



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**CONTROL HMI DE FLUIDOS A DISTINTAS TEMPERATURAS MEDIANTE  
SECUENCIA DE BOMBAS MASTER-SLAVE, GILDAN SULA TEXTILES**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21411161      JUAN MIGUEL MEJÍA SAAVEDRA**

**ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNANDEZ**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**AGOSTO 2018**

## **Dedicatoria**

Ante la gran cantidad de esfuerzos, sacrificios y dedicación que se requiere durante el proceso académico trae consigo la ayuda que nos impulsa a seguir adelante frente a las dificultades que se presenten y que mejor manera que agradecer a cada una de las personas que estuvieron involucradas de una u otra manera a ser mejores y convertirnos en lo que deseamos y soñamos.

Dios, gracias a Él, por estar cada día presente, apoyo incondicional que nos guía durante el camino de esta vida, ayudándonos a tomar las mejores decisiones que enriquezcan nuestro ser como personas. Además, gracias a Dios, por cada persona que puse en el camino que nos instruyó con su experiencia y ejemplo, muchas gracias.

Mis padres, cada uno con sus distintas cualidades, pero su atención incomparable y palabras llenos de soporte y cariño, dando lo mejor de sí para vernos felices, para que las adversidades en el camino no nos derriben. Mi mamá, gracias por sus buenos deseos cada mañana y las palabras de aliento cuando lo necesito. Mi papá, gracias por su gran ejemplo a seguir, por la enseñanza que aplica con su persona en el área técnica y mucho más en el tema de ser una persona de bien para la sociedad aun aplicándolo en el trabajo, pero siempre como prioridad, nuestra familia.

Hermano, gracias por su admiración y por su preocupación en mis actividades, gracias por estar allí apoyándome y demostrando el buen camino que puedo enseñarle.

Mi familia, dentro ellos tíos, primos, abuelos, gracias por que sus palabras me hacen dar lo mejor en todos los aspectos.

Amigos y seres queridos, que por los que por muchos años aún siguen estando allí apoyándome, por los que fueron y son una parte importante durante todo este trayecto y les agradeceré siempre que estuvieran en cada momento que me brindaron su mano, haciéndome ver que podía seguir adelante, gracias por cada uno de esos momentos.

## RESUMEN EJECUTIVO

La realización del proyecto se desarrolló en la empresa encargada de automatización, instrumentación y control, R y D Industrial pero implementado en GILDAN Sula Textiles. El proyecto consiste en la automatización y control de un sistema de distribución de dos sistemas de agua a diferentes temperaturas y mantener una presión estable en la línea de distribución ante las demandas de la planta comunicado por medio del protocolo de comunicación Modbus RS 485.

La automatización de los sistemas se realizó por medio de un controlador PLC incluyendo la programación por una selección en secuencia de cada una de las bombas regulando su frecuencia por medio del PID incluido en la programación del variador utilizando un sensor de presión para tener la referencia y la alternancia del master siendo este mensualmente para no sobrecargar una bomba con el inicio de la secuencia, pero de igual manera tener en cuenta las frecuencias bajas a la que puede operar el motor sin sufrir sobrecalentamiento.

El control y monitoreo se aprovecha a través de un HMI, identificando las áreas por medios de diseños CAD, donde el operador puede comunicarse con las máquinas, revisar el estado y las variables necesarias para el usuario que estará monitoreando los sistemas y la potencia energética del mismo.

## **ABSTRACT**

The realization of the project was developed in the company in charge of automation, instrumentation and control, R and D Industrial but implemented in GIILDAN Sula Textiles. The project consists in the automation and control of a distribution system of two water systems at different temperatures and the maintaining of a stable pressure in the distribution line in response to the demands of the plant communicated through the Modbus RS 485 communication protocol.

The automation of the systems was carried out by a PLC controller including the programming by a sequential selection of each of the pumps, regulating their frequency by the PID controller, included in the drive programming, using a pressure sensor to have the reference and the alternating of the master being this monthly so as not to overload a pump with the beginning of the sequence, but in the same way take into account the low frequencies at which the motor can operate without suffering overheating.

The control and monitoring is exploited through an HMI, identifying the areas by means of CAD designs, where the operator can communicate with the machines, check the status and the variables necessary for the user who will be monitoring the systems and the power of the same.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	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.....	6
2.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	6
2.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
2.5	JUSTIFICACION.....	7
III.	MARCO TEÓRICO.....	8
3.1	INDUSTRIA TEXTIL.....	8
3.1.1	PROCESO DE TEÑIDO O DE TINTURA.....	9
3.2	PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE).....	9
3.3	HMI (HUMAN-MACHINE INTERFACE).....	10
3.4	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	11
3.4.1	SISTEMAS DE MEDIOS FÍSICOS DE COMUNICACION.....	12
3.4.2	SISTEMAS TRANSMISION DE SEÑAL.....	13
3.4.2.1	NIVELES DE TENSIÓN.....	13
3.4.2.2	BUCLE DE CORRIENTE.....	15
3.4.2.3	SEÑAL MODULADA.....	16
3.4.3	ESTRUCTURAS BASICAS EN LA COMUNICACIÓN.....	16
3.4.3.1	TRANSMISION DE DATOS EN PARALELO.....	17
3.4.3.2	TRANSMISION DE DATOS EN SERIE.....	17
3.4.4	TIPOS DE RED.....	19

3.4.4.1 Según la Forma (Topología) .....	20
3.4.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACION .....	22
3.4.5.1 ModBus .....	23
3.5 MECANICA DE FLUIDOS .....	28
3.5.1 FLUIDOS.....	29
3.5.2 DENSIDAD.....	29
3.5.3 PRESIÓN.....	30
3.5.4 HIDROSTATICA.....	30
3.5.5 HIDRODINAMICA .....	32
3.5.5.1 Ecuación de Continuidad.....	32
3.5.5.2 Ecuación de Bernoulli.....	33
3.6 MAQUINAS HIDRÁULICAS.....	33
3.6.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MAQUINAS HIDRÁULICAS.....	34
3.6.2 ELEMENTOS DE UNA TURBOMÁQUINA HIDRÁULICA .....	34
3.6.3 TIPOS DE TURBOMÁQUINAS SEGÚN EL ROTOR.....	35
3.6.4 CURVA CARACTERÍSTICA .....	35
3.6.5 CAVITACIÓN Y GOLPE DE ARIETE .....	36
3.7 SENSORES.....	37
3.7.1 SENSOR DE TEMPERATURA.....	38
3.7.2 SENSOR DE PRESIÓN .....	40
3.8 VARIADOR DE FRECUENCIA.....	42
IV. METODOLOGÍA .....	44
4.1 HIPOTESIS.....	44
4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES .....	45
4.1.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	46

4.2	MÉTODO Y ENFOQUE .....	46
4.3	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	47
4.4	CRONOGRAMA .....	48
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	50
5.1	ANALISIS .....	50
5.1.1	SENSOR DE PRESIÓN .....	50
5.1.2	SENSOR DE TEMPERATURA.....	54
5.1.3	LINEALIZACION DE SEÑALES .....	54
5.2	RESULTADOS.....	55
5.2.1	DISEÑOS EN HMI.....	55
5.2.1.1	PANTALLA PRINCIPAL .....	55
5.2.1.2	SISTEMA AUTOMÁTICO .....	56
5.2.1.3	SISTEMA MANUAL.....	57
5.2.1.4	MANTENIMIENTO .....	58
5.2.1.5	DATOS VARIADORES .....	61
5.2.2	LOGICA EN LENGUAJE DE PROGRAMACION.....	62
5.2.2.1	MAIN .....	62
5.2.2.2	CONTROL DE BOMBAS .....	62
5.2.2.3	CONTROL DE SENSORES.....	69
5.2.2.4	VARIADOR.....	70
5.2.2.5	MODBUS.....	70
5.2.2.6	FUNCIONES .....	72
VI.	CONCLUSIONES.....	75
VII.	RECOMENDACIONES .....	76
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	78
IX.	ANEXOS.....	81

Anexo 1. Panel de control planta RN6, GILDAN Sula Textiles.....	81
Anexo 2. Variador ABB .....	81
Anexo 3. Montaje y cableado de variadores en panel.....	82
Anexo 4. Pantalla y medidor de energía instalada en panel .....	82
Anexo 5. Módulo de temperatura UNITRONICS .....	83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. UNISTREAM® 7"- PLC CON HMI TÁCTIL DE ALTA RESOLUCIÓN .....	11
ILUSTRACIÓN 2. TRANSMISIÓN DE DATOS EN PARALELO.....	17
ILUSTRACIÓN 3. TRANSMISIÓN DE DATOS EN SERIE.....	18
ILUSTRACIÓN 4. TOPOLOGÍA DE REDES .....	22
ILUSTRACIÓN 5. EJEMPLO CURVA CARACTERÍSTICA.....	36
ILUSTRACIÓN 6. RTD PT100 HERTEN.....	40
ILUSTRACIÓN 7. PRESIÓN DETERMINADA POR CAPACITANCIA ENTRE DOS PLACAS .....	41
ILUSTRACIÓN 8. SENSOR DE PRESIÓN PT0507 IFM.....	42
ILUSTRACIÓN 9. EJEMPLO VARIADOR ABB ACS550 .....	43
ILUSTRACIÓN 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	48
ILUSTRACIÓN 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	48
ILUSTRACIÓN 12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	49
ILUSTRACIÓN 13. DIAGRAMA DE TANQUE.....	51
ILUSTRACIÓN 14. SENSOR DE PRESIÓN PA3526 IFM.....	53
ILUSTRACIÓN 15. GRÁFICA DE CORRIENTE DE SALIDA.....	55
ILUSTRACIÓN 16. PANTALLA PRINCIPAL .....	55
ILUSTRACIÓN 17. MONITOREO DE SISTEMA AUTOMÁTICO .....	56
ILUSTRACIÓN 18. CONTROL Y MONITOREO DE SISTEMA MANUAL .....	57

