	5
	2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
	2.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
	2.5 JUSTIFICACION.....	6
III.	MARCO TEORICO.....	8
	3.1 GILDAN HONDURAS.....	8
	3.2 PLC (Control Lógico Programable).....	8
	3.3 HMI (Human Machine Interface).....	10
	3.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVEL.....	11
	3.4.1 REGLA GRADUADA.....	12
	3.4.2 TUBOS Y MIRILLAS DE VIDRIO.....	12
	3.4.3 FLOTADORES.....	13
	3.4.4 POR ULTRASONIDO.....	13
	3.5 REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	14
	3.5.1 MODELO OSI.....	14

3.5.2 MODELO TCP/IP .....	15
3.6 TOPOLOGÍAS.....	16
3.6.1 TOPOLOGÍA DE BUS.....	16
3.6.2 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL.....	16
3.6.3 TOPOLOGÍA EN ANILLO .....	17
3.6.4 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA .....	17
3.7 CIRCUITOS ELÉCTRICOS .....	18
3.7.1 CORRIENTE ELÉCTRICA .....	18
3.7.2 LEY DE OHM.....	18
3.7.3 VOLTÍMETRO.....	19
3.7.4 AMPERÍMETRO.....	19
3.7.5 POTENCIA ELÉCTRICA .....	20
3.8 SENSORES Y ACTUADORES.....	20
3.8.1 SENSOR PH.....	21
3.8.2 SENSOR DE CONDUCTIVIDAD .....	21
3.8.3 SENSOR DE PRESIÓN.....	22
3.8.4 BOMBA DE AGUA.....	23
IV.    METODOLOGÍA.....	25
4.1 HIPÓTESIS .....	25
4.1.1 Población.....	26
4.1.2 Muestra .....	27
4.1.3 VARIABLES DEPENDIENTES.....	27

4.1.4 VARIABLES INDEPENDIENTES .....	27
4.2 MÉTODO Y ENFOQUE .....	27
4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN .....	28
4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	29
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	30
5.1 RESULTADOS.....	30
5.1.1 DISEÑO DE HMI.....	30
5.1.2 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN .....	32
5.1.3 PROGRAMACIÓN PLC POZO#3 .....	33
5.2 ANÁLISIS.....	40
5.2.1 LINEALIZACIÓN DE UNA SEÑAL.....	40
VI. CONCLUSIONES.....	43
VII. RECOMENDACIONES.....	44
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	45
IX. ANEXOS .....	49

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistema de control lazo abierto .....	9
Ilustración 2 Sistema de control lazo cerrado .....	9
Ilustración 3 Interacción persona - maquina .....	11
Ilustración 4 Amperímetro conectado en serie .....	19
Ilustración 5 Sensor de PH.....	21
Ilustración 6 Sensor de conductividad .....	22
Ilustración 7 Unidades de presión .....	23
Ilustración 8 Bomba de agua .....	24
Ilustración 9 Cronograma de actividades 1.....	29
Ilustración 10 Cronograma de actividades 2 .....	29
Ilustración 11 Pantalla principal - pozo .....	30
Ilustración 12 Pantalla de tanque.....	31
Ilustración 13 Pantalla de lógica de programación.....	32
Ilustración 14 PID .....	33
Ilustración 15 Totalizador.....	34
Ilustración 16 Comunicación GET .....	35
Ilustración 17 Escala de sensores 1 .....	36
Ilustración 18 Escala de sensores 2 .....	36
Ilustración 19 Escala variador de frecuencia.....	37
Ilustración 20 Motor 1 .....	38

Ilustración 21 Motor 2.....	38
Ilustración 22 Main 1 .....	39
Ilustración 23 Main 2 .....	40

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modelo TCP/IP vs Modelo OSI.....	15
--	----

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Corriente.....	18
Ecuación 2 Potencia .....	20
Ecuación 3 PH.....	21
Ecuación 4 Pendiente de una recta .....	41
Ecuación 5 Ecuación de una recta .....	41

## GLOSARIO

1. Actuator: es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o actuar otro dispositivo mecánico.
2. Control PID: mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general.
3. Flujo: caudal de un fluido continuo.
4. HMI: es la interfaz utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar los procesos industriales y de fabricación en la planta.
5. Protocolo: Conjunto de reglas que se establecen en el proceso de comunicación entre dos sistemas.
6. Señal Analógica: es aquella señal que presenta una variación continua con el tiempo.
7. Señal Digital: es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que sólo puede tomar ciertos valores discretos, uno o cero.
8. Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.
9. Transductor: Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica

## I. INTRODUCCION

Actualmente vivimos en una era en donde los avances tecnológicos en diversos campos de estudio han avanzado de una manera nunca vista. Muchos países utilizan estos nuevos descubrimientos para brindar una mejor calidad de vida para su población. En la industria estos avances están siendo utilizados para aumentar la productividad, reducir costos, un mayor ahorro de energía y sobre todo aumentar la eficiencia de las empresas. San Pedro Sula es una ciudad conocida como la capital industrial de Honduras, siendo ésta la ciudad que cuenta con la mayor cantidad de plantas de producción a nivel nacional. Es muy común tener la noción que nuestro país no cuenta con avances tecnológicos, lo cierto es que las empresas en nuestro país buscan tener mejores resultados para poder competir a nivel mundial y se están apoyando en los avances tecnológicos para omitir los controles mecánicos y buscar controles automatizados que mejoren el rendimiento de las plantas de producción.

Existen muchas empresas en nuestro país que se especializan en el manejo de equipos de control automático, siendo estas empresas una fuente directa de empleo para todos los ingenieros mecatrónicos que buscan emprender en un mundo lleno de tecnología. Estas fuentes de empleo vienen a mejorar la calidad de vida para muchas personas que se encuentran interesados en la tecnología que se define como "el conjunto de conocimientos propios de un arte industrial, que permite la creación de artefactos o procesos para producirlos"(Cegarra Sánchez, 2012, p. 19).

Empresas contratistas como Falcon Ingeniería que se dedica al diseño, suministro, desarrollo e implementación de proyectos de automatización industrial se dedica a diversas industrias en la región como: Generación eléctrica, energía, manufactura, alimentos, minería, edificios inteligentes, entre otras. Teniendo una vasta experiencia en el campo, empresas multinacionales como Gildan Hosiery Rio Nance buscan de sus soluciones para poder realizar proyectos complejos de sistemas de control.

Este es el caso del proyecto sistema de control y monitoreo con variador de velocidad para pozo, Gildan Hosiery rio nance propuesto por Falcon Ingeniería. El propósito del proyecto consiste en

controlar una bomba de agua a través de un variador de frecuencia para mantener un nivel constante en el tanque de agua fría de la planta, esto será monitoreado desde el cuarto de bombas de la misma planta, para esto el sistema cuenta con las siguientes partes:

Un panel de fuerza (Proporcionado por BOMOHSA): es el que contiene la parte del circuito de fuerza de la bomba del pozo. El objetivo es rehacer este panel en uno más grande para instalar el variador de frecuencia marca Rockwell (proporcionado por Gildan) junto a otros equipos para que sean controlados por el PLC Siemens existente.

Un panel de monitoreo de pozo: El pozo cuenta ya cuenta con una serie de equipos como ser PLC, HMI, instrumentación y antena para radio enlace. Todo esto se utilizará para el control y monitoreo del arrancador del pozo desde el cuarto de bombas.

Un panel remoto: este panel contendrá distintos dispositivos como un módulo remoto Siemens que se utilizara para conectar el sensor de nivel del tanque de agua fría, HMI que está instalado en el pozo y se trasladara para el panel remoto para su posterior monitoreo, switch ethernet cuya función es de conectar todos los elementos ethernet del panel remoto y accesorios generales.

Sensor de nivel ultrasónico, la oferta incluye el suministro de un sensor de nivel el cual será instalado en el tanque de agua fría. Se utilizará un enlace inalámbrico para la transmisión de datos entre el pozo y el panel remoto se utilizará el radio enlace existente con el objetivo de comunicar ambos puntos.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

Al aumentar la producción de la empresa Gildan Hoisery rio nance la demanda de agua para la producción aumentó considerablemente sin embargo este comportamiento no se mantiene durante todos los meses del año. Empresas proveedoras idearon un sistema para encender y apagar una bomba de agua en un pozo para llenar el tanque de agua que se utiliza actualmente en la planta de producción.

Para poder controlar el encendido de la bomba un operario tiene que encender manualmente y cuando notan que el tanque esta por llenarse proceden con el apagado de la bomba. Este proceso antes mencionado se realiza con un panel de fuerza que está instalado en el pozo, asimismo se cuenta con un panel de monitoreo dicho panel cuenta con distintos medidores, que monitorean las corrientes de la bomba. También en este panel se monitorean las variables de los sensores de PH, ORP y presión del sistema de tuberías.

Después de aceptar el proyecto Falcón Ingeniería procedió a rediseñar el sistema de control del pozo, la bomba y el tanque, para obtener un mejor control de todos estos sistemas de una manera remota y así evitar que el monitoreo de las variables sea de una manera más eficiente y en tiempo real. Todo esto teniendo en cuenta que los dispositivos que actualmente se encuentran en funcionamiento se puedan reutilizar en el rediseño y de esta manera reducir los costos del proyecto y que el cliente pueda invertir lo menos posible y obtener mejores resultados para la compañía.

### **2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA**

El ahorro energético en los últimos años es uno de los principales objetivos que toda empresa a nivel nacional desea implementar, esto se debe a los elevados costos que tenemos en nuestro país. Falcon Ingeniería se ha destacado por realizar grandes proyectos a nivel nacional de ahorro de energía, es por esto que Gildan Hosiery rio nance acude a dicha empresa para tratar de

solucionar el problema de los picos de corrientes que se han generado en los últimos meses debido a la variación de la producción de la planta.

Actualmente la planta Gildan Hosiery rio nance cuenta con un sistema de suministro de agua que si bien funciona genera grandes consumos de electricidad que afecta el presupuesto de la empresa. La planta cuenta con un tanque de agua fría de alrededor 7-10 metros, un panel de fuerza que se utiliza para encender una bomba de agua de 35 Hp, esta bomba traslada agua desde un pozo hacia el tanque.

También ubicado en la superficie del pozo junto al otro panel de fuerza se encuentra un panel de monitoreo, este panel se utiliza para registrar los datos del pozo que se utilizan para analizar los componentes del agua. Sensores de PH, presión, ORP y conductividad son los que Falcón ingeniería instalo previamente en la tubería del pozo.

Este es un proceso que se quiere automatizar debido a que el tanque no cuenta con ningún tipo de sensor que pueda advertir cuando dicho tanque alcanza su capacidad máxima. Es en este momento donde un operario se tiene que movilizar a unos 1000 metros de la planta para poder apagar la bomba. Y sucede exactamente lo mismo cuando la bomba se encuentra apagada, cuando el nivel del tanque es demasiado bajo un operario se tiene que movilizar la misma distancia hacia el pozo y encender nuevamente la bomba, es aquí donde cada vez que se enciende la bomba los picos de corriente son extremadamente altos y esto repercute en el consumo energético de la planta y en los costos.

La empresa contratista Falcon licito el proyecto de sistema de control y monitoreo con variador de velocidad para pozo, Gildan Hosiery rio nance que consiste en la instalación de un nuevo panel de fuerza incluyendo un variador de frecuencia marca Rockwell proporcionado por el cliente, este panel será controlado a través de un PLC Siemens ya existente. También se propuso movilizar el panel existente de monitoreo hacia el cuarto de bombas, estos dos puntos se estarían comunicando a través de radio frecuencia.

Para solucionar el problema de los picos de corriente se propuso un control PID, este se encargará de mantener el nivel del tanque de agua fría en un punto donde los ingenieros u operarios de la

planta establecerán previamente. Y también se instalará un sensor ultrasónico en el tanque para poder monitorear el nivel y al mismo tiempo este sensor es el que se utilizara para el control PID.

## **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

Una vez que se realizó el levantamiento del proyecto se prosiguió a analizar todas las necesidades del mismo.

1. ¿Cuáles son los paneles necesarios para cumplir con los requerimientos del cliente y a su vez un correcto funcionamiento del sistema de control?
2. ¿Cuál es el mejor método de comunicación para establecer una transferencia de datos entre el cuarto de bombas y el pozo?
3. ¿Qué sensores son necesarios para el control y monitoreo del pozo?
4. ¿Cuál es el diseño necesario para establecer en la HMI Siemens del pozo para asegurar un entorno amigable y comprensible para el operador?
5. ¿Qué efecto tiene la inclusión de un variador de frecuencia al panel de fuerza ya existente en el proyecto?

Una vez establecidas las necesidades del proyecto se procede a la investigación y la cotización de todos los componentes necesarios que el cliente no posee para su posterior aplicación.

## **2.4 OBJETIVOS**

El objetivo más importante en este proyecto es la automatización de un proceso por lo que es totalmente primordial definir dicho termino "La transferencia parcial o total de las funciones de coordinación ejecutadas por un operario en un proceso productivo a un equipo cableado o equipo electrónico programable" (Medina & Medina Garca, 2010, p. 9).

Al aplicar la automatización al proyecto se aumenta la productividad, minimiza tiempos en el encendido de la bomba, aumenta la capacidad de diagnóstico de parte del operario y al mismo tiempo incrementa la seguridad del mismo.

#### 2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de control y monitoreo de un pozo de agua a través de un variador de frecuencia para mantener un nivel constante en un tanque de agua fría.

#### 2.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer un nuevo panel de fuerza incluyendo un variador de frecuencia donde el PLC pueda controlar la velocidad de la bomba del pozo.
- Analizar y seleccionar todos los sensores adecuados para que éstos puedan cumplir con las condiciones requeridas en el proyecto.
- Mostrar una interfaz atractiva y comprensible en el HMI Siemens para poder monitorear todas las variables del sistema.
- Establecer una lógica de programación, para el control del variador de frecuencia y a su vez la bomba del pozo.

### 2.5 JUSTIFICACION

Establecer un control sobre una bomba de agua de 35 Hp es de vital importancia para tener un gran ahorro energético, esto se logra a través de controlar los picos de corrientes al encender la bomba cada vez que el tanque de agua fría se encuentra en un bajo nivel. Un variador de frecuencia controlado a través de un control lógico programable (PLC) es una solución industrial bastante viable.

Implementar los sensores correctos en el proyecto nos asegura un correcto funcionamiento del sistema de control. De igual manera tener una interfaz gráfica que sea amigable y comprensible

con todos los operarios es de mucha importancia para asegurar que las variables del sistema estén monitoreadas de una manera bastante eficiente y en caso de una falla de tipo mecánica o eléctrica sea bastante sencillo poder encontrar una solución que sea rápida y no afecte el funcionamiento de la planta de producción.

Tener una buena lógica de programación nos asegura el correcto funcionamiento del sistema de control, y es que la finalidad de este proyecto es sustituir un proceso que actualmente se realiza de manera manual a un proceso que sea automático y brinde una despreocupación a nuestro cliente final que el tanque de agua fría siempre tendrá el nivel adecuado para el funcionamiento de todos los sistemas de la planta.

### **III. MARCO TEORICO**

#### **3.1 GILDAN HONDURAS**

En una empresa que nació en Canadá, criada en los Estados Unidos y ahora es uno de los principales fabricantes mundiales de prendas de vestir, calcetines y otras prendas de vestir.

Su visión menciona que aprovecha su alcance global y de gran escala para crear impactos positivos sobre cómo se fabrica la indumentaria invirtiendo en tecnología, mejoras continuas y soluciones sostenibles.

Su misión es la de crear valor para los clientes al ofrecer productos de calidad superior para toda la familia a precios bajos todos los días. Tener una influencia positiva en las comunidades donde opera actuando responsablemente y generando impactos económicos positivo y finalmente otorga el poder a sus empleados para que tengan éxito mientras los tratan con respeto y dignidad, porque saben que son la clave de su éxito.

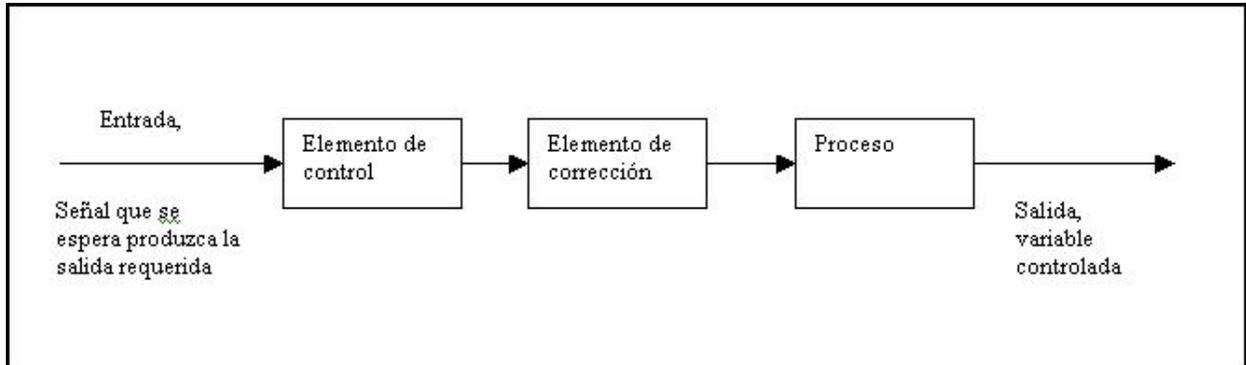
En la producción de las prendas de vestir, una de las materias primas es el agua. Dado que estos procesos no requieren de agua potable, la planta utiliza agua que extraen de un pozo, posteriormente esta agua es trasladada a un tanque que almacena el líquido. Dejando que repose para que todos los sedimentos se muevan a la parte inferior del tanque.

El agua que pasa por los distintos procesos químicos dentro de la empresa es reutilizada, ya que está se traslada nuevamente a al pozo luego de un tratamiento para eliminar todos los contaminantes que pueden llegar a dañar el medio ambiente.

#### **3.2 PLC (CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE)**

En un sistema de control normalmente existen de dos tipos el sistema de lazo abierto y el sistema de lazo cerrado. Cada uno de ellos tiene ciertas características que hacen nos permiten elegir una de ellas según la aplicación, se define de la siguiente manera.

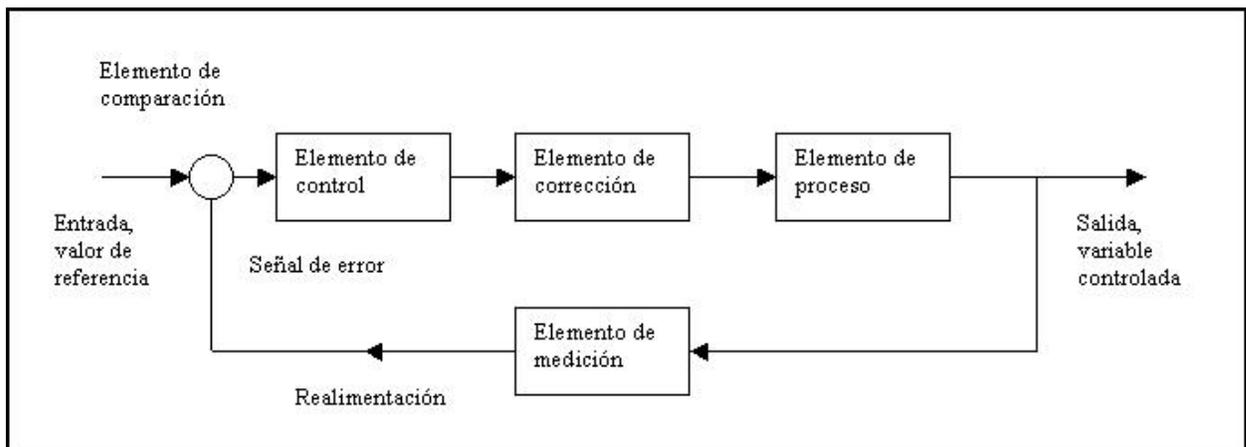
Sistema de lazo abierto: "En el sistema de control en lazo abierto interviene la acción del hombre quien es el que actúa como controlador"(Muñoz Hernández, Muñoz Hernández, & Rivera Barrero, 2014, p. 26).



**Ilustración 1 Sistema de control lazo abierto**

Fuente: <https://sites.google.com/site/03fmeautomatismos/home/tipos-control>

Sistema de lazo cerrado: Este tipo de sistema en ocasiones también llamado control por retroalimentación. Su principal característica es que en él se miden las variables de instrumentación colocados en el sistema, estas mediciones son usadas para calcular las entradas de control en forma automática por medio de un controlador en este caso un PLC.



**Ilustración 2 Sistema de control lazo cerrado**

Fuente: <https://sites.google.com/site/03fmeautomatismos/home/tipos-control>

En el transcurso de los años los sistemas de control han ido cambiando de una manera exponencial, cuando no existían los microcontroladores los sistemas de control se realizaban a

través de una lógica de contactores, sin embargo, grandes cantidades de información es muy complicado realizarlas a través de una lógica de contactores. Hoy en día se utilizan los microcontroladores que se encargan de realizar procesos a través de un lenguaje interno binario.

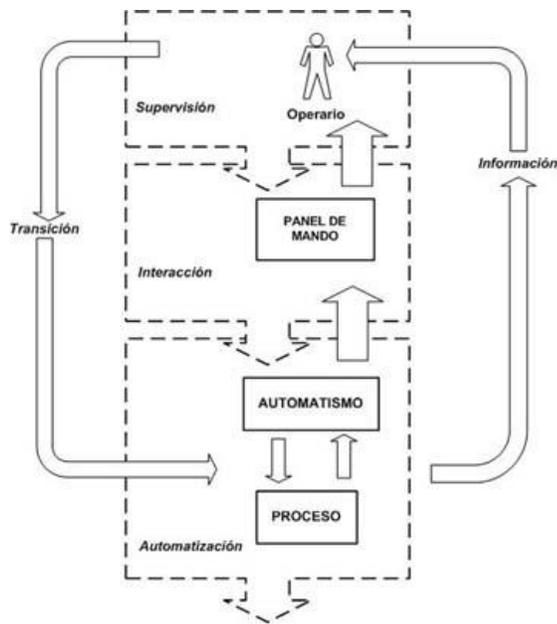
Los PLC tienen en su interior un microcontrolador el cual se encarga de todo el procesamiento de información. Un PLC se define "como un equipo electrónico, programable por el usuario en lenguaje no informático, y que está destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales"(Daneri, 2008, p. 16).

Una de sus características principales es la de tener entradas y salidas digitales, así como análogas. Existen muchos protocolos de comunicación por los cuales un PLC se puede comunicar con otro PLC en este caso en el presente proyecto se utilizó la comunicación profinet, se utilizó un Siemens S7 1500 para realizar el proyecto.

### **3.3 HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE)**

En los procesos industriales de cualquier empresa, sin importar que sea pequeña o una empresa con una gran cantidad de empleados. Es necesaria la supervisión de los operarios sobre la maquinaria, estas personas son las encargadas de manipular todos los parámetros directamente sobre las máquinas. Para lograr modificar dichos parámetros es necesario tener un PLC que a su vez se complementa "con periféricos denominados genéricamente interfaces hombre-máquina HMI y que pueden ser desde sencillos displays con teclado numérico, hasta terminales táctiles con elementos de programación gráfica"(Ponsa Asensio & Vilanova Arbós, 2005, p. 14). Ver *ilustración 3*.