ILUSTRACIÓN 19. MENÚ DE MANTENIMIENTO .....	58
ILUSTRACIÓN 20. PANTALLA MODO DE CONTROL .....	58
ILUSTRACIÓN 21. PANTALLA HABILITACIÓN DE BOMBAS .....	59
ILUSTRACIÓN 22. PANTALLA DE CALIBRACIÓN .....	60
ILUSTRACIÓN 23. PANTALLA DE ALARMAS .....	60
ILUSTRACIÓN 24. PANTALLA MONITOREO DE VARIADORES .....	61
ILUSTRACIÓN 25. CONTROL DE BOMBAS-CONTROL MANUAL .....	62
ILUSTRACIÓN 26. CONTROL DE BOMBAS-CONTROL AUTOMÁTICO-SISTEMA ÓPTIMO .....	63
ILUSTRACIÓN 27. CONTROL DE BOMBAS-CONTROL AUTOMÁTICO-BOMBA MASTER .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
ILUSTRACIÓN 28. CONTROL DE BOMBAS-MASTER CHANGE .....	64
ILUSTRACIÓN 29. TIEMPO_CAMBIO-SEGUNDOS .....	65
ILUSTRACIÓN 30. TIEMPO_CAMBIO-MINUTOS. ;	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
ILUSTRACIÓN 31. TIEMPO_CAMBIO-HORAS .....	66
ILUSTRACIÓN 32. ALARMAS-ALARMA VARIADORES .....	66
ILUSTRACIÓN 33. RESET-RESET SECUENCIA .....	67
ILUSTRACIÓN 34. RESET-APAGADO DE BOMBAS .....	68
ILUSTRACIÓN 35. RESET-RESET DE HABILITACIÓN .....	68
ILUSTRACIÓN 36. ACTIVE_RUN .....	69

ILUSTRACIÓN 37. CONTROL DE SENSORES-LINEALIZACIÓN .....	69
ILUSTRACIÓN 38. VARIADOR-SEGUNDOS .....	70
ILUSTRACIÓN 39. REGISTRO VARIADORES PARTE 1 .....	71
ILUSTRACIÓN 40. REGISTROS MEDIDOR DE ENERGÍA .....	71
ILUSTRACIÓN 41. ALARMA INTERMITENTE .....	72
ILUSTRACIÓN 42. SECUENCIA BOMBAS-SECUENCIA.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MODBUS ASCII VS. RTU .....	25
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE COMUNICACIÓN MODBUS.....	27
TABLA 3. RANGOS DE PRESIÓN.....	53

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. DENSIDAD.....	29
ECUACIÓN 2. PRESIÓN.....	30
ECUACIÓN 3. DIFERENCIALES DE PRESIÓN.....	30
ECUACIÓN 4. INTEGRALES DE DIFERENCIALES.....	31
ECUACIÓN 5. PRESIÓN ABSOLUTA.....	31
ECUACIÓN 6. ECUACIÓN DE LA HIDROESTÁTICA .....	31
ECUACIÓN 7. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD .....	33
ECUACIÓN 8. ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	33
ECUACIÓN 9. FÓRMULA CURVA CARACTERÍSTICA.....	35
ECUACIÓN 10. FÓRMULA DE RESISTENCIA EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA .....	38
ECUACIÓN 11. FORMULA GENERAL RESISTENCIA EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA .....	39
ECUACIÓN 12. FÓRMULA CAPACITANCIA .....	41
ECUACIÓN 13. VELOCIDAD DE MOTOR EN RELACIONADA CON PARÁMETROS.....	42

## GLOSARIO

1. Actuator: es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o actuar otro dispositivo mecánico.
2. Conmutación: Cambio de circuito de una corriente eléctrica; en general, acción de abrir, cerrar o dirigir un circuito eléctrico.
3. 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.
4. Bucle: o ciclo, es una sentencia que se ejecuta repetidas veces, hasta que la condición asignada a dicho bucle deja de cumplirse.
5. Enrutamiento:
6. Flujo: caudal de un fluido continuo.
7. HMI: es la interfaz utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar los procesos industriales y de fabricación en la planta.
8. Impedancia: Relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida, y que se mide en ohmios.
9. Interfaz: Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones.
10. Manifold: tubo o conducto ancho que se bifurca en unos conductos o canalizaciones más pequeñas.
11. Master/Slave: o Maestro-Esclavo, es un modelo de comunicación para dispositivos de hardware donde un dispositivo tiene un control unidireccional sobre uno o más dispositivos.
12. Módem: Aparato que convierte las señales digitales en analógicas y viceversa, y que permite la comunicación entre dos computadoras a través de una línea telefónica o de un cable.
13. Módulo: Pieza o conjunto unitario de piezas que se repiten en una construcción de cualquier tipo, para hacerla más fácil, regular y económica.

14. Periférico: Aparato auxiliar e independiente conectado a la unidad central de una computadora.
15. Protocolo: Conjunto de reglas que se establecen en el proceso de comunicación entre dos sistemas.
16. Textil: Perteneciente o relativo a los tejidos.
17. Señal: Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información.
18. Señal Digital: es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que sólo puede tomar ciertos valores discretos, uno o 0.
19. Señal Analógica: es aquella señal que presenta una variación continua con el tiempo.
20. Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.
21. Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.
22. 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. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico a nivel mundial se hace cada vez más notable, siendo este el caso de la ciudad industrial de Honduras. En el ambiente en el que viven los estudiantes hondureños en especial los ciudadanos en general, se tiene una percepción de que la tecnología no existe en el país o que no hay personas con capacidad que trabajen para ello, siendo esta una idea errónea ya que las fábricas y empresas omiten el antiguo control mecánico de sus máquinas y empiezan a automatizarlas y usar electrónica dentro de ellas, lo que trae consigo grandes ahorros energéticos, menor desgaste por fricción, reducción del tamaño de ellas, mejor control y eficiencia en los sistemas y además un aumento bastante significativo de producción en menor tiempo. Pero el estudiante de Ing. Mecatrónica, ingresando al mundo laboral, debería darse cuenta de las infinitas posibilidades que se tienen en el país y de los grandes alcances en tecnología con la que se cuenta.

Saber las posibilidades que existen de empleo en Honduras, la mejora de la calidad de vida de las personas e incluso generar en las personas la posibilidad de abrir su mente a nuevas experiencias y enfoques dentro del país, haciendo más prospera la casa de cada hondureño y volviéndolos emprendedores; esto enorgullece a cualquier ciudadano.

Este es el caso de la empresa R y D Industrial, una empresa dedicada a la automatización y control de calidad en la industria, quienes saben la necesidad que existe y el potencial de trabajo que demanda la evolución del país.

Control de potencia, regulación de consumo energético, transductores, actuadores, eficiencia, comunicación, ahorro financiero, etc., son los distintos temas que atiende la empresa antes mencionada, pero para ello se basan en el principal elemento utilizado para su control, PLC (Control Lógico Programable), siendo este un conjunto electrónico que cuenta con un CPU (Unidad de Procesamiento Codificado) quien realiza la función



de una computadora, logrando de esta manera acciones de procesamiento en nanosegundos lo que se traduce en controles increíblemente rápidos.

Con el acceso a estos avances tecnológicos, la instalación de una nueva planta de distribución de agua a distintas temperaturas para el área de teñido en la sección de producción RN6 de la empresa GILDAN Sula Textiles, es el proyecto planteado a la empresa contratista R y D Industrial, para el cual se realizó un levantamiento de la propuesta establecida. Dentro de la planta se necesitaba el control y automatización de cuatro bombas para distribuir agua caliente y seis bombas para la conducción de agua fría, cada una de 75 hp, además se debía tener control sobre el nivel de los tanques de almacenamiento de cada uno de los líquidos para no dañar las bombas que quedarían en vacío, "...una bomba de agua que da una altura máxima dará esa misma altura si está llena de aire o llena de agua." (Mataix, 1986) y el control de la presión dentro del lado de alta de las bombas para evitar sobrepresiones que puedan dañar la tubería del sistema a controlar. El control se llevaría a cabo por medio de un HMI\*/ PLC\* UniStream de UNITRONICS, siendo el primero para la visualización y la interacción del operador con el sistema y el segundo para la programación y comunicación entre los distintos componentes por medio del protocolo de comunicación MODBUS RTU/ASCII, también conocido como RS485, que son los siguientes: módulo de medición de energía, variador, módulo de temperatura, módulo de entradas y salidas digitales y el módulo de entradas y salidas analógicas.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

La apertura de una nueva planta llamada RN6 en GILDAN Sula Textiles debido a la gran demanda de producción, generó un nuevo proyecto de automatización de acuerdo a especificaciones que exige la maquinaria solicitada para el proceso de la industria textil. Ante la gran demanda de agua del proceso de teñido de la fábrica a distintas temperaturas en las nuevas instalaciones, fue necesario habilitar un nuevo centro de distribución que abasteciera al proceso en condiciones estables y constantes. Cabe mencionar que se cuenta con la presencia de tres paneles previamente instalados por R y D Industrial y dentro de ellos están situados diez variadores ABB AC550 para el control de las bombas, seis para el sistema de agua a temperatura ambiente y cuatro para el sistema de agua caliente, dos módulos para sensores de temperatura y dos PLC's, todos comunicados por medio del protocolo de comunicación Modbus RTU y cableados de acuerdo a la norma. Ver *Anexo 1*.

Después de aceptado el proyecto se prosiguió a realizar un ajuste PID con cada variador por parte de la empresa R y D. El PID realizara una estabilización de la presión regulando la frecuencia de las bombas hasta lograr mantenerse en un margen mínimo en el que la variación de la presión sea de pocas unidades.

### **2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA**

Para la implementación de métodos eficientes, ahorros energéticos y cuidado de la vida útil de la maquinaria se solicitó a R y D Industrial la automatización del sistema de distribución de aguas, caliente y fría, en la planta de industria textil RN6 dentro de las instalaciones de GILDAN Sula Textiles. Debido a la calidad del trabajo con el que la empresa realiza los proyectos y a la excelente reputación que han logrado en GILDAN

con trabajos desarrollados anteriormente se contactó a la empresa para el levantamiento de dicho proyecto.

Dentro de algunos de los procesos en la producción de materia textil se encuentran: tejido, teñido, secado, acabado, etc. De los antes mencionados el procedimiento del teñido es el que requiere el suministro de agua a condiciones específicas para generar un producto de igual o mejor calidad en menor tiempo.

Dentro de las condiciones requeridas están la presión entre 40 a 60 psi en ambas líneas de distribución y a una temperatura entre 60 a 70 grados centígrados en la tubería de agua caliente.

El sistema de distribución de aguas estaba instalado en un 100% en la parte mecánica-hidráulica y eléctrica, dentro de la estructura se encuentran dos tanques de almacenamiento, cada uno aproximadamente de 7 a 8 metros; la tubería por donde fluyen cada uno de los líquidos a diferentes temperaturas llegando hasta; la bomba, donde le imprime energía hidráulica al fluido y lo desvía; al colector o manifold, como lo describe el autor en su libro de reparación automotriz, "...componente que distribuye aire o mezcla de aire/combustible a cada cilindro del motor" (Hadfield, 2010). de cada uno de los sistemas para luego enviarlo a los tubos de distribución.