En el proyecto se pretende utilizar una HMI de la marca Siemens de 7 pulgadas monocromática que fue suministrada por el cliente en este caso Gildan Hoisery. Esta pantalla será utilizada por los operarios para el monitoreo del nivel del tanque, todos los parámetros que se quieran monitorear del motor y los sensores del pozo.



**Ilustración 3 Interacción persona - maquina**

Fuente: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642007000500004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000500004)

### 3.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVEL

Normalmente en la industria se encuentran distintos tipos de recipientes que son utilizados para el almacenamiento de las materias primas que son utilizados en los procesos industriales en este caso el tanque que se utilizara contiene agua.

Por definición el nivel es una altura de llenado, cuando se mide el nivel, se está midiendo la longitud de llenado del tanque o recipiente a medir, lo que significa que las unidades de nivel son exclusivamente unidades de longitud entre las más comunes tenemos:

- Metros
- Centímetros
- Milímetros
- Pulgadas
- Pies

### 3.4.1 REGLA GRADUADA

Está conformada por una regla graduada en unidades de longitud, volumen o porcentaje con una longitud igual o mayor al recipiente que se desea medir. Su funcionamiento es muy sencillo, basta con meter la regla hasta el fondo en el recipiente que se desea medir. La regla se va a mojar con el líquido que tenga el recipiente y donde este mojado es el nivel actual del tanque o recipiente.

Ventajas:

- Portátil
- Económico
- Variedad de líquidos

Desventajas

- Solo funciona para tanques abiertos
- El operador está en contacto con el líquido
- Cuando el tanque es muy grande, es muy poco probable encontrar una regla graduada con un tamaño tan grande

### 3.4.2 TUBOS Y MIRILLAS DE VIDRIO

Los tubos y mirillas de vidrio están compuestos de un material transparente conectados en la parte interior del tanque a través de los cuales se puede observar la altura de llenado. Normalmente estas mirillas están graduadas con unidades de longitud.

Al aumentar el nivel del recipiente, aumenta el nivel en una forma directa y proporcional ya que la presión hidrostática en el interior del tanque se incrementa, y el operario o la persona encargada de monitorear el nivel solo tiene que mirar a través de la mirilla para determinar el nivel.

Ventajas:

- Operación y funcionamiento simple
- Es una medición directa

- Para tanques sometidos a grandes presiones

#### Desventajas

- El cristal de la mirilla es frágil
- Se acumulan sedimentos en la mirilla
- No se pueden utilizar líquidos corrosivos

### 3.4.3 FLOTADORES

“El control del agua se realiza por medio del flotador o boya, instalado en las cisternas para que cuando llega a una cierta”(Mola Morales, 2017, p. 112) cantidad de agua se pueda determinar si el tanque se encuentra en su máximo nivel.

Este método de medición se compone de un elemento que palpa directamente del nivel del tanque y que es de menor densidad del líquido que se encuentre en el tanque. El elemento flotador transmite sus desplazamientos hasta un sistema de indicación por medio de una cuerda o cable al que está sujeto.

Existen diferentes fabricantes de flotadores, pero todos trabajan de la misma manera. La parte más esencial de un flotador es su forma ya que tiene que ser de una forma plana o en forma de ovalo y como lo mencione anteriormente debe de ser más ligero que el líquido al que va a estar en contacto.

### 3.4.4 POR ULTRASONIDO

El ultrasonido se genera “produciendo ondas en un transductor externo, dirigiéndolas hacia el cuerpo y midiendo varias propiedades de los ecos producidos por reflectores en el interior del cuerpo”(Hernández Matos & Muñoz Gamboa, 2014, p. 17).

Para el funcionamiento de este método de medición es necesario tener instalado en el tanque un emisor y un receptor, el emisor emite una onda ultrasónica hacia el receptor y dependiendo del

tiempo que se tarde en llegar esta onda es el nivel del tanque. A mayor tiempo menor nivel y a menor tiempo mayor el nivel, ya que la superficie del líquido queda cada vez más cerca del emisor.

#### Ventajas

- Permite telemetría
- Para todo tipo de líquidos
- No le afecta la presión

#### Desventajas

- La espuma afecta la medición
- No trabaja a un alto vacío
- Requiere de una energía externa para su operación

### **3.5 REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**

En toda empresa en donde se utilizan actuadores debe de existir una red industrial que pueda comunicar todos los dispositivos. En el presente informe se analizarán dos modelos o arquitecturas de comunicación, el modelo OSI y el modelo TCP/IP.

#### 3.5.1 MODELO OSI

“Es un modelo basado en una propuesta desarrollada por la organización internacional de estándares (ISO, International Organization for Standardization). El modelo recibe el nombre de OSI ya que tiene que ver con la conexión de sistemas abiertos”(Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013, p. 56).

El modelo OSI se divide en siete capas

- Física
- Enlace de datos
- Red

- Transporte
- Sesión
- Presentación
- Aplicación

### 3.5.2 MODELO TCP/IP

El modelo o arquitectura TCP/IP fue el modelo utilizado por ARPANET y es el modelo utilizado por la actual internet. El ARPANET fue diseñado por el gobierno de los Estados Unidos. "La red Internet se apoya sobre la arquitectura del modelo TCP/IP, de ahí su extrema importancia en la actualidad" (Aznar López, 2005, p. 21).

Esta arquitectura recibe el nombre gracias a dos de sus principales protocolos. El protocolo de internet IP y el protocolo de control de transmisión o TCP. Una de sus principales características es que tiene 5 capas y no 7 capas como tiene el modelo OSI.

- Física
- Acceso a la red
- Internet
- Transporte
- Aplicación

**Tabla 1 Modelo TCP/IP vs Modelo OSI**

<b>Modelo OSI</b>	<b>Modelo TCP/IP</b>
<b>Nivel 7: Capa de aplicación</b>	Capa de aplicación
<b>Nivel 6: Capa de presentación</b>	
<b>Nivel 5: Capa de sesión</b>	Capa de transporte
<b>Nivel 4: Capa de transporte</b>	
<b>Nivel 3: Capa de red</b>	Capa de red

<b>Nivel 2: Capa de enlace</b>	Capa de enlace
<b>Nivel 1: Medio físico</b>	Medio físico

### 3.6 TOPOLOGÍAS

En las redes de comunicación el término de la topología hace referencia a la disposición física en la que se conectan los diferentes elementos de una red o nodos. Las topologías más comunes para una red de área local son la topología de bus, en árbol, en anillo y en estrella.

#### 3.6.1 TOPOLOGÍA DE BUS

Esta topología también es conocida como lineal, utiliza un medio compartido de difusión (broadcast) multipunto, al cual se encuentran conectados todos los nodos. Una de sus mayores ventajas es que es fácil y económica de construir y no requiere de otros dispositivos de red.

“Las redes con topologías de bus fueron muy populares con el comienzo de Ethernet, sin embargo, en las redes modernas, solamente se utilizan para conformar los enlaces troncales combinadas con otras topologías” (Hillar, 2004, p. 64).

#### 3.6.2 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL

La topología de árbol es muy similar a la de bus, pero utiliza un medio compartido que comienza en la raíz y se ramifica en varias líneas de difusión (broadcast) multipunto, a las cuales se encuentran conectados todos los nodos.

La transmisión de datos se realiza de la misma manera que en una topología de bus y no es una topología muy utilizada actualmente.

### 3.6.3 TOPOLOGÍA EN ANILLO

La topología de anillo utiliza un medio compartido de difusión (broadcast) multipunto formando un bucle cerrado, al cual se encuentran conectados todos los nodos. También se puede describir como un conjunto de enlaces punto a punto entre los nodos, que terminan cerrando un lazo.

Una de las desventajas de este tipo de red es que es un poco difícil de construir si los equipos a conectar se encuentran a unas distancias muy largas. También se requiere de una mayor cantidad de cable lo que implica un mayor gasto para los clientes.

En la actualidad, el uso de esta topología está limitado a las redes de varios equipos conectados a través cables de fibra óptica y generalmente el tamaño del anillo no va más allá de un mismo cuarto.

### 3.6.4 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA

“La topología en estrella la forma un nodo central desde el que parten todos los enlaces hacia los nodos periféricos” (Cadenas Sanchez & Zaballos Diego, 2011, p. 30). Alguno de sus puntos fuertes son la facilidad de despliegue y su fácil mantenimiento y monitorización.

#### Ventajas

- Es reparable sin muchas dificultades
- Es sencillo agregar a un nuevo dispositivo
- Tiene una excelente estabilidad

#### Desventajas

- Requiere de dispositivos específicos para actuar como el nodo central
- Mayor cantidad de cable que otras topologías

Importante recalcar que actualmente este tipo de tipología es la que más se utiliza para todas redes locales.

## 3.7 CIRCUITOS ELÉCTRICOS

En todo proyecto de automatización es de vital importancia conocer los conceptos claves que nos ayuden a comprender el funcionamiento de todo nuestro panel eléctrico. Términos como corriente eléctrica, ley de ohm, voltímetro, amperímetro, curva característica de un conductor y resistividad son los que mencionare a continuación.

### 3.7.1 CORRIENTE ELÉCTRICA

“Una corriente eléctrica es un conjunto de partículas cargadas en movimiento ordenado. Esto es aplicable a los iones que se mueven en una disolución electrolítica, a las cargas en un plasma (un gas ionizado) o a los electrones en un material conductor”(Arrayás, 2007, p. 81).

En circuitos eléctricos fluyen corrientes a través de un material conductor, en muchos casos se utiliza el cable, es común distinguir entre corriente alterna y corriente continua.

La corriente alterna (AC) es la que se da cuando el movimiento colectivo de las cargas varía en el tiempo, en cambio la corriente continua (DC) cuando el sentido del movimiento de la carga es siempre el mismo.

### 3.7.2 LEY DE OHM

“Ohm descubrió que la cantidad de corriente que pasa por un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito”(Colegio 24hs, 2004, p. 23).

Es aquí donde se creó la ley de ohm en la cual estableció la siguiente formula que sirve para el cálculo de cualquier circuito eléctrico:

$$I = \frac{V}{R}$$

**Ecuación 1 Corriente**

**Fuente:** <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3157424>

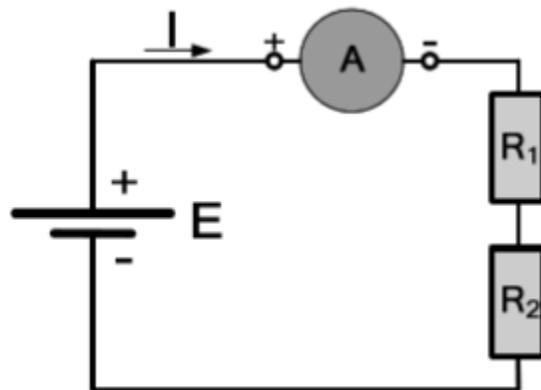
### 3.7.3 VOLTÍMETRO

Es un instrumento de medición de tensión que se utiliza en la industria, así como en cualquier aplicación se define de la siguiente manera:

“Un instrumento de alta impedancia que tiene un despreciable efecto shunt sobre el circuito de baja tensión es ideal para ser usado en conjunto con un divisor de tensión”(Torresi, 2004, p. 61).

### 3.7.4 AMPERÍMETRO

Para la medición de corriente eléctrica también se necesita de otro instrumento llamado amperímetro, estos los podemos encontrar que su indicación sea análoga o digital. Una de sus características principales es que siempre se conecta en serie en la rama del circuito donde deseamos medir la corriente eléctrica como se muestra en la ilustración:



**Ilustración 4 Amperímetro conectado en serie**

Fuente: (Menéndez,2012)

Se dice entonces que “La intensidad de corriente continua se mide por medio de un instrumento denominado amperímetro, ..., el cual se intercala en el circuito cuya intensidad de corriente se quiere medir, conectando sus dos terminales de manera que toda la corriente eléctrica entre por su terminal positivo y salga por el negativo”(Menéndez Martínez, 2012, p. 100).