En el área de automatización solo se poseen algunos componentes como son: diez variadores ABB ACS550, dos módulos de temperatura para 4 entradas de sensor RTD, dos módulos de ocho entradas y salidas digitales, dos HMI/PLC UniStream® 7", diez sensores de presión, dos sensores de temperatura y lo necesario para poder habilitar el sistema de control como ser fuentes de poder, transformadores y borneras varias.

Al hacer el inventario de lo que se requería utilizar para la realización del proyecto, se detalla los requerimientos del cliente: realizar una secuencia de bombas para poder alcanzar la presión necesaria y lograr la estabilización de dicha presión, alternar el orden de las bombas entre maestra y esclavo mensualmente para asegurar la vida útil especificada por el fabricante la vida, además con esto no sobrecargará una maquina

en toda su vida útil y se logrará horas de trabajo uniformes y mantenimientos equitativos. Para la visualización y monitoreo se necesita una interfaz donde se pueda observar en el sistema, ya sea manual o automático, cada una de las variables que se necesiten medir. Sin antes olvidar el nivel de los tanques para poder operar las bombas de modo en el que fueron diseñadas, nunca dejándolas en vacío.

Para mantener una presión uniforme se requiere un control PID por cada una de las bombas utilizando las configuraciones del variador ABB.

## **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

Realizado el levantamiento del proyecto y finalizada de manera exitosa la prueba de los módulos, variadores ABB y el HMI/PLC Unitronics, se prosiguió a analizar las necesidades del proyecto.

1. ¿Qué sensores serán necesarios para el correcto control del sistema?
2. ¿Qué módulos serán necesarios para obtener la información de los sensores?
3. ¿De qué manera realiza la comunicación Modbus RTU el variador ABB?
4. ¿Cuál es la mejor variación que se necesitara en la secuencia para mantener la presión necesaria estable y evitar picos de corriente que afecten el consumo energético?
5. ¿Qué diseño será necesario para la interfaz humano-máquina consiguiendo un ambiente amigable y la manipulación correcta de los operarios?
6. ¿Cuáles son las variables a tomar en cuenta para que el sistema logre ser automatizado y con el monitoreo necesario para la empresa?

Extraídos los requisitos del proyecto, se procede a la ejecución de la investigación y cotización de los elementos electrónicos que serán utilizados.

## **2.4 OBJETIVOS**

Para poder puntualizar los objetivos, se debe empezar definiendo el termino mencionado anteriormente: " ... propósito, misión para un periodo determinado, definido de forma que se mida conforme a parámetros cuantitativos ... y que se controle para replantear las acciones de futuras metas, propósitos o misiones... " (Hernández & Pulido Martínez, 2011).

Por lo que el objetivo fundamental de la automatización es mejorar la productividad, la calidad de vida del usuario, el incremento de la seguridad y control, la simplificación de los procesos y los sistemas y la reducción de costos energéticos y de producción.

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el control de los sistemas de distribución de agua a diferentes temperaturas mediante un procesador electrónico y una interfaz amigable al usuario.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer una interfaz amigable y estética en el HMI UniStream donde el usuario pueda observar las variables necesarias para el monitoreo del sistema.
- Idear una lógica de programación por medio de programa de bloques para la secuencia y alternancia de las bombas como maestros o esclavos tomando en cuenta las variables de seguridad industrial.
- Analizar y seleccionar los sensores a utilizarse en los sistemas de distribución de agua fría y caliente para que cumplan con las condiciones requeridas.
- Diseñar una programación con lógica, de alarmas de mantenimiento, para el control de horas de trabajo de cada uno de los respectivos variadores y las bombas.

## **2.5 JUSTIFICACION**

Mantener un sistema sin control se vuelve un caso de falla impredecible, ya sean sobre presiones, altas temperaturas, vibraciones, sobre voltaje o sobre-corriente o fallas mecánicas, por lo que la implementación de un Controlador Lógico Programable (PLC) es de vital importancia en la industria, lo que hace una prioridad la aplicación en este proyecto.

De igual manera el abastecimiento de agua es el fundamental recurso que necesitan para realizar la producción. El control de ello trae consigo ahorros energéticos, lo que reduce los costos de producción.

Un diseño agradable y entendible al usuario genera la habilidad de un manejo fácil y rápido, de igual manera un monitoreo que no sea monótono, sino uno dinámico y detallado funda en el operador reacción rápida ante fallas y ubicación de los componentes o áreas que requieran supervisión.

Optimizando los procesos requiere de aplicaciones de ingeniería que nos llevaran a la solución y facilitación de sistemas complejos los cuales se aplicaran cuantos sean necesarios para cumplir lo que el cliente demanda.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 INDUSTRIA TEXTIL

En Honduras, la industria textil es uno de los principales sectores productores y además una de las principales fuentes de economía.

Honduras es el primer comprador mundial de hilados de Estados Unidos, lo que representa importaciones de mil millones de dólares, equivalentes al 23% de las ventas totales de hilados de EE. UU. Esto significa que nuestro país ha logrado una integración vertical de su industria textil, convirtiéndose en una potencia mundial de fabricación de textiles y prendas de vestir, y creando las condiciones para la competitividad a lo largo de la cadena de suministro. («Textile Mills – Asociación Hondureña de Maquiladores», s. f.)

Si se coloca en una escala cronológica el inicio de las industrias textiles, se puede ubicar en la época de la Revolución Industrial. Esta que puede definirse como una de las técnicas con mayor antigüedad, la cual trae consigo el desarrollo evolutivo a través de todos estos años, incluyendo los avances tecnológicos en cada uno de los procesos que conlleva este tipo de industria.

Para la elaboración de textiles se requieren una serie de procesos conlleva múltiples técnicas para la producción. Entre algunas de ellas están:

#### Tejido

Después de ingresados la materia prima de las fibras ya sean naturales o sintéticas, se requiere de la fabricación de tejidos. Antiguamente la maquina principal utilizada para tejer los hilos era el telar manual progresando a través de los años hasta llegar a la época del reconocido ingeniero mecánico e inventor James Watt, quien, en el año de 1788, desarrollo, junto a su colega, la primera fábrica de textil manipulada con vapor, siendo esto uno de los grandes avances del siglo XVIII, la era de la Revolución

Industrial. Ante el progreso que trajo esta época, se dieron los primeros avances de lo que en el presente se conoce como CNC (Control Numérico Computarizado), las tarjetas perforadas, sistema que tejía automáticamente un patrón de dibujo predeterminado llegando hasta las grandes industrias que existen el medio (Warshaw, s. f., p. 89.2).

Acabado

Para entender este proceso se necesita del conocimiento de la definición en la industria textil sobre esta: "calidad de un objeto en los detalles finales de su elaboración, especialmente en lo que se refiere a su aspecto " (ASALE, 2017).

### **3.1.1 PROCESO DE TEÑIDO O DE TINTURA**

Distribución de agua, es el primordial factor que influye en esta etapa de la industria textil, la falta de ella sería, tiempos de perdida de producción, paros de máquinas y deterioro de las mismas. Debido a que el proceso de teñido consume grandes cantidades de galones de agua, siendo la materia que se utiliza como solución a la mezcla entre químicos y la tela para darle color, es necesario un flujo y presión contante en dicha etapa. Y además tomando en cuenta los procesos de los sistemas de agua caliente y agua fría que sirven para la adaptación del teñido a las fibras textiles.

### **3.2 PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE)**

En cualquier sistema se pueden encontrar de dos tipos: lazo abierto y lazo cerrado. El primero se refiere a un sistema que no recibe ningún tipo de retroalimentación y el segundo al sistema que tiene información con la que puede perfeccionar el proceso realizado.

El control de grandes cantidades de información sería imposible realizarlo con contactores como antiguamente se realizaba, por lo tanto, procesar estos datos se realiza por medio de una pequeña computadora llamado microcontrolador el cual realiza complejos procesos por medio de su lenguaje interno que es binario.



Daneri (2008) define :“Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario” (p. 89).

Entre las salidas o entradas que encontramos en un PLC pueden ser digitales o analógicas y además la comunicación se puede encontrar de gran variedad de protocolos, en caso de no existir existen modulo expandibles para poder utilizarlos.

El PLC utilizado en el proceso es de la marca Unitronics, UniStream® 7"- PLC/HMI. Entre sus características se encuentran:

Variedad de opciones de E / S, incluida la medición de alta velocidad y temperatura.

Auto-tune PID.

Programas de receta y registro de datos a través de tablas de datos y muestreo.

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

Es el medio por el cual el usuario u operador puede controlar o manipular un sistema o un proceso de manera remota a cortas o largas distancias. Ante los beneficios que incluye esta tecnología se pueden incluir evitar daños a la persona por desperfectos o fallas, mayor control y monitoreo, creación de diseño amigables al usuario y desarrollo de sistemas complejos.

Informar al operador de lo que está sucediendo en la instalación se volvía cada vez más difícil de mostrar físicamente. Por lo que ahora no basta un indicador, sino que debe ir en conjunto con una imagen de la maquinaria o del proceso. Evitando con esto el aburrimiento y la fatiga de una pantalla monótona (Penin, 2012).

En el caso de la aplicación del proyecto se utilizará un PLC/HMI el cual trae ambas funciones como lo dice su nombre de tal modo que funciona como controlador y utiliza el HMI para realizar la interfaz entre el usuario y la máquina. Ver *Ilustración 1*.



**Ilustración 1. UniStream® 7"- PLC con HMI táctil de alta resolución**

Fuente: Página oficial UNITRONICS

### **3.4 COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**

El hecho de tener un mejor control sobre los sistemas, mejorar la calidad de los productos, generar mayores ingresos, reducir los costos de producción y la centralización del estado de las máquinas, da lugar a poder intercomunicar cada uno de los dispositivos de control y extraer la información que nos es necesaria para inspeccionar el correcto estado de lo que se desee monitorear.

Dentro de la industria encontramos distintos tipos de comunicación como ser: alimentación, transmisión de datos, telefonía, internet, etc. Pero al encontrarse esta gran variedad y distintas funciones, trae consigo consecuencias ventajosas y nocivas para algunos sistemas de comunicación. Las consecuencias perjudiciales normalmente se dan de manera natural, haciendo mención a las más conocidas como es la interferencia magnética y los ruidos eléctricos los cuales generan armónicos en los medios de transmisión de datos y afectan la información que se transmite por este tipo de comunicación.

### 3.4.1 SISTEMAS DE MEDIOS FÍSICOS DE COMUNICACION

Para poder enviar información necesitamos de un elemento físico por el cual pueda ser trasladada la información de un punto a otro. La comunicación entre dos puntos requiere que el mensaje enviado por el emisor pueda ser recibido y entendido por el emisor valiéndose de las características de elementos que pueden usarse como medio de transporte de la energía que contendrá la información.(Rodríguez Penin, 2008)

Los medios físicos que se encuentran en la industria se enumeran los siguientes:

#### ∞ Cable Eléctrico

Es el medio más común, es un hilo metálico asilado el cual transporta electrones a través de su cuerpo logrando así llevar energía potencial eléctrica de un punto a otro (Tipler & Mosca, 2005).

“El diseño del cable puede ser muy variado de acuerdo a las aplicaciones: par simple paralelo: utilizado en telefonía y alimentación, par apantallado: el cual a diferencia del anterior está revestido por una malla metálica a su alrededor evitando ruido, siendo ventajoso en la transmisión de señales analógicas y digitales, par trenzado, y par coaxial: siendo este un hilo conductor recubierto por una malla haciendo el fin de masa y además como protección de interferencias eléctricas” (Rodríguez Penin, 2008). Cada una de este tipo de ingeniería en el esquema de los cables se aprovecha para los distintos tipos de ambientes que puedan afectar la información transmitida entre uno o más elementos.

#### ∞ Fibra Óptica

El conductor de fibra óptica realiza la comunicación por medio de pulsos de luz recorriendo un medio reflectivo ya sea plástico o cristal evitando de esta manera perdidas de fotones (Tomasi, 2003). Al incluir la luz como vía de transmisión se adquiere las características intrínsecas de la luz: la velocidad, ubicando a este

método de comunicación como el más rápido, adquiriendo 300,000 km/h como velocidad de transmisión de datos.

#### ∞ Radiofrecuencia

Valiéndose de las ondas de radio "... que se generan en un conductor eléctrico cuando se supera una cierta frecuencia en la señal que transporta dicho conductor" (Rodríguez Penin, 2008). Al ser frecuencias bajas, las ondas de radio empleadas en la industria, se limita a distancias más cortas que las generadas por un satélite.

### **3.4.2 SISTEMAS TRANSMISION DE SEÑAL**

Además de tener un medio físico por el cual se envía información se necesita una variable con la que se determine la existencia de información o la variación que existe. En el caso de un conductor dotándolo de energía eléctrica se pueden analizar distintas propiedades naturales en el fenómeno eléctrico empleando una ley vital en los sistemas eléctrico: La Ley de Ohm. Analizando la ley de Ohm se observan tres variables a considerar, nivel de tensión, corriente eléctrica y resistencia eléctrica. Adquiriendo una ley con variables interdependientes, se deduce que al variar el valor de una propiedad se alteran las demás de una forma proporcional. Tomando ventaja de estas propiedades se analizan los sistemas de la siguiente manera:

#### **3.4.2.1 NIVELES DE TENSIÓN**

En la industria, las conexiones se realizan en serie utilizando la topología de bus estandarizada por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos (EIA). Las normas de este estándar solo determinan las características del sistema de conexión y de cómo debe ser la señal eléctrica.

El inconveniente de este método es que a grandes distancias hay caída de tensión por la impedancia del cable y las pérdidas de calor que se disipan por el conductor, cumpliendo la ley de Ohm mencionada transmitiendo la señal, erróneamente y no de acuerdo al estándar.

## ∞ RS 232

Esta norma define la interconexión serie entre un dispositivo transmisor de datos (DCE, Data Communication Equipment) y un receptor de datos (DTE, Data Terminal Equipment).

Cuenta con propiedades específicas tales como:

- Velocidad: 300,600, 1 200,2400,4800,9600,19200, 38400 bps, ...
- Longitud: Máxima longitud de 15m, utilizando cables con capacitancia menor a 2500Pf.
- Interfaz: Capaz de soportar un cortocircuito de manera indefinida entre cualquiera de sus pines.

En un principio, el protocolo RS232 estaba orientado a conexiones punto a punto (conexión es PC-impresora, PC- ratón, PC- módem), se ha introducido en el entorno industrial para la comunicación entre captadores y sistemas de adquisición de datos, sistemas de codificación, pesaje, etc.

Ante la falta de alta impedancia no lo hace adecuado para la comunicación en paralelo por lo que la conexión es punto a punto.

Entre las limitaciones que afectan este sistema se reconocen las siguientes:

- Extensión del cable

La distancia entre dispositivos es muy variada en la industria, por lo que, en este sistema, al requerir mayor longitud de conductor, la capacitancia aumenta desapareciendo los armónicos de la onda cuadrada de acuerdo al efecto de filtro pasa baja que se genera, perdiendo flancos, bit de paro y marcha, etc.

- Perturbaciones Eléctricas

los niveles binarios de la señal se indican mediante niveles de tensión, positiva y negativa, respecto del punto de potencial común (+10V, - 10V). Esto es un punto

desfavorable, pues este tipo de transmisión es susceptible de introducir fallos de transmisión frente a las perturbaciones eléctricas.

- Velocidad de transmisión

El aumento de la velocidad implica acortar la duración de bit, lo cual implica menor tolerancia a la pérdida de sincronismo, a la deformación de la onda cuadrada y al ruido en la línea.

#### ∞ RS 485

Es una evolución del RS422, es la configuración de hardware (capa 1, la capa física de OSI) más extendida para los buses de campo.

Se basa en la transmisión de señal por tensión diferenciales sin referencia a tierra o masa. Restando las dos señales recibidas se anula la interferencia de ambas.

Sus principales características son:

- Se permiten conectar hasta 32 estaciones.
- Resistencias de adaptación en extremos.
- Rango de velocidades que abarca de 9600Bit/s a 12MBit/s.
- Cable de par trenzado apantallado.
- Según velocidad, hasta 1200m de distancia de transmisión.
- Buena inmunidad a las interferencias al tratarse de señales de diferencia de tensión.

#### **3.4.2.2 BUCLE DE CORRIENTE**

Este sistema utiliza la variación en la corriente como variable para la transmisión de información, empleando el estándar de 4 a 20mA. El bucle analógico de corriente permite transmitir a gran distancia sin pérdida o alteración de la señal. Además de enviar datos, el conductor permite de la misma manera suministrar potencia al dispositivo con el que se comunica (Rodríguez Penin, 2008).

Rodríguez Penin (2008) afirma:

La alimentación de la red proviene de una fuente 10-30V DC. El transductor de campo controla el flujo de corriente (generalmente se les conoce por la denominación de transmisores de dos hilos). El paso de corriente a tensión es sencillo. Mediante una resistencia de 100ohm obtenemos los niveles de tensión equivalentes. Su aislamiento galvánico es igual de sencillo mediante optoacopladores. (p.11)

Características del Sistema de Bucle de Corriente:

- Transmisión a largas distancias.
- Detección de fallos de sensores.
- Red económica (2 hilos).
- Alta inmunidad a interferencias electromagnéticas.

### **3.4.2.3 SEÑAL MODULADA**

Ocupando grandes distancias para la comunicación la transmisión de datos por el método de variación de los niveles de tensión se vería afectado por la resistencia del cable obteniendo una señal casi nula. Por lo tanto, para este tipo de situaciones se requiere de una técnica distinta, mediante una señal oscilante.

En este sistema la línea de alimentación incluye también la comunicación con los nodos de la red. Como cada nodo tiene un consumo en reposo, del orden de pocos miliamperios, puede conmutar su estado entre dos niveles, alterando las características de impedancia de la red y generando caídas de tensión detectables por los demás nodos.

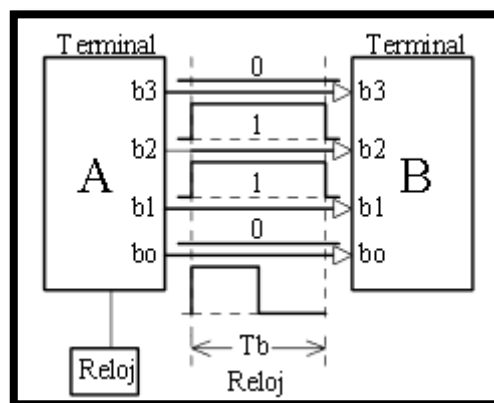
### **3.4.3 ESTRUCTURAS BASICAS EN LA COMUNICACIÓN**

La transmisión de datos se puede realizar por un par de conductores, una vía, o por varias líneas simultáneamente dando lugar a dos tipos básicos de transmisión:

### 3.4.3.1 TRANSMISION DE DATOS EN PARALELO

Es utilizada en los ordenadores en sus buses de comunicaciones internos y en algunos casos para la comunicación con algunos dispositivos periféricos (como la impresora). Los buses de datos en paralelo transmiten simultáneamente 8, 16 o 32 bits. En este tipo de comunicación cada bit de datos y cada señal de control dispone de una línea dedicada del bus. Para transmitir una palabra completa de 8 bits se necesitan 8 líneas de datos. Junto con estas líneas de datos, también son necesarias líneas de control de flujo. La transmisión de datos en paralelo permite alcanzar altas velocidades en la transferencia de datos, pero su cableado e interfaces resultan más costosos que los de una transmisión serie. La contrapartida es que este tipo de conexiones es muy vulnerable a las interferencias electromagnéticas por lo que se utiliza en distancias muy cortas de transmisión de datos (C. G. M. Alonso et al., 2017).

En la *Ilustración 2*, muestra que cada bit tiene una su línea de transmisión en consecuencia se pueden enviar cuatro bits simultáneamente del punto A al punto B.



**Ilustración 2. Transmisión de Datos en Paralelo**

Fuente:(Rodríguez Penin, 2008)

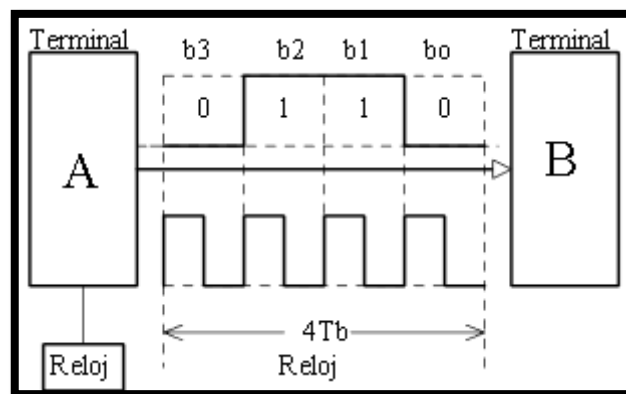
### 3.4.3.2 TRANSMISION DE DATOS EN SERIE

C. G. M. Alonso et al. (2017)afirma:



La transmisión de datos se realiza bit a bit, secuencialmente, por la misma línea, junto con los bits de control de la transmisión, utilizando sólo dos conductores. Dado que los bloques de información se transmiten de manera secuencial y no simultánea, la velocidad de transferencia de los datos es mucho menor que en el caso de la transmisión de datos en paralelo, para la misma tasa de transferencia de bits. (p. 48)

Se muestra en la *Ilustración 3* la forma de transmisión serie por una sola línea de transmisión. Los dígitos binarios se transmiten uno detrás del otro requiriendo un tiempo en segundos para transmitir el grupo binario.