### 3.7.5 POTENCIA ELÉCTRICA

“Los resistores, así como cualquier dispositivo sometido a la circulación de corriente eléctrica, realizan un consumo de energía debido al trabajo de transformación de un tipo de energía en otra en un determinado tiempo”(Perolini, 2009, p. 27), es a esto a lo que hoy en día conocemos como la potencia eléctrica.

En honor a James Watt, la potencia se mide en watt (W), y su expresión matemática es la siguiente:

$$P = \frac{J}{t}$$

**Ecuación 2 Potencia**

Fuente: (Perolini,2009)

En donde J es la energía en joule y t es el tiempo en segundos.

### 3.8 SENSORES Y ACTUADORES

Todo este proyecto no se podría llevar a cabo sin estos dos elementos tan importantes, en primer lugar, los actuadores que son los encargados de generar la fuerza a partir de electricidad y líquidos. Para tener una definición más precisa “Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del .... según las órdenes dadas por la unidad de control”(Barrientos, Peñín, & Balaguer, 2007, p. 42).

Mientras tanto “un sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida”(Germán Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014, p. 17). Los sensores tienen la característica que se pueden clasificar de muchas maneras, pero las más comunes son por el tipo de variable a medir o por el principio de transducción utilizado en la aplicación.

### 3.8.1 SENSOR PH

Cuando se trata de agua que se utiliza para un proceso industrial, es muy importante que la que se va a utilizar cumpla con los parámetros necesarios para un proceso en específico. Regular el PH es uno de ellos, pues que si el agua es demasiado acida puede dañar el proceso de teñido. Es por este motivo que en el proyecto se utiliza un sensor de PH para mantener los niveles correctos del agua.



**Ilustración 5 Sensor de PH**

Fuente: Página oficial Endress+Hauser

“El pH se utiliza para indicar el nivel de acidez de una sustancia .... Fue introducido por P. L. Sorënsen, quien lo definió como el logaritmo decimal del inverso de la concentración de iones de hidrogeno” (Saldis, Penci, & Gianna, 2013, p. 39).

$$pH = -\log H +$$

**Ecuación 3 PH**

Fuente (Saldis, Penci & Gianna,2013)

### 3.8.2 SENSOR DE CONDUCTIVIDAD

Se conoce que “La capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica puede ser caracterizada bien por la electroconductividad, bien por su resistencia”(Holguin Quinones, Montoya Vega, & Flores Valverde, 2010, p. 36). Así pues, el sensor de conductividad tiene la tarea

de determinar si el agua que se dirige hacia el tanque tiene la correcta conductividad, esto se debe a los procesos químicos que se le dará posteriormente al agua.



**Ilustración 6 Sensor de conductividad**

Fuente: Página oficial Endress+Hauser

### 3.8.3 SENSOR DE PRESIÓN

La medición y el control de presión son variables muy importantes para el desarrollo de este proyecto ya que a través de ella podemos inferir otras variables como nivel, volumen, flujo y densidad. La presión "Se define como el cociente entre una fuerza y una superficie" (García Gutiérrez, 2014, p. 13). El sensor de presión se utilizará para determinar la presión en las tuberías que llegan hasta el tanque.

A continuación, se presentan todas las unidades de presión y sus valores en cada una de ellas:

bar	mbar	N/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	mm Hg (0°C)	mm H <sub>2</sub> O (0°C)	Kg/cm <sup>2</sup>	inch Hg (0°C)	inch H <sub>2</sub> O (4°C)	psi	atm (estándar)
		(Pa)	(KPa)	torr	atm (técnica)	lb/inch <sup>2</sup>				
1	1.000	1 × 10 <sup>5</sup>	100	750,062	10,197 2	1,019 72	29,53	401,463	14,5038	0,986 923
1 × 10 <sup>3</sup>	1	1 × 10 <sup>-2</sup>	0,10	0,750 062	10,1972	1,019 72 × 10 <sup>-3</sup>	0,029 53	0,401 463	0,014 501	9,869 23 × 10 <sup>-4</sup>
1 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-2</sup>	1	1 × 10 <sup>-3</sup>	7,500 62 × 10 <sup>-3</sup>	1,019 72 × 10 <sup>-2</sup>	1,019 72 × 10 <sup>-3</sup>	2,953 × 10 <sup>-4</sup>	4,014 63 × 10 <sup>-3</sup>	1,450 38 × 10 <sup>-5</sup>	9,869 23 × 10 <sup>-5</sup>
1 × 10 <sup>-2</sup>	10	1.000	1	7,500 62	1,019 72 × 10 <sup>-4</sup>	0,010 197	0,295 3	4,014 63	0,145 038	9,869 23 × 10 <sup>-3</sup>
1,333 22 × 10 <sup>-3</sup>	1,333 22	133,322	0,133 322	1	0,101 97	1,35951 × 10 <sup>-3</sup>	0,039 37	0,535 240	0,019 337	1,315 79 × 10 <sup>-4</sup>
0,098 66	98,066 5	9,806 65 × 10 <sup>3</sup>	9,806 65	73,555 9	1	0,1	2,895 9	39,370 1	1,422 33	0,096 784
0,980 665	980,665	9,806 65 × 10 <sup>4</sup>	98,066 5	735,559	10	1	28,959	393,701	14,223 3	0,967 841
0,033 864	33,864	3.386,39	3,386 39	25,4	0,345 316	0,034 532	1	13,595 1	0,491 154	0,033 421
2,490 89 × 10 <sup>-3</sup>	2,490 89	249,089	0,249 089	1,868274	2,54 × 10 <sup>-2</sup>	2,54 × 10 <sup>-3</sup>	0,073 556	1	0,036 13	2,458 × 10 <sup>-3</sup>
0,058 95	68,947 6	6894,76	6,894 76	51,714 9	0,703 07	0,070 307	2,036 02	27,68	1	0,068 046
1,013 25	1013,25	1,01325 × 10 <sup>5</sup>	1,013 25 × 10 <sup>2</sup>	760	10,332 3	1,033 23	29,921	406,78	14,695 9	1

**Ilustración 7 Unidades de presión**

Fuente: (García Gutiérrez, 2014)

### 3.8.4 BOMBA DE AGUA

Una bomba de agua es nuestro principal actuador en el proyecto. Es un equipo que transforma la energía mecánica en energía cinética. Se utilizará para mover el agua del pozo hacia el tanque. La bomba proporcionada por BOMOHS A es una bomba con una capacidad de 35 Hp, esta bomba ya está en el sitio y no se hizo ningún dimensionamiento. Sin embargo, el control de la bomba será modificado para una mayor eficiencia eléctrica.



**Ilustración 8 Bomba de agua**

Fuente: Página oficial BOMOHSA

## **IV. METODOLOGÍA**

“El marco metodológico está referido a los procedimientos y a las técnicas. Toda investigación tendrá un marco metodológico para la obtención de conocimientos”(Baena Paz, 2014, p. 84). En un proceso de investigación la metodología es la etapa en donde se divide más detalladamente la realización de un proyecto o proceso. En ella se deciden las técnicas y métodos que se utilizaran para la investigación, esto viene a repercutir en todas las tareas vinculadas a la investigación.

La función de la metodología no es más que otorgarle a nuestro proyecto mayor validez y rigor científico a todos los resultados obtenidos en el proceso de la investigación. También es importante destacar que las razones por las cuales se considera que los procedimientos elegidos para realizar la investigación son los más pertinentes, es debido a la metodología.

### **4.1 HIPÓTESIS**

El termino de hipótesis es muy amplio ya que hay muchos factores a tomar en cuenta, sin embargo, para sintetizar toda esta información diré que una hipótesis se encarga de indicar lo que tratamos de probar en nuestra investigación y se definen como una explicación tentativa de lo que se quiere realizar.

En este proyecto se quiere rediseñar un sistema de control ya existente, actualmente la alimentación de agua de una de las plantas de producción de Gildan se encuentra de modo manual por así decirlo, ya que se requiere de un operador para cumplir dos funciones importantes. Una de ellas es la de encender una bomba de agua para llenar un tanque de agua y la otra es de estar monitoreando constantemente el nivel de agua del tanque para evitar cualquier tipo de incidente dentro de la planta de producción.

El cliente solicita automatizar el proceso antes mencionado para que un operario no tenga esta tarea, además los tiempos de respuesta a un proceso como este es necesario la intervención de un PLC que puede responder en milisegundos ante cualquier falla. Se quiere proceder entonces a la instalación de un variador de frecuencia para controlar la velocidad de la bomba de agua que

se encargara de abastecer el tanque. Este variador será controlado a través de un PLC maestro el cual tiene una lógica funcional.

Dentro de la lógica del PLC se quiere implementar un PID que se encargara de mantener el nivel del tanque en un punto donde el operario o encargado del pozo establecerá previamente, asegurando que el nivel del tanque será constante y que en ningún momento dejara de abastecer la planta. Todo esto con la ayuda de un sensor de nivel que será el encargado de retroalimentar a nuestro proceso.

En este caso la hipótesis la voy a basar en el ahorro energético que la empresa puede llegar a tener, puesto que con la instalación de un variador de frecuencia la bomba que se encuentra ubicada en el pozo ya no tendrá grandes picos de corriente. De hecho, al implementar este sistema el tanque siempre tendrá un nivel constante ya que la bomba del pozo estará trabajando permanentemente. Esta hipótesis es fácil de comprobar debido a que solo es de hacer un estudio del consumo eléctrico de la bomba antes y después de la instalación del sistema.

Finalmente, todos estos datos serán monitoreados de dos maneras. Una de ellas es en el sitio de la instalación ya que se va a proceder a instalar un medidor marca Schneider que se encargará de obtener la información de la bomba, de esta manera se tendrá un mayor control. Y la otra manera es a través de un sistema SCADA donde se podrá monitorear y controlar todo el sistema.

Adicionalmente se pretende instalar una HMI para que el operario tenga un mayor control del proceso, tratando que la interfaz sea bastante amigable.

#### 4.1.1 Población

Todos los reportes o facturas de consumo eléctrico de la empresa durante los años 2016, 2017 y 2018 de la planta Gildan Hosiery. Facturas proporcionadas por la empresa que regula la energía eléctrica en nuestro país Honduras.

#### 4.1.2 Muestra

El reporte o factura del consumo eléctrico de la planta Gildan Hosiery de un mes antes de la instalación del sistema que se quiere implementar y un reporte más posterior a la instalación del proyecto.

#### 4.1.3 VARIABLES DEPENDIENTES

La bomba de agua será controlada a través de un variador de frecuencia esté a su vez será controlado a partir del PLC. Realizar un arranque a través de un variador de frecuencia conlleva muchos beneficios uno de los principales es el ahorro de energía puesto que con un sistema como el que se quiere implementar se evitan los picos de corriente que se reflejan en la factura mensual. Aumentar la vida útil de la bomba es otro beneficio ya que, la bomba contará con diferentes protecciones por ejemplo la sobrecarga. Y como último punto mantener el nivel del tanque a través del sistema antes mencionado nos asegura un correcto funcionamiento de nuestra planta de producción.

#### 4.1.4 VARIABLES INDEPENDIENTES

Cada cierto periodo de tiempo como toda maquinaria es de vital importancia que se le de mantenimiento. Es por ello que, el tiempo que la bomba se encuentre fuera de servicio nuestro sistema se verá afectado drásticamente.

### **4.2 MÉTODO Y ENFOQUE**

En toda investigación es importante determinar la metodología a utilizar que básicamente, es el estudio de los modos y maneras de llevar a cabo una acción. Esto conlleva a un conjunto de procedimientos que se deben llevar a cabo entre los cuales destacan la determinación del tipo de investigación, definición de los eventos o fenómenos a estudiar y la descripción del procedimiento a llevar a cabo.