**Ilustración 3. Transmisión de Datos en Serie**

Fuente:(Rodríguez Penin, 2008)

Para sincronizar el emisor y el receptor existen dos métodos que se pueden emplear:

- Asíncrono

La velocidad de transmisión debe ser la misma en ambos puntos, emisor y receptor. Una señal inicia el inicio del mensaje para que después de esta, el receptor realice el muestreo del mensaje a codificar. Al realizar transmisión a la misma velocidad se requiere de precisión en el método de muestreo, periodos de reloj constantes en el tiempo.

- Síncrono con reloj

Una señal de reloj adicional indica al receptor los instantes de muestreo de señal. Este método requiere una línea de comunicación adicional. La ventaja de este método es que el receptor solo debe seguir los flancos de la señal de reloj, y éste no tiene por qué ser preciso. (Rodríguez Penin, 2008)

En resumen,

el intercambio o compromiso principal entre la transmisión paralela y la transmisión serie es la velocidad contra la simplicidad (costo). La transmisión paralela es mucho más veloz que la transmisión serie, pero es más costosa por el número de líneas que utiliza. Como regla general, la transmisión paralela se utiliza para transmisión a corta distancia (unos cuantos metros) o dentro de equipos, y la transmisión serie para la comunicación a largas distancias. (Briceño M., 2005, p. 157).

#### **3.4.4 TIPOS DE RED**

Dentro de toda una industria podemos encontrar una gran cantidad de dispositivos interconectados ya sean, PLC, módulos, couplers, HMI, sensores, actuadores, etc., para realizar las funciones necesarias en los procesos, y cada uno de estos dispositivos puede pertenecer a una arquitectura de distinta por o medios de transmisión variados por lo que los métodos de comunicación serán variados de acuerdo a las exigencias del ambiente donde será empleado.

Las redes las podemos encontrar ya sea centralizadas o distribuidas.

En las redes centralizadas los dispositivos son dependientes de un equipo central (Host) que controla todo el sistema. Existiendo fallo en la terminal de un dispositivo el sistema no pierde comunicación en las demás conexiones, pero si el Host sufre algún daño la comunicación caerá en toda la estructura.

En Las redes distribuidas pueden existir subsistemas trabajando individualmente, comunicados y separados totalmente. Siendo una ventajosa comunicación ya que

cayéndose una de las comunicaciones el resto del sistema seguirá trabajando normalmente.

#### **3.4.4.1 Según la Forma (Topología)**

La forma de la red se refiere a la manera en que están estructurados los dispositivos en relación a su disposición alrededor del medio de transmisión de datos. En la *Ilustración 4* se ejemplifica cada una de las siguientes redes.

##### ∞ Bus (Barra)

Es de las distribuciones más sencillas y básicas en la topología de red, todos los elementos están conectados conjuntamente en una misma línea de transmisión. "Esta topología se implementa fácilmente y el fallo de un nudo o elemento no provoca avería en la red" (Schneider Electric, s. f., p. 203). Este tipo de red es utilizada en aplicación entre máquina-sensor. El modo de transmisión es aleatorio, pero al realizarse transmisiones simultáneas (colisiones) existe un algoritmo especial que solventa el problema.

##### ∞ Punto a Punto

Llevar información entre dos dispositivos se facilita con este método, ya que solo existiendo comunicación entre ellos las colisiones son casi nulas. Entre dos elementos no es necesario colocar la dirección al lugar que será enviado el mensaje, además la comunicación puede ser bidireccional y mucho más rápida con un cableado o estructura sencilla. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2009, p. 41). Los inconvenientes de esta red son la distancia, pocas estaciones y la necesidad de múltiples tarjetas de comunicación.

##### ∞ Anillo

Las estaciones conectadas entre sí forman un circuito cerrado de comunicación, por esta razón N. O. Alonso & Vvaa (2013) afirma:

“ Los datos que se introducen en el sistema de anillo circulan a su alrededor hasta que algún nodo los retira. Todas las estaciones tienen acceso a los datos y se puede realizar un reparto equilibrado de la capacidad de transmisión, con un tiempo de respuesta limitado y buena gestión de las averías ”(p. 34).

Los dispositivos en lazo cerrado dependen uno de otro para la comunicación por lo que el fallo o caída de uno de ellos paraliza la comunicación.

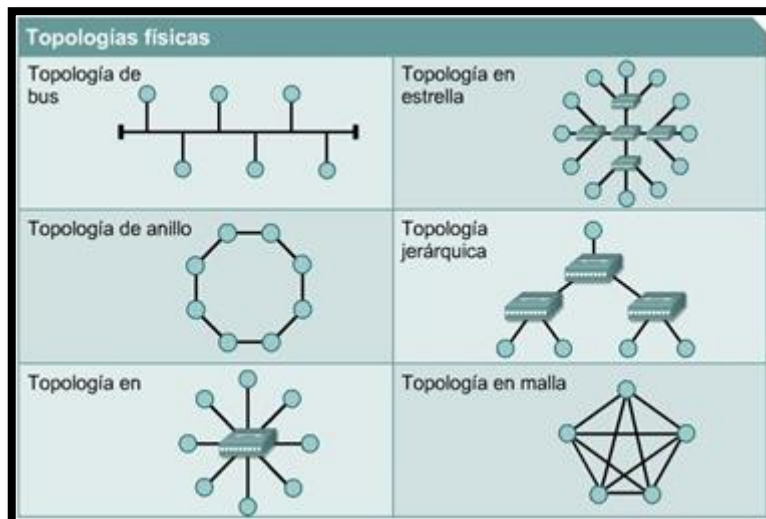
#### ∞ Estrella

La topología de estrella es conveniente para instalaciones centralizadas física y lógicamente. Permite transmisión por conmutación y un enrutamiento muy fácil y flexible por el nodo central al que se conectan llamado “Hub” que conoce todas las trayectorias posibles para el mensaje (Briceño M., 2005). El inconveniente de este sistema es la caída del Hub que inhabilitaría la conexión.

#### ∞ De Jerarquía o de Árbol

Mencionando el sistema jerárquico de red, C. G. M. Alonso et al.(2017) afirma:

“ Esta configuración consiste en una serie de derivaciones que en general convergen en un punto. ...sólo hay una ruta de transmisión entre dos estaciones. La configuración se obtiene con varias redes en bus vinculadas entre sí mediante repetidores ”(p. 52).



**Ilustración 4. Topología de Redes**

Fuente: Cisco Networking Academy

### 3.4.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACION

Para realizar un intercambio de información se necesita una serie de reglas y convenciones que deben seguir los dispositivos interconectados para transmitir y recibir información. A Estos arreglos se les llama protocolo. El objetivo de cualquier protocolo de comunicación es mantener y asegurar la comunicación entre dos equipos, permitiendo que la información fluya bidireccionalmente sin fallos.

Los protocolos están basados en un método estándar para proporcionar una base común para relacionar todas las redes informáticas, a este se le llama modelo OSI (Open System Interconnection) creado por la organización ISO (International Standards Organization). El modelo OSI divide su estructura en 7 capas atendiendo los siguientes principios:

Cada capa soporta un protocolo independiente de las otras capas.

Cada capa proporciona servicios a la capa inmediatamente por encima de ella.

Cada capa requiere los servicios de la capa inmediatamente debajo de ella.

La capa 1 describe el soporte de comunicación.

La capa 7 proporciona servicios al usuario o a una aplicación (Schneider Electric, s. f.).

Prácticamente cualquier protocolo puede integrarse, en mayor o menor medida, en cualquier nivel de la famosa Pirámide de Automatización (CIM, Computer Integrated Manufacturing), pero la gracia está en encontrar la relación prestaciones/precio ideal, y el equilibrio entre varias tecnologías que permitan complementarse unas a otras. No hay un bus mejor que otro, sino que, dependiendo de la aplicación, hay unos buses más adecuados que otros. A la hora de decantarse por uno u otro bus, deberán tenerse en cuenta algunos de los siguientes puntos:

- Coste por nodo de bus.
- Coste de programación (o desarrollo).
- Tiempos de respuesta. o Fiabilidad.
- Robustez (tolerancia a fallos).
- Modos de funcionamiento (Maestro esclavo, acceso remoto).
- Medios físicos (cable, fibra óptica, radio...).
- Topologías permitidas.
- Gestión.
- Interfaces de usuario.
- Futuro (o lo que es lo mismo, normalización) (C. G. M. Alonso et al., 2017).

#### **3.4.5.1 ModBus**

El protocolo indagado en la investigación y aplicado en el proyecto es llamado ModBus. Es el protocolo con mayor antigüedad, fue introducido para la industria en 1979 por la empresa Gould Modicon (ahora AEG Schneider Automation) utilizando comunicaciones en serie para sistemas de control de proceso(SCADA) por medio del método de comunicación Master-Slave y Cliente-Servidor entre dispositivos inteligentes (PLC's) y dispositivos de campo (sensores y actuadores), ya sea para transmitir señales analógicas y registro de los elementos, o el monitoreo de cada uno de ellos.

Existen dos implementaciones de Modbus:

#### ∞ Modbus serie

Los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión: en modo RTU y en modo ASCII. El modo RTU, algunas veces denominado Modbus-B (por Modbus Binario), es el tipo más común. En el modo de transmisión ASCII los mensajes generalmente son de duración casi del doble que en el modo de transmisión RTU.

Empleando este protocolo, una Estación Maestra (MTU) puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. (Briceño M., 2005)

La principal aplicación de este protocolo es la comunicación por medio de radio de los dispositivos presentes en campo, RTU (Remote Terminal Unit), principalmente en estaciones de tratamiento de aguas, gas o instalaciones petrolíferas. Actualmente se utiliza en domótica o en control de procesos como climatización, control de procesos, bombeos, etc.

Define una estructura de mensaje que los controladores podrán reconocer y utilizar sin tener en cuenta el tipo de red que éstos utilizarán para comunicarse. Durante las comunicaciones llevadas a cabo en una red Modbus, el protocolo determina cómo cada controlador reconocerá las direcciones, si un mensaje está dirigido a él, determinar la acción a llevar a cabo y extraer los datos del mensaje. De la misma manera se define el protocolo y acciones de respuesta.

Modbus hace servir RS- 232C o RS-485, que define las características físicas de la conexión. La comunicación es del tipo Maestro- Esclavo. Modbus emplea el principio Maestro-Esclavo incluso en la modalidad punto a punto. Si un controlador origina el mensaje, lo hace como Maestro, y espera una respuesta de tipo Esclavo. Si a un controlador le llega una petición de otro, éste reconstruye la respuesta como si fuera un Esclavo.

El Maestro puede realizar comunicaciones punto a punto con un único esclavo, o utilizar mensajes de tipo general (broadcast). El protocolo establece el formato del mensaje del Maestro, colocando la dirección, el código de la acción a realizar, datos adicionales y un campo de verificación de errores de transmisión.

La respuesta del esclavo se construye de la misma manera; los campos de confirmación de la acción propuesta, datos adicionales y control de errores. Caso de error de recepción o imposibilidad de llevar a cabo la acción propuesta por parte del esclavo, éste devuelve un mensaje de error específico.

Los controladores de una red pueden comunicarse mediante la técnica punto a punto, siendo cualquiera de estos el que puede iniciar el diálogo con los otros controladores. De esta manera un controlador puede funcionar como Maestro o Esclavo en comunicaciones independientes.(C. G. M. Alonso et al., 2017)

La comunicación Maestro-Esclavo se realiza por medio de un mensaje de interrogación (query) que incluye un código que indica al esclavo destinatario el tipo de acción a tomar. Los bytes de datos contendrán toda la información necesaria para que el esclavo pueda realizar la acción propuesta, y el campo de verificación proporciona un medio de comprobar que la información recibida es correcta.

La respuesta normal de un esclavo devuelve el código de acción enviado por el maestro, los datos recopilados y el estado. Si hay un error, se modifica el código de función para indicar este hecho y los datos contienen información acerca del error.

Para definir los modos de transmisión, sus características y contrastarlos se detallan a continuación cada uno de ellos:

**Tabla 1. Modbus ASCII vs. RTU**

ASCII	RTU
-------	-----



<b>Caracteres</b>	2 caracteres ASCII	2 caracteres Hexadecimales
<b>Codificación</b>	Hexadecimal (0...9, A...F)	Binaria, Hexadecimal(0...9, A...F)
<b>Estructura del Mensaje</b>	1 Caracter decimal-1 Carácter ASCII	2 Caracteres Hexadecimales – 1 Byte
<b>Start Bit</b>	1	1
<b>Menor Peso</b>	8bits	8bits
<b>Paridad</b>	1 caso contrario 0	1 caso contrario 0
<b>Stop Bit</b>	1 con paridad 2 sin paridad	1 con paridad 2 sin paridad
<b>Campo de Verificación de Error</b>	Check Field	Check Field
<b>Verificación de Redundancia</b>	Longitudinal (LRC)	Cíclica (CRC)

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

En RTU, los mensajes comienzan tras un silencio de, por lo menos, 3.5 caracteres. A continuación, viene la dirección del dispositivo. El proceso es el mismo; los elementos de red monitorizan ésta a la espera de un silencio, decodificando a continuación el

dato de dirección. Un intervalo similar marcará el fin del mensaje. De este modo se observa que un mensaje debe transmitirse de manera continua para no generar errores de transmisión.

Un mensaje Modbus se coloca dentro de la trama a enviar en un lugar concreto. Esto proporciona a los receptores la información necesaria para localizar la cabecera, determinar el destinatario y detectar el final del mensaje. De esta manera, los mensajes parciales se informan como errores de transmisión.

Las direcciones que existen son 0 a 247, pero las que pueden ser asignadas a los esclavos van desde 1 a 247, la dirección 0 pertenece a broadcast.

Los códigos de función contienen dos caracteres (ASCII) o 8 bit (RTU) y van desde 1 a 255 (lectura o actualización de señales de E/S, lectura de diagnóstico, carga o descarga de programa, etc.). El esclavo devolverá el código recibido y los datos, si todo ha ido bien, o un código de error con información sobre el mismo. La aplicación implementada en el Maestro deberá gestionar los errores recibidos (repetir las peticiones, activar rutinas de diagnóstico o avisar a los operadores).

**Tabla 2. Descripción de Comunicación Modbus**

<b>Denominación</b>	Modbus RTU/ASCII, Modbus Plus, Modbus TCP/IP
<b>Soporte</b>	Modbus- IDA
<b>Topología</b>	bus, estrella, árbol
<b>Medio</b>	Par trenzado, RS- 232, RS- 485
<b>Elementos</b>	Modbus Plus: 32 nodos por segmento y 64 segmentos. RTU/ASCII: 250 nodos por segmento.

<b>Distancia</b>	Modbus Plus: 500 m. por segmento. RTU/ASCII: 350 m TCP/IP: 100 m entre switches
<b>Comunicación</b>	Maestro/Esclavo o Cliente/Servidor
<b>Velocidad</b>	Modbus Plus:1 Mb/s RTU/ASCII: 300 b/s- 38.4 kb/s TCP/IP: 100 Mb/s
<b>Datos/paquete</b>	Modbus Plus: variable RTU/ASCII: 0- 254 bytes TCP/IP: 1.500 bytes

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

∞ Modbus/TCP: utiliza la pila de protocolos TCP/IP para transmitir la información. Ayuda a reducir los costes de conexión y a potenciar las prestaciones, la fiabilidad y la funcionalidad. Su velocidad no frena las aplicaciones y su arquitectura permite una modernización fácil. Los productos y el software son compatibles, por lo que los sistemas se caracterizan por su durabilidad. (Schneider Electric, s. f.)

### 3.5 MECANICA DE FLUIDOS

Al existir la necesidad de hacer que un fluido siga una trayectoria a través de un área específica y saber el comportamiento que tendrá se hace preciso el uso de una de la rama de la mecánica llamada mecánica de fluidos, la cual Martínez & Estornell (2014)

afirma: "...estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, hidrostática, y en movimiento, hidrodinámica" (p. 9). Esta ciencia brinda valiosas fórmulas físico-matemáticas, las cual pueden analizar con gran precisión los sistemas hidráulicos. La mecánica de fluidos analiza fluidos compresibles e incompresibles, pero en esta investigación se enfocará el análisis en los fluidos incompresibles, que es uno de los elementos a tratar.

### **3.5.1 FLUIDOS**

El movimiento que existe en canales o tuberías es debido a propiedades que poseen los elementos fundamentales llamados fluidos. Un fluido se define como una sustancia que adopta la forma del recipiente que lo contiene por lo que carece de forma. Por lo que el fluido puede reordenar sus moléculas sin alterar sus propiedades (Martín Domingo, 2011).

### **3.5.2 DENSIDAD**

Masa por unidad de volumen, así se define la densidad. (Ortíz, 2006) explica que siendo un fluido homogéneo el analizado la densidad no varía de un punto a otro definiéndose de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

#### **Ecuación 1. Densidad**

Fuente:(Ortíz, 2006)

Siendo:  $\rho$ : Densidad

m: Masa

V: Volumen

### 3.5.3 PRESIÓN

Una de las variables vitales para el estudio de los fluidos estáticos o dinámicos, y de los sistemas hidráulicos ya sean desde los más simples hasta los más complejos. La presión se define como la fuerza perpendicular por unidad de área siendo una magnitud escalar.

$$P = \frac{F}{A}$$

#### **Ecuación 2. Presión.**

Fuente:(Wilson & Buffa, s. f.)

Siendo:  $P$ : Presión

$F$ : Fuerza normal a la superficie

$A$ : Área

### 3.5.4 HIDROSTATICA

Llamada también estática de fluidos, es el área de la mecánica de fluidos que trata los fluidos en reposo. Las partículas tienen una velocidad nula. El fluido en reposo no tiene fuerzas tangenciales que ocasionen el movimiento, por lo tanto, la fuerza ejercida sobre la superficie que contiene el fluido es perpendicular a ella. La fuerza por unidad de superficie dependerá del punto de la superficie.

Analizando un fluido contenido en determinado recipiente: no existiendo fuerzas más que la gravedad actuando sobre el sistema en reposo, la presión se compensara para que goce de equilibrio. La presión en un fluido incompresible la densidad no depende de la presión, por lo tanto, es posible describir el problema en función de la profundidad respecto a la superficie que aumenta según la altura.

$$dp = -\rho g dz, \quad \rho g dz = \rho g dh$$

#### **Ecuación 3. Diferenciales de Presión**

Fuente:(Jiménez, 2011)

La ecuación se puede integrar con facilidad entre la superficie libre y un punto a una altura  $h$ :

$$\int_0^h dp = p - p_{atm} = \int_0^h \rho g dh = \rho gh$$

#### **Ecuación 4. Integrales de Diferenciales**

Fuente:(Jiménez, 2011)

Escribiéndose de la siguiente manera:

$$p(h) = p_{atm} + \rho gh$$

#### **Ecuación 5. Presión Absoluta**

Fuente:(Jiménez, 2011)

La ecuación general de la hidrostática sería:

$$p_2 - p_1 = \rho g(h_2 - h_1) = \rho g(z_2 - z_1)$$

#### **Ecuación 6. Ecuación de la Hidroestática**

Fuente:(Jiménez, 2011)

Principio de Pascal

Cuando se incrementa la presión sobre una superficie abierta a un fluido incompresible en reposo, como lo explica Wilson & Buffa (s. f.): "presión aumenta en cualquier punto del fluido en la misma cantidad" (p. 315), de la misma manera se aplica a un fluido encerrado que se ve afectado por una presión aplicada al mismo. Por lo que, En un fluido incompresible, las variaciones locales de presión se transmiten íntegramente a todos los puntos del fluido y en todos los sentidos, así como a las superficies en contacto con el fluido.

### 3.5.5 HIDRODINAMICA

Es de vital importancia conocer y analizar la trayectoria que sigue un fluido, debido a las demandas que exigen los procesos de un sistema cualquiera, ya sea por valores de presión o flujo específicos. Por lo tanto, si se quiere estudiar el movimiento de cualquier fluido, existen factores que determinan la posibilidad del fluido de poder moverse de una manera u otra. Pero para facilitar los análisis en un sistema hidráulico se considera un fluido ideal y sin complicaciones ni pérdidas significativas. Para la aplicación de este proyecto se considera un fluido ideal el cual tiene las siguientes características; constante: implica que todas las partículas de un fluido tienen la misma velocidad al pasar un punto dado, irrotacional: se refiere a que un elemento de fluido (volumen pequeño del fluido) no posee una velocidad angular neta: esto elimina la posibilidad de remolinos y el flujo no es turbulento, no viscoso: viscosidad insignificante, incompresible: implica que la densidad del flujo es constante.

El fluido utilizado es agua y cumple con las características anteriores logrando resultados que se aproximan a las situaciones reales, por medio de las leyes de conservación de la energía y las leyes de conservación de la masa.