En el presente informe se tomó la decisión de utilizar el método científico para el desarrollo del proyecto, el método científico se define como “un conjunto de pasos que se siguen en la generación de conocimiento objetivo, avalado por una serie de reglas rigurosas que no den lugar a dudas”(Lenin Navarro Chávez, 2014, p. 186). Tiene dos enfoques con distintas características que se abordaran a continuación:

- Cualitativo: que tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno, y es justamente lo que hace la HMI que será diseñada para que la interfaz se lo bastante sencilla de manipular. A parte de esta característica tiene la función de mostrar todas las variables de medición y control del proceso.
- Cuantitativa: son procedimientos que hacen menos comparables las observaciones en el tiempo y en diferentes circunstancias culturales. Así como es importante tener una interfaz amigable, el monitoreo de estas variables a través de un SCADA ayudara que el cliente pueda tener un mejor control de su planta de producción.

### **4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN**

Se le denomina una fuente de información a diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para cumplir con una demanda de información. En una investigación se destacan dos tipos de fuentes, las fuentes primarias la que proviene del mismo investigador, libros, monografías y las fuentes secundarias son las que están basadas en conclusiones de fuentes primarias como documentos, grabaciones, videos.

A continuación, un listado de las fuentes de información:

#### Primarias

- Libros electrónicos recopilados del CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación) por parte de UNITEC.
- Libros físicos
- Revistas científicas

## Secundarias

- Tesis de referencia
- Catálogos
- Manuales técnicos

## 4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



**Ilustración 9 Cronograma de actividades 1**

Fuente: Propia



**Ilustración 10 Cronograma de actividades 2**

Fuente: Propia

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 RESULTADOS

#### 5.1.1 DISEÑO DE HMI

En este proyecto el diseño de HMI es una parte fundamental ya que el operario debe de ser capaz de controlar el sistema de la bomba y al mismo tiempo obtener todos los datos necesarios para la realización de informes diarios, semanales y mensuales.

##### 5.1.1.1 PANTALLA PRINCIPAL

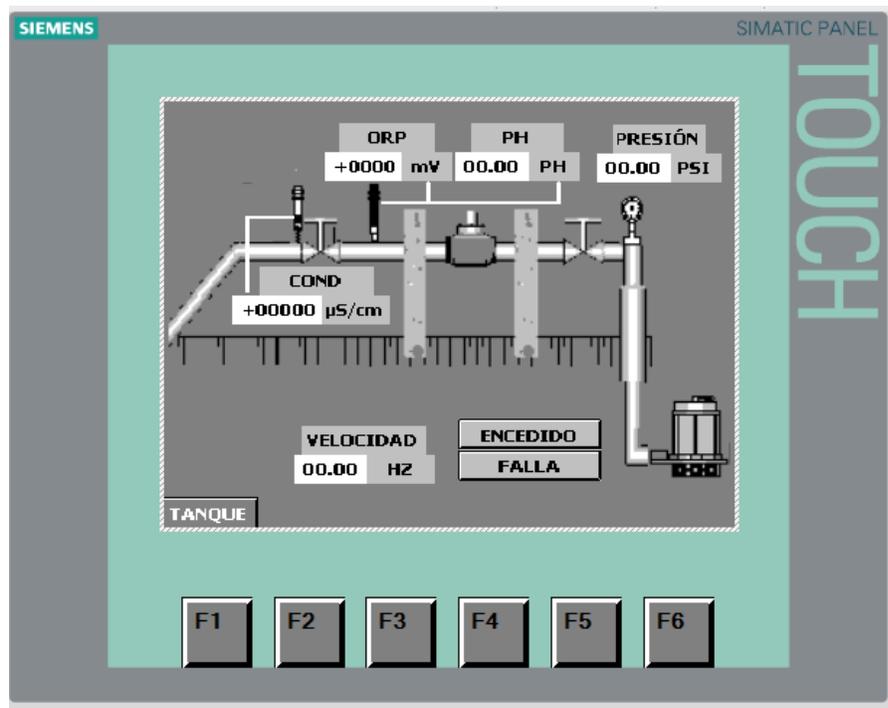


Ilustración 11 Pantalla principal - pozo

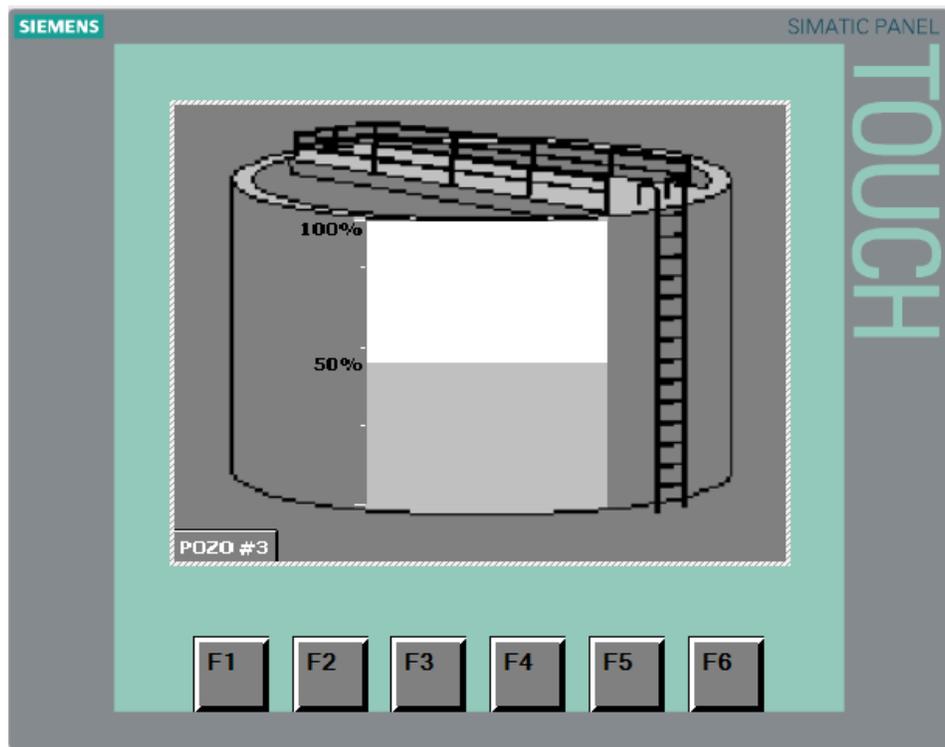
Fuente: Propia

Se diseñó una pantalla que es amigable para el usuario debido a su sencillez. El cliente proporcionó una pantalla monocromática, el cual es utilizada por los operarios para monitorear las variables que muestra la ilustración. Entre las variables que se monitorean están:

- PH
- Presión
- Conductividad
- ORP
- Velocidad de bomba

Asimismo, el estado de la bomba, si esta se encuentra encendida, apagada o tiene alguna falla de arranque.

#### 5.1.1.2 PANTALLA DEL TANQUE



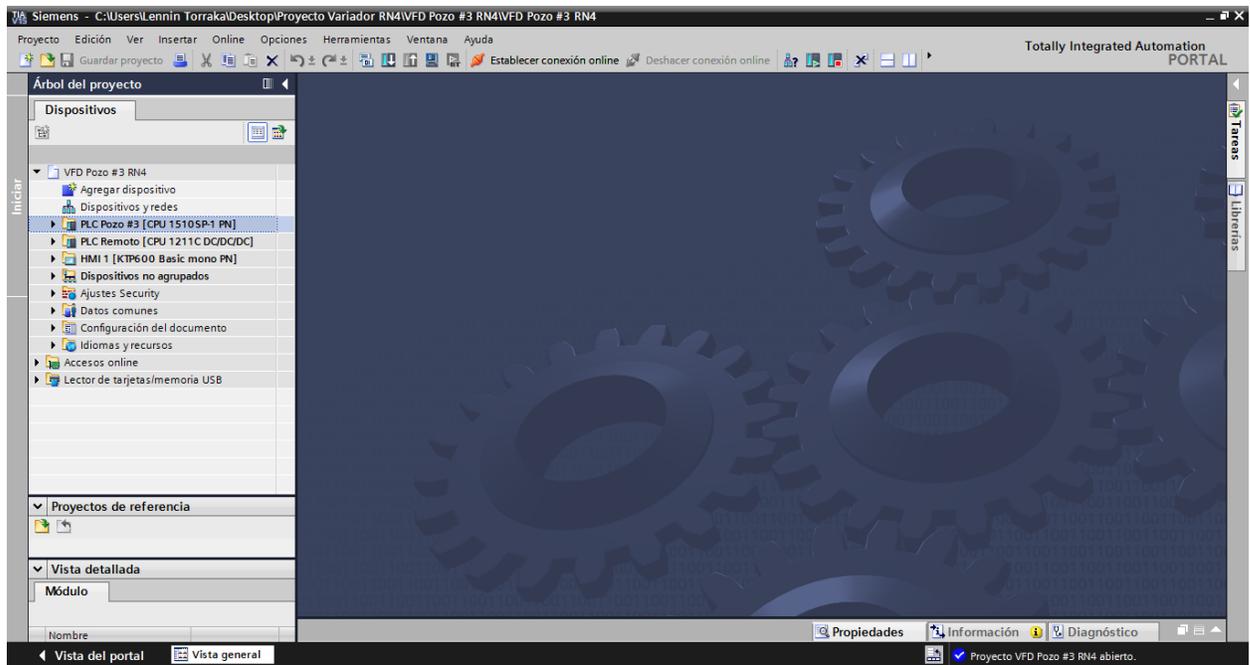
**Ilustración 12 Pantalla de tanque**

Fuente: Propia

La pantalla mostrada en la ilustración 12, es la que se diseñó para mostrar el nivel en tiempo real del tanque que está ubicado a 500 metros del pozo 3. Muestra en porcentaje el nivel actual del tanque, esta variable es sumamente importante ya que es la utilizada para el control PID de la lógica de programación del PLC.

### 5.1.2 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN

En este proyecto se realizaron dos programaciones, una del PLC remoto y la otra es la programación del PLC en el pozo como se muestra en la ilustración 13.