#### 3.5.5.1 Ecuación de Continuidad

Aplicando la ley de conservación de la masa, se puede determinar: si la masa determinada de un fluido entra en un tubo en un tiempo dado, la masa que sale del tubo debe ser la misma en el mismo tiempo:

$$\Delta m_1 = \rho \Delta V_1 = \rho A_1 \Delta x_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t$$

$$\Delta m_2 = \rho \Delta V_2 = \rho A_2 \Delta x_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t$$

Debido a que la masa se conserva,  $\Delta m_1 = \Delta m_2$ , obteniendo

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2, \text{ siendo densidad constante}$$

se determina la ecuación de continuidad para un fluido incompresible:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

### **Ecuación 7. Ecuación de Continuidad**

Fuente:(Wilson & Buffa, s. f.)

Siendo  $A$ , el área de la sección transversal del tubo y  $v$  la velocidad media transversal del fluido, el flujo  $Q$  que atraviesa un de fluido a cierta velocidad a través de un área determinada.

#### **3.5.5.2 Ecuación de Bernoulli**

En este caso se emplean las leyes de la conservación de la energía para analizar el movimiento de un fluido El matemático en deducirla fue el suizo Daniel Bernoulli quien plantea la siguiente ecuación:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

### **Ecuación 8. Ecuación de Bernoulli**

Fuente:(Jiménez, 2011)

Según lo plantea Bernoulli para cualquier aplicación, en una región con área transversal menor, la velocidad de flujo es mayor, la presión en esta región es menor que en otras regiones. Pero si la diferencia de altura es insignificante logramos obtener la ecuación de la hidrostática.

## **3.6 MAQUINAS HIDRÁULICAS**

Para entender el dispositivo a utilizado en el proyecto se comenzará definiéndolo Robles & Parra (2008) afirma: "es un sistema mecánico que intercambia energía mecánica con el fluido que está contenido o que circula a través de él" (p.2). La invención de este preciado elemento en hidráulica tiene un inicio desde tiempos históricos desde antes de Cristo, pero la atribución se puede realizar al ingenio y creatividad de Leonardo da Vinci en la época del Renacimiento dando a conocer la primera bomba centrífuga.



### 3.6.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MAQUINAS HIDRÁULICAS

En este caso por el enfoque del proyecto la clasificación se hizo de acuerdo al principio de funcionamiento de la maquina:

#### ∞ Maquinas rotodinámicas o turbomáquinas

Son en las cuales el intercambio de momento (cantidad de movimiento) se genera entre el fluido y la maquina por medio de rotor.

#### ∞ Máquinas de desplazamiento positivo o volumétricas

En las que el intercambio de energía es en forma de presión mediante el paso del fluido a través de una cámara de trabajo, en la que entra y sale un proceso alternativo (embolo, engranajes, levas, tornillos, etc.).

#### ∞ Máquinas gravimétricas

Maquinas cuyo intercambio de energía sea de tipo potencial gravitatoria, como los elevadores cangilones, rueda hidráulica o tornillo de Arquímedes.

### 3.6.2 ELEMENTOS DE UNA TURBOMÁQUINA HIDRÁULICA

La principal característica de una turbomáquina hidráulica es su aplicación solo a fluidos incompresibles. Este tipo de máquina, para poder realizar con mínima perdida el intercambio de energía, necesita de dos elementos básicos: Un elemento fijo (estator), contiene la carcasa y los canales, y otro dinámico (rotor), por medio de velocidad angular genera un cambio de energía. En el estator se pueden distinguir varios componentes:

∞ Distribuidor. Elemento que conduce el fluido (de entrada) hacia el rodete en condiciones apropiadas. En las bombas, es llamado conducto de admisión o aspiración.

∞ Difusor. Es el área que recoge el fluido que sale del rotor y lo dirige de forma eficiente para recuperar presión y reducir velocidad.

∞ Voluta. Es el canal de sección creciente (bombas) o decreciente (turbinas) que rodea el rotor para recoger el fluido que sale del mismo en el caso de las bombas

o distribuyéndolo en la periferia de las turbinas. En las turbinas llamarle caja espiral, popularmente denominado caracol.

### 3.6.3 TIPOS DE TURBOMÁQUINAS SEGÚN EL ROTOR

- ∞ Maquinas radiales. Es en la cual las trayectorias de las partículas fluyen de manera perpendicular a los planos del eje como por ejemplo las bombas centrifugas.
- ∞ Maquinas Axiales. Las líneas de corriente están contenidas en superficies de revolución paralelas al eje, esto es, cilíndricas.
- ∞ Máquinas mixtas o heliocentrífugas (en bombas) o heliocentrípetas (en turbinas). Máquinas que contienen las trayectorias en superficies de revolución no cilíndricas, por lo que se acercan o alejan del eje, a la vez que tienen una componente importante paralela a dicho eje.

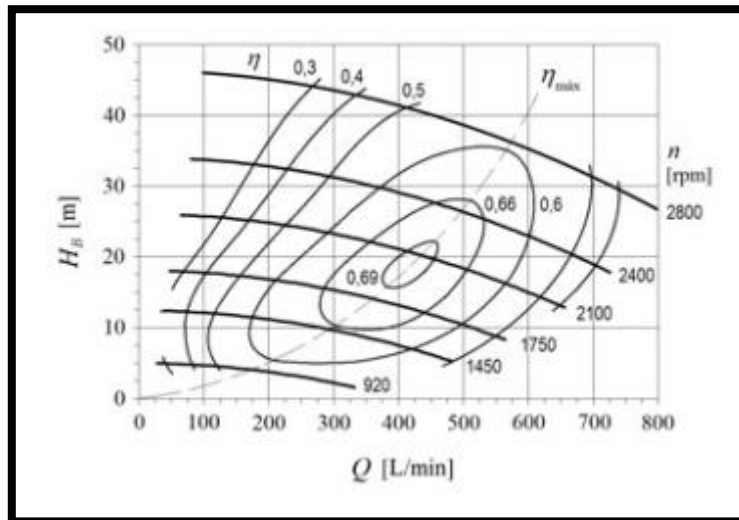
### 3.6.4 CURVA CARACTERÍSTICA

Las curvas ofrecen información redundante, con el objetivo de facilitar al usuario la visualización de las características funcionales de la bomba. Las principales curvas características de una bomba son las curvas:  $H_B = H_N(Q)$ ; referente a la altura manométrica obteniéndolo por medio de Bernoulli en la entrada y en la salida de la bomba,  $N = N(Q)$ ; referente a la potencia, y  $\eta_B = \eta_B(Q)$ ; referente a la eficiencia, cada una de ellas suministradas por el fabricante (Jiménez, 2011). Las curvas son particulares de cada bomba y acogen características relacionadas entre sí por la siguiente ecuación:

$$\eta_B = \frac{\rho g Q H_B}{N}$$

#### Ecuación 9. Fórmula curva característica

Fuente:(Domínguez, 2013)



**Ilustración 5. Ejemplo Curva Característica**

Fuente: (Jiménez, 2011)

El objetivo de dicha gráfica, ver *Ilustración 5* es facilitar al usuario la visualización de características que son necesarias en proyectos de aplicación en campo.

### 3.6.5 CAVITACIÓN Y GOLPE DE ARIETE

El intercambio de energía, ante condiciones ideales, las pérdidas serían nulas, pero en el campo nos encontramos con factores que producen estos desgastes. Estas pérdidas son producidas ya sea por la inercia del fluido, las variaciones de presiones bruscas, cambios de velocidad, etc. Pero en los sistemas hidráulicos encontramos factores que afectan de manera fatal al sistema, generando separación de bridas o quebradura de hélices explicando los siguientes fenómenos a continuación.

#### Cavitación

Este fenómeno se genera en las máquinas hidráulicas debido al diseño, como Domínguez (2013) explica:

Quando el seno de una corriente fluida alcanza unas condiciones tales que la presión en algunos puntos es menor que la presión de vapor del fluido a esa temperatura, tiene lugar una vaporización parcial de modo que forma unas

cavidades o burbujas llenas de vapor... próximamente colapsa la misma produciendo grandes presiones que dañan la superficie del material. (p. 97)

Para evitar estos daños irreparables es necesario por medio de la ecuación de Bernoulli tomar en cuenta la presión de entrada sea mayor a la presión de vapor del fluido logrando de esta manera un funcionamiento de la maquina hidráulica sin cavitación.

### Golpe de Ariete

El segundo fenómeno encontrado en sistemas hidráulicos es llamado golpe de ariete. "Se debe a un cambio brusco de movimiento de un fluido en un conducto cerrado produciendo variaciones de presión y/o vibraciones" (López, 2005, p. 73). Estas variaciones son producidas por cierres bruscos de válvulas o cambios de dirección bruscos. Variación repentina de energía en el fluido genera sobrepresiones o depresiones dañando válvulas y separación de uniones.

La protección de cada uno de estos elementos es de vital importancia porque puede significar el paro de un proceso con pérdidas significativas, por lo que se para evitar este fenómeno se necesita una válvula que reduzca el caudal gradualmente hasta cerrar completamente o variar el flujo por medio de la bomba así aliviando cambios bruscos de presión.

### **3.7SENSORES**

Para tener un mejor control de un sistema, es necesario el control de las condiciones del mismo como ser presión, temperatura, humedad, etc. Estas variables pueden ser beneficiosas o perjudiciales por lo cual el conocimiento de su medida es de vital importancia. Según Ramírez, Jiménez, & Carreño (2014) lo define como: "... dispositivo de entrada que provee un sistema manipulable de la variable física medida"(p. 17). El sensor utiliza un transductor que es el que transforma la señal a medir en un tipo de energía distinta la cual se puede medir y utilizar este para cualquier sistema.

Existen una serie de modos de transmisión de datos entre sensores y controladores, depende de su aplicación y de la estructura con la que fueron diseñados. A continuación, se enumera este tipo de comunicación:

- Niveles de tensión (0 - 10V / 0 – 5V / ASCII)
- Bucle de corriente (0 – 20mA / 4 – 20mA)
- Pulsos eléctricos (I/O Link). Es la nueva tecnología utilizada para la lectura de sensores, es estandarizada, simple, comunicación constante, monitoreo de sensores, etc., (IO-Link, 2018).