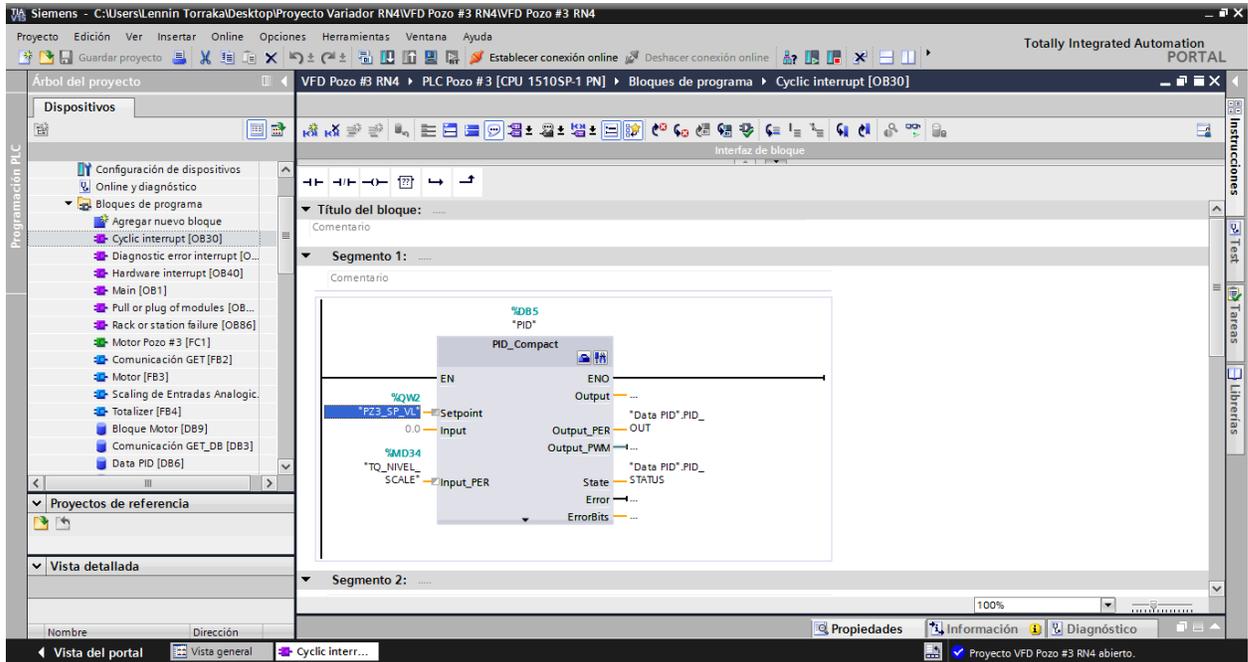


**Ilustración 13 Pantalla de lógica de programación**

Fuente: Propia

## 5.1.3 PROGRAMACIÓN PLC POZO#3

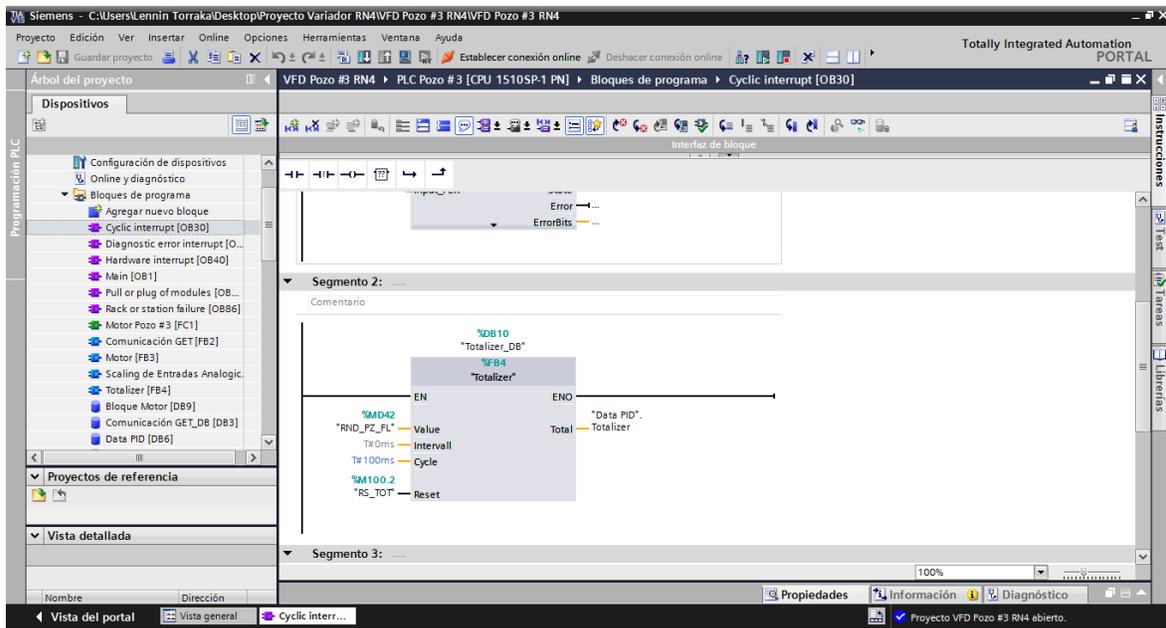
### 5.1.3.1 CYCLIC INTERRUPT



**Ilustración 14 PID**

Fuente: Propia

Dentro del bloque Cyclic interrupt se colocó el bloque PID\_compact, es un bloque encargado de utilizar la variable del nivel del tanque proveniente del otro PLC remoto, y su función es la de mantener el nivel del tanque al nivel ajustado previamente por el operario o el ingeniero encargado del pozo.

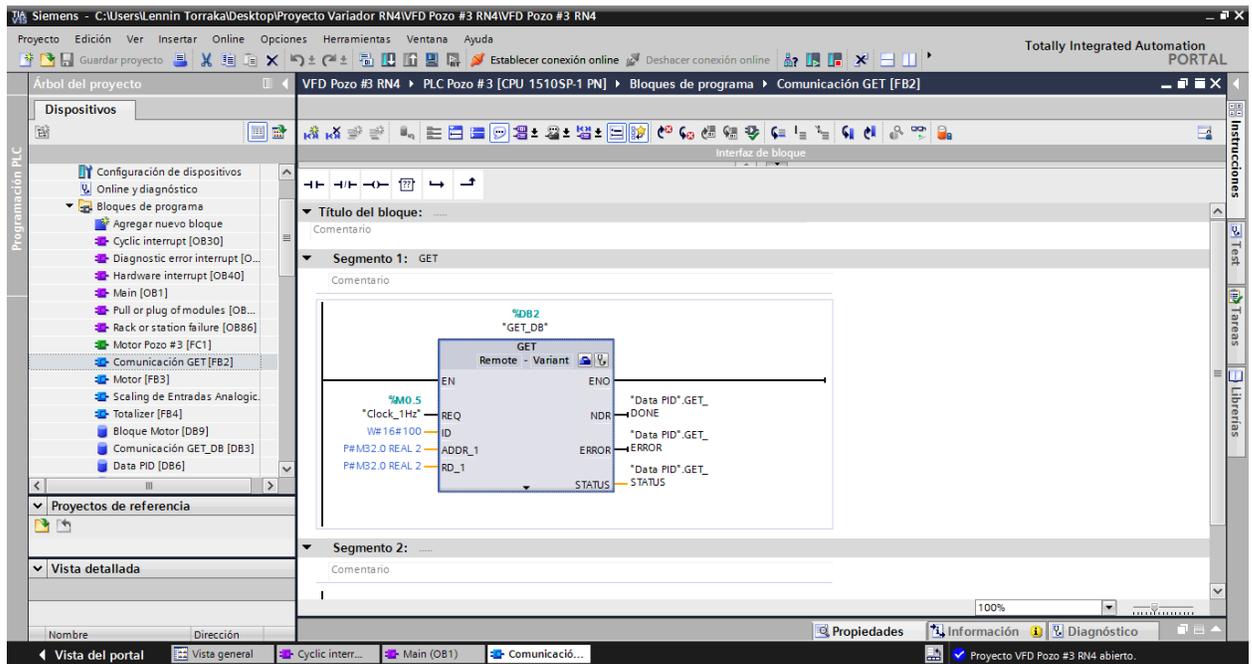


**Ilustración 15 Totalizador**

Fuente: Propia

Se quiere tener un registro de toda el agua que se traslada desde el pozo al tanque, esto se logra a través de un totalizador que se llevó a cabo. El totalizador utiliza la variable del flujometro el cual mide la cantidad de metros cúbicos por hora, este bloque acumula la cantidad de litros y lo almacena en una variable para su posterior monitoreo.

### 5.1.3.2 COMUNICACIÓN GET



**Ilustración 16 Comunicación GET**

Fuente: Propia

Este bloque es el encargado de mantener una comunicación entre el PLC remoto y el PLC del pozo. Este bloque de función es un tipo de comunicación de parte de Siemens, que es exclusivamente para cierta cantidad de PLC de la gama 1200 y 1500. En este caso se utiliza para mover la variable del nivel del tanque que la obtiene el PLC del pozo para moverla al PLC remoto.

### 5.1.3.3 ESCALAS DE SENSORES

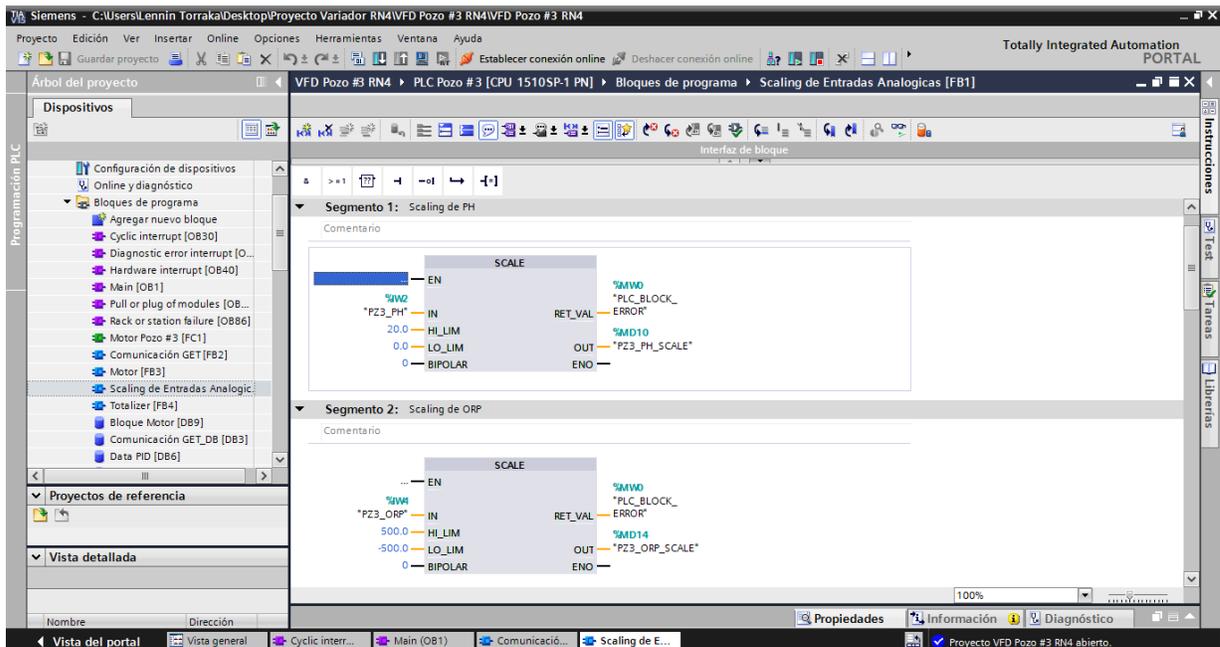


Ilustración 17 Escala de sensores 1

Fuente: Propia

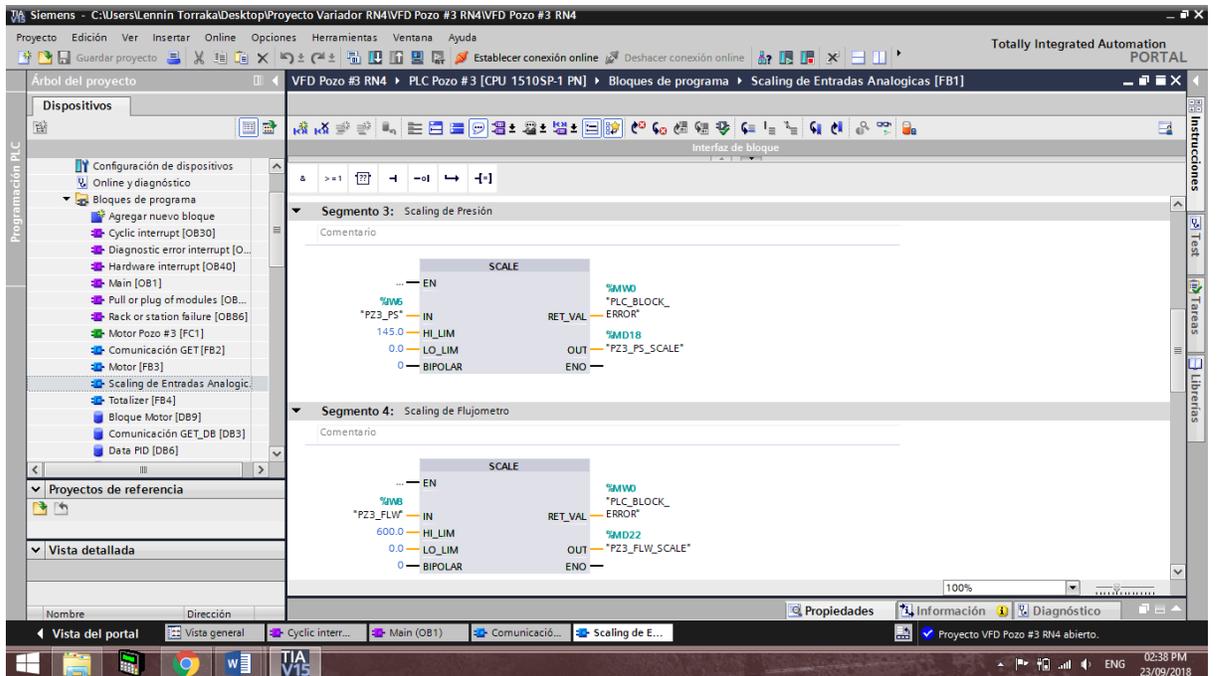
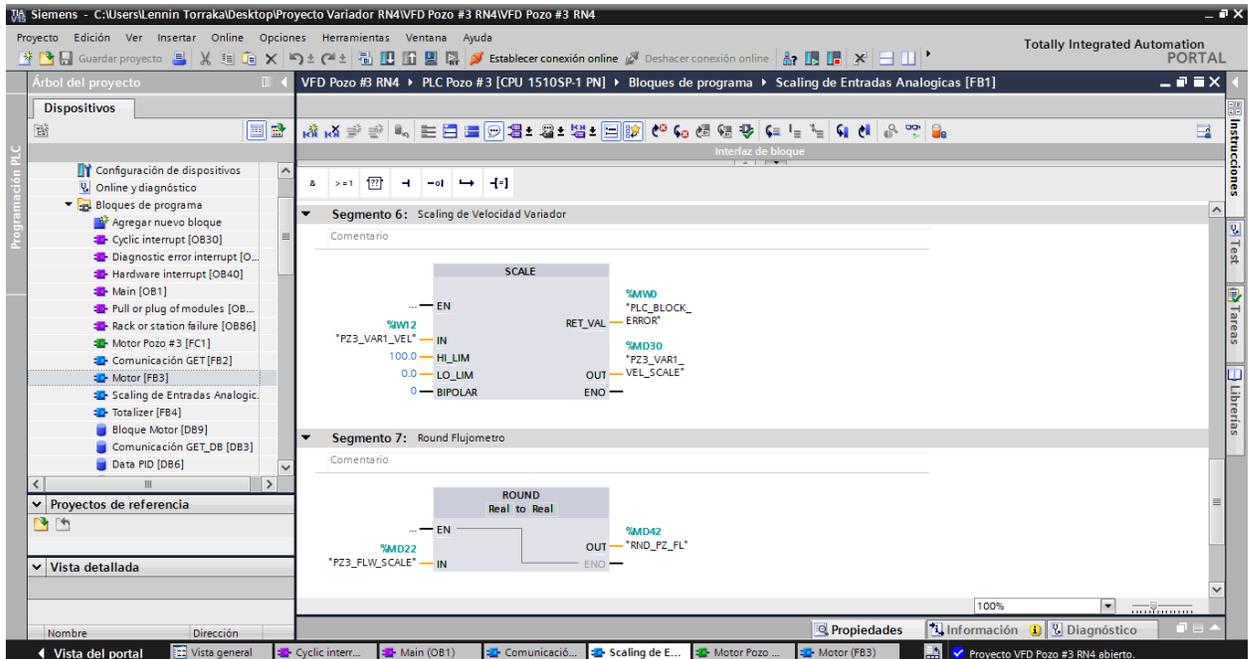


Ilustración 18 Escala de sensores 2

Fuente: Propia

Se utiliza un bloque llamado SCALE el cual se encarga de convertir la señal analógica de (4-20mA) proveniente de los sensores de PH, ORP, conductividad, presión y flujometro a unidades digitales. Estas unidades digitales se pueden a la vez escalar a la capacidad de cada uno de los sensores. Ver ilustración 14 y ilustración 15.



**Ilustración 19 Escala variador de frecuencia**

Fuente: Propia

Al igual que los sensores analógicos, el variador de frecuencia también necesita de una señal analógica para su funcionamiento. Esta señal es la variable de salida del PID la cual ya está regulada de acuerdo con el nivel del tanque.

### 5.1.3.4 MOTOR

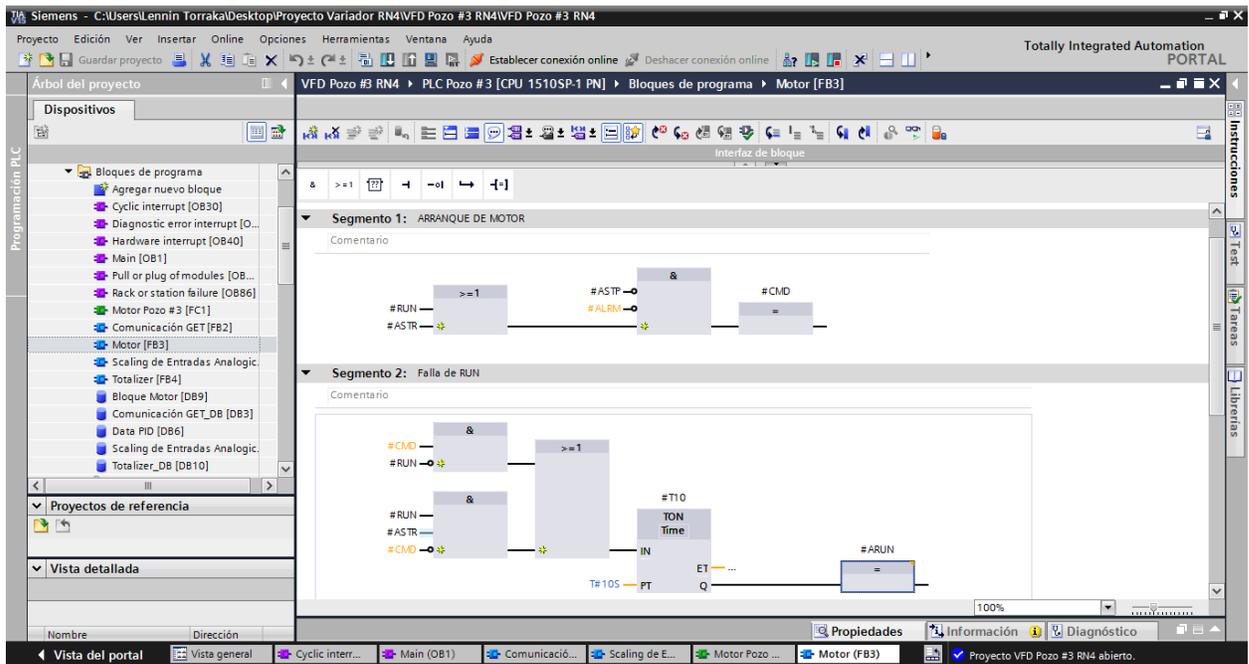


Ilustración 20 Motor 1

Fuente: Propia

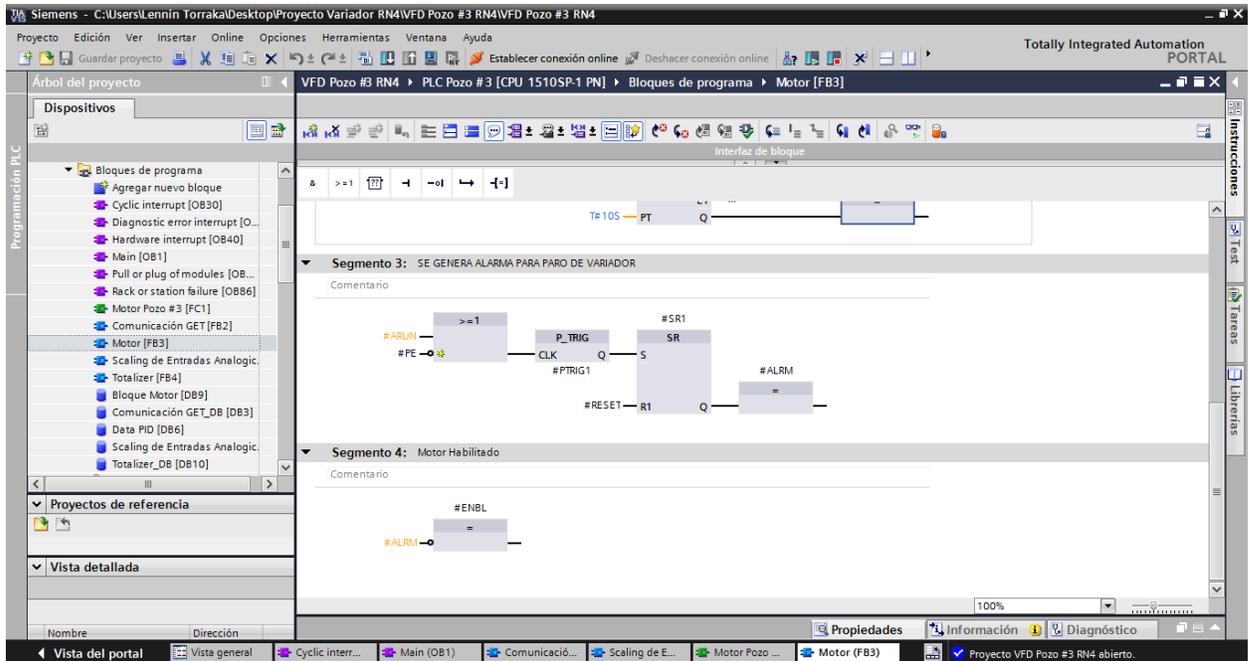


Ilustración 21 Motor 2

Fuente: Propia

Se creo un bloque de motor, este bloque de motor contiene todos los comandos necesarios para su correcto funcionamiento. Entre sus opciones tiene, el encendido este puede ser de dos tipos, el arranque manual y el automático. También tiene una opción de reset que se utiliza para reiniciar el funcionamiento del motor o bomba en este caso. Trabajamos con equipos industriales lo que conlleva gran inversión de los equipos, por lo que es de suma importancia que tengan una protección por sobrecarga y en este bloque también cuenta con una protección por sobrecarga, cuando detecta una sobrecarga la bomba se apaga inmediatamente. Ver ilustración 17 y ilustración 18.

### 5.1.3.5 MAIN

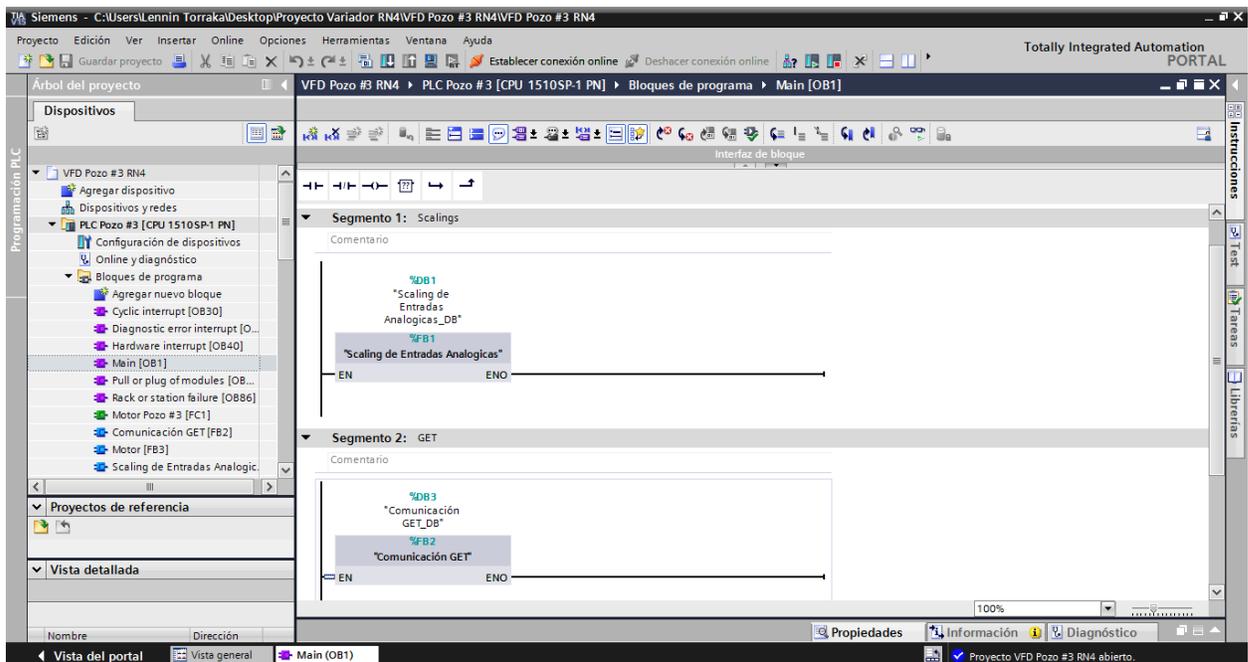
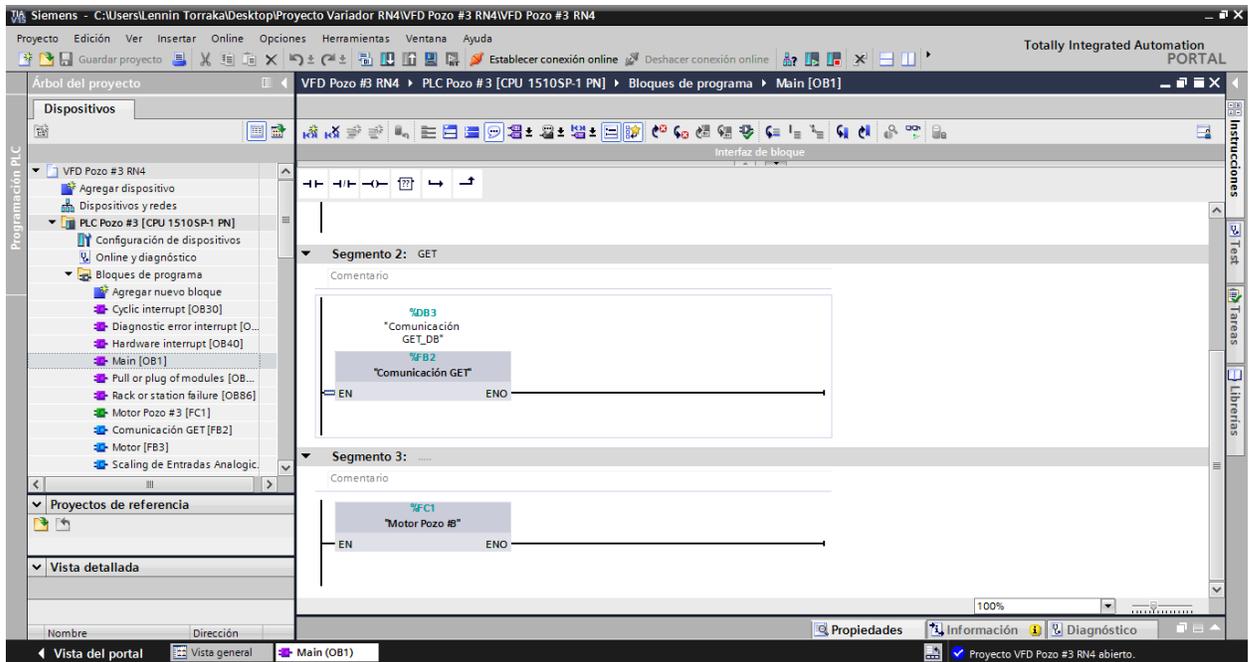


Ilustración 22 Main 1

Fuente: Propia



**Ilustración 23 Main 2**

Fuente: Propia

Como se realizó una programación en bloque, los bloques que se crearon como el del motor, el de las escalas y el de la comunicación Get se tienen que mandar a llamar en el main. De este modo el PLC interpreta que lo que está dentro de los bloques se tienen que estar ejecutando siempre.

## 5.2 ANÁLISIS

En el presente informe, se utilizan cuatro tipos de sensores por lo que es de vital importancia explicar cuál es la manera correcta de interpretar las señales ya que estas variables son utilizadas para el monitoreo.

### 5.2.1 LINEALIZACIÓN DE UNA SEÑAL

En los procesos industriales es común encontrar sensores analógicos debido a su gran exactitud de medición. En este caso se utilizaron distintos tipos de sensores como:

- Sensor de presión
- Flujometro
- Sensor de PH
- Sensor de ORP
- Sensor de conductividad

Cada uno de ellos mandan una señal de 4-20 mA, este proyecto se realizó con PLC marca siemens, dicha marca al trabajar con señales analógicas primeramente se tiene que realizar un escalamiento de señales. El escalamiento se realiza de 4-20 mA a 30,000 unidades digitales, para realizar dicho escalamiento se utilizó el siguiente procedimiento:

Calculamos la pendiente de nuestra ecuación de la recta:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

#### **Ecuación 4 Pendiente de una recta**

Fuente: Propia

Con el cálculo de la pendiente de la recta podemos proseguir a establecer la ecuación de la recta para poder calcular correctamente la linealización.

$$y = mx + b$$

#### **Ecuación 5 Ecuación de una recta**

Fuente: propia

Sustituyendo los valores de la ecuación en otra obtenemos:

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

$$y - 0 = \frac{1}{100}(x - 0)$$

$$y = \frac{1}{100}x$$

Esta sería la ecuación necesaria para llevar a cabo el escalamiento de la señal analógica de los cuatro sensores antes mencionados.

## VI. CONCLUSIONES

- El nuevo panel de fuerza se construyó exitosamente cumpliendo con todos los requisitos del cliente, incluyendo un variador de frecuencia capaz de controlar la bomba de agua que se encuentra en el pozo.
- Se determinó que, para tener un mejor control del sistema, fue necesario la instalación de cuatro sensores entre los cuales están: Sensor de PH, sensor de conductividad, sensor de nivel y un flujometro.
- El diseño de la HMI se llevó a cabo con éxito, si bien es un diseño sencillo, pero cumple con las características de tener una buena señalización y es bastante fácil de utilizar por parte de los operadores de la planta de producción.
- En la lógica de programación se tomaron varias medidas de seguridad para asegurar un correcto funcionamiento de la bomba, ésta se desarrolló de manera que el tanque tenga un nivel constante y de esta manera la planta de producción no tenga ningún inconveniente de bajo nivel de agua. Dicho sistema se pudo llevar a cabo gracias al PID, el sensor de nivel y el variador de frecuencia.

## VII. RECOMENDACIONES

### Hacia la empresa

Este proyecto se desarrolló en Falcon Ingeniería e implementado en Gildan Hosiery, por lo que las siguientes recomendaciones son relacionadas a cada una de ellas.

En el caso de Falcon Ingeniería, se recomienda tener una mejor organización en cuanto a las horas de trabajo de parte de los técnicos y los ingenieros. De esta manera el cliente tiene la certeza de la fecha a entregar el proyecto lo que conlleva a mejores relaciones y resultados para proyectos futuros.

En cuanto a Gildan Hosiery, se recomienda que si los materiales del proyecto son proveídos tener todos los materiales listos. Ya que cuando el proyecto se está llevando a cabo y los materiales aun no están disponibles implica un retraso innecesario en el cronograma del proyecto.

### Hacia la universidad

Gracias a la base instruida por los catedráticos a lo largo de estos años en la universidad, fue de mucha utilidad aplicarlos en mi práctica profesional, sin embargo, en ciertos aspectos hubo deficiencias y se tuvo que investigar para poder llevar a cabo las tareas asignadas por parte de la empresa, las cuales se plantean a continuación:

- Protocolos de comunicación: Si bien es cierto que son temas aprendidos en clase, es de suma importancia tener un conocimiento más profundo especialmente con las que son utilizadas en la industria, ya que noté que en muchas empresas de nuestro medio utilizan protocolos de comunicación antiguos gracias a su bajo costo y facilidad de conexión.
- SCADA: El empleo de esta herramienta es de mucha importancia, ya que integran variedad de controladores en un centro de comunicaciones y todas las variables se pueden monitorear e incluso controlar en muchos procesos.
- PID: En cada proyecto en el que estuve involucrado utilizan este mecanismo de control y es importante conocer las distintas aplicaciones que tiene en procesos de control de velocidad, temperatura entre otras.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Arrayás, M. (2007). *Electromagnetismo, circuitos y semiconductores*. Madrid, SPAIN: Dykinson. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175802>
2. Aznar López, A. (2005). *La red Internet. El modelo TCP/IP*. Madrid, SPAIN: Grupo Abantos Formación y Consultoría. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3160098>
3. Baena Paz, G. M. E. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F., MEXICO: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228423>
4. Barrientos, A., Peñín, L. F., & Balaguer, C. (2007). *Fundamentos de robótica (2a. ed.)*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3199830>
5. Cadenas Sanchez, X., & Zaballos Diego, A. (2011). *Guía de sistemas de cableado estructurado*. Barcelona, SPAIN: Ediciones Experiencia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227433>
6. Cegarra Sánchez, J. (2012). *La tecnología*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228677>

7. Colegio 24hs. (2004). *Electrodinámica*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3157424>
8. Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183744>
9. García Gutiérrez, L. (2014). *Instrumentación básica de medida y control*. Madrid, SPAIN: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3223486>
10. Germán Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Distrito Federal, UNKNOWN: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4569609>
11. Hernández Matos, E., & Muñoz Gamboa, C. (2014). *Ultrasonido diagnóstico*. Santiago de Chile, CHILE: Editorial Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3221296>
12. Hillar, G. C. (2004). *Redes: diseño, actualización y reparación*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3184417>

13. Holguin Quinones, S., Montoya Vega, F., & Flores Valverde, E. (2010). *Fundamentos de electroquímica*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3187595>
14. Lenin Navarro Chávez, J. C. (2014). *Epistemología y metodología*. México, D.F., MEXICO: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227854>
15. Medina, J. L., & Medina Garca, J. L. (2010). *La automatización en la industria química*. Barcelona, SPAIN: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3429967>
16. Menéndez Martínez, A. (2012). *Fundamentos de tecnología electrónica. Volumen I: la corriente continua*. Madrid, SPAIN: Editorial Tébar Flores. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3430329>
17. Mola Morales, F. J. (2017). *Instalación y mantenimiento de aparatos sanitarios de uso doméstico. IMAI0108 (2a. ed.)*. Málaga, UNKNOWN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5350036>
18. Muñoz Hernández, J. A., Muñoz Hernández, L. A., & Rivera Barrero, C. A. (2014). *Control automático I: estrategias de control clásico*. Ibagué, COLOMBIA: Sello Editorial Universidad del Tolima. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4909273>

19. Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216642>
20. Perolini, C. (2009). *Introducción a los circuitos eléctricos 1*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3184029>
21. Ponsa Asensio, P., & Vilanova Arbós, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Barcelona, SPAIN: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229256>
22. Saldis, N. E., Penci, M. C., & Gianna, V. (2013). *Sensores: una exitosa experiencia interdisciplinar en la enseñanza de las ciencias*. Córdoba, ARGENTINA: Editorial Brujas. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3222873>
23. Torresi, A. A. (2004). *Mediciones en alta tensión*. Buenos Aires, ARGENTINA: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3213013>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Tubería con sensores



Fuente: Propia

### Anexo 2. Panel de monitoreo actual



Fuente: Propia

**Anexo 3. Panel de fuerza actual**



Fuente: Propia