### **3.7.1 SENSOR DE TEMPERATURA**

El ambiente ya sea de un sistema o de la tierra en sí, está determinado por distintos factores que hacen favorable o desfavorable la presencia de ellos. Uno de estos factores es la temperatura. Este tipo de sensor transforma la energía térmica en energía eléctrica, de esta manera podemos obtener información de los cambios de temperatura en el sistema a medir. En el caso del proyecto tratado se utilizará un tipo de sensor de temperatura en específico, una RTD. Como lo dicen sus siglas Resistor Temperatura Detector (Detector de Temperatura Resistivo), como el elemento metálico utilizado con mayor frecuencia en estos sensores es el platino (Pt) se conoce también como PRT (Platinum Resistance Thermometer). El principio de dicho sensor es la variación de la resistencia de un conductor con respecto a la temperatura. Si el conductor se encuentra sometido a una temperatura mayor a la temperatura de estabilidad, el número de electrones para la conducción aumenta por lo que las vibraciones de los átomos son mayores dispersando los electrones y reduciendo su velocidad (Areny, 2004). Guiándose por la dependencia de la siguiente ecuación:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \dots + \alpha_n T^n)$$

#### **Ecuación 10. Fórmula de Resistencia en relación a la temperatura**

Fuente:(Areny, 2004)

Siendo:  $R$ : Resistencia ( $\Omega$ )

$R_0$ : Resistencia a la temperatura de referencia

$T$ : Incremento de temperatura con respecto a la referencia

$\alpha_n$ : Coeficiente de temperatura de la resistencia (depende de la pureza del material)

Pero la exactitud y estabilidad a largo caso del platino y el bajo coste con respecto al cobre y al níquel se utiliza el margen lineal:

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

### **Ecuación 11. Formula general resistencia en relación a la temperatura**

Fuente:(Areny, 2004)

Sin embargo, a manera de comparación la RTD es diez veces más rápida que una termocúpula, presenta mayor estabilidad, alta repetitividad y bajo costo de fabricación.

La nomenclatura utilizada en los sensores RTD se determina de la siguiente manera: primero es colocado el elemento químico utilizado, seguido de la resistencia a 0°C de dicho elemento, como por ejemplo PT100, RTD fabricada con el elemento Platino (Pt) seguido de una resistencia de 100Ω a 0°C.

Para poder apegarnos a los estándares de comunicación de los controladores se adapta el sensor a un termo-pozo para sostenerlo y un acondicionador de señal para convertir dicha información de 4 a 20Ma o se utiliza un módulo temperatura. Ver *Ilustración 6*.



**Ilustración 6. RTD PT100 HERTEN**

Fuente: Página oficial HERTEN

### **3.7.2 SENSOR DE PRESIÓN**

Para medir la presión por medio de un transductor que transforma fuerza aplicada en un área determinada y una señal eléctrica. Lo que diferencia un sensor de presión de un sensor de fuerza es que el primero cuenta con un diafragma la cual es el área efectiva en la que se mide la fuerza efectiva.

De acuerdo a la forma del transductor se pueden diferenciar las formas que sirvieron en este proyecto:

- Piezorresistivos

Las galgas extensiométricas utilizan la tecnología de los materiales piezorresistivos que por medio de una fuerza tangencial que varía de acuerdo a la resistencia.

- Capacitivos

Este tipo de sensores se basa en el principio de transducción de capacitancia variable, de tal modo que la transducción es entra la fuerza ejercida sobre un diafragma de área conocida y el desplazamiento de uno de los electrodos que

forma el capacitor variable. Para entender el fenómeno se aplica la ecuación de capacitancia para poder determinar la presión ejemplificado con el diagrama de la *Ilustración 1*:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_t A}{d}$$

### Ecuación 12. Fórmula Capacitancia

Fuente: (Ramírez et al., 2014)

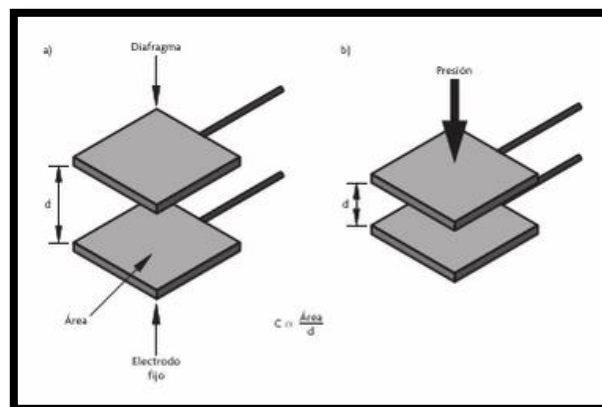
Siendo:  $C$ : Capacitancia (F)

$d$ : Distancia entre electrodos

$\epsilon_t$ : Permitividad relativa del medio

$\epsilon_0$ : Permitividad del vacío

$A$ : Área de traslape



**Ilustración 7. Presión determinada por capacitancia entre dos placas**

Fuente:(Ramírez et al., 2014)





**Ilustración 8. Sensor de Presión PT0507 ifm**

Fuente: Página oficial ifm

### **3.8 VARIADOR DE FRECUENCIA**

Antiguamente el proceso para poder realizar cambios de velocidades se realizaba por medio de mecanismos, ya sea por engranajes fabricados, bandas, relación de poleas, etc. haciendo que el proceso fuera mucho más caro, ineficiente y requería de un alto nivel de mantenimiento.

El variador representa un elemento final de control, al cual llega una señal procedente del sistema de control, y proporcional a ella, modificando la velocidad del motor que mueve las hélices de bombas del sistema o cualquier elemento que requiera la variación de la velocidad angular. (Sánchez, 2013)

Para determinar la velocidad a la que se requiere el motor se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{120 f}{P}$$

**Ecuación 13. Velocidad de motor en relacionada con parámetros**

Fuente: (Sánchez, 2013)

Siendo:  $n$ : Velocidad (*rpm*)

$f$ : Frecuencia (*Hz*)

$P$ : Pares de polos

Como ventaja de la implementación de este elemento electrónico y además siendo parte de sus propiedades las siguientes características ahorro energético y la estabilidad de control. El primero, uno de los primordiales indicadores de medición en una empresa por lo que la reducción del consumo energético genera grandes beneficios al sistema por medio de la reducción de los picos de corriente y asegurar la vida útil especificada por el fabricante, y el segundo, se refiere a que se pueden producir cambios progresivos y no bruscos manteniendo el sistema estable y sin daños.



**Ilustración 9. Ejemplo Variador ABB ACS550**

Fuente: Página oficial ABB

## **IV. METODOLOGÍA**

En todo sistema, proyecto o proceso suceden factores o indicadores con los cuales se puede realizar una acción o modificación. Cada uno de estos factores o indicadores pueden influir positivamente dentro de ciertos límites o definitivamente causar un daño. A estos se le da el nombre de variable, es el concepto dentro del sistema o proceso que nos revela información, con la cual, se determina el grado de estabilidad o consumo de un proceso cualquiera. Pero esta variable pueden distinguirse de manera que otras debido a su dependencia por lo que se debe analizar para poder realizar su planteamiento. Según lo explica Namakforoosh (2000) :“ La variable que el investigador desea explicar se considera como la variable dependiente. La variable que explique el cambio de la variable dependiente es referida como la variable independiente ”(p.66).

### **4.1 HIPOTESIS**

Formular una hipótesis nos guía a la futura solución que se comprobará por medio del método o enfoque que se emplee.

Comprendido el significado se prosigue a la formulación de dicha hipótesis siendo de la siguiente manera: Debido a las exigencias del cliente se realizará una secuencia para cada sistema, el de agua caliente y agua fría. Primero se analizarán los datos el nivel de los tanques, si el nivel esta entre los límites establecidos se podrá proseguir a la siguiente etapa de secuencia. La secuencia dependerá del master que este asignado, se iniciará en la bomba que está determinada como master, continuando en orden ascendente, después de un tiempo asignado, hasta llegar a la última en ser energizada, pero cumpliendo las limitaciones de cada una de las bombas antes de saltar a la siguiente: que la presión en la tubería sea menor al " setpoint " establecido por el operador y que la bomba haya alcanzado un valor mayor o igual al de 50Hz de frecuencia proporcionado por el variador. En caso de ser deshabilitada una bomba de parte de mantenimiento se saltará a la siguiente.

La interacción del master se realizará mensualmente de manera ascendente al igual que la secuencia evitando sobrecargar una sola bomba para vencer la inercia inicial del fluido. El intercambio tomara en cuenta las horas de trabajo que haya ejecutado.

Realizada completamente la secuencia se establece un tiempo estabilización, cumplido este tiempo seguirá el control de límite de frecuencia inferior debido a la velocidad necesaria de extracción de calor por parte de la ventiladora del motor. Llegando al límite inferior de esta frecuencia, se prosigue a la desconexión de las bombas en orden descendente de la misma secuencia después de un tiempo asignado de igual manera.

Se observarán datos de energía por medio de un medidor Phoenix Contact y la comunicación de los dispositivos por comunicación Modbus RTU.

La lógica de programación se realizará por el lenguaje de escalera y bloques realizando un programación optimizada y funcional.

La comunicación humano-maquina se realizará por medio de una pantalla táctil, donde se establece el sistema ya sea manual o automático, deshabilitación de bombas, calibración de tanques y monitoreo de datos.

#### **4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

En el proyecto realizado cada una las bombas a energizarse serán controladas por un variador. El variador se activará cuando el tanque este entre los límites del tanque, de esta manera la bomba no se accionará en vacío evitando dañarla. Y además la confirmación del estado de la bomba o del propio variador proporcionada por el mismo a través de Modbus.

La deshabilitación de las bombas en caso de mantenimiento por lo que la secuencia se realice sin afectar el sistema.

Iniciar una bomba en vacío es fatal para la vida útil de la máquina, por lo tanto, es necesario tener certeza del nivel de los tanques y la presión necesaria para que estas no sufran del fenómeno de la cavitación tomando en cuenta la presión de vapor.

#### **4.1.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Los tiempos de mantenimiento de las bombas serán un factor que limitarán el sistema.

#### **4.2 MÉTODO Y ENFOQUE**

Primeramente, se define el método como el conjunto de etapas secuencial y lógicamente ordenadas para alcanzar un fin (Lezama, 1990), o la forma de abordar la realidad o situación de estudiar los fenómenos de la naturaleza. El método a utilizarse es el científico debido a que esta técnica se centra en los fenómenos y procesos de la naturaleza que afectan los sistemas que rigen las leyes del universo. La investigación realizada es de acuerdo a ofrecer una solución por medio de esquemas sencillos, comprensibles y lógicos utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas para la aplicación del mismo.

El enfoque estará determinado por dos características:

Un enfoque cualitativo, este se basa en los métodos de recolección de datos sin medición numérica, sin conteo, utilizando descripciones y observaciones (Gómez, 2006). Por lo que este será centrado en el diseño de la pantalla HMI utilizando como guía que la interface sea amigable con el usuario u operario y además detallar los elementos medidos y controlados.

Un enfoque cuantitativo, utilizando la recolección y análisis de datos para contestar las preguntas y probarlas. Se utiliza un monitoreo de acuerdo a los datos obtenidos de hojas técnicas.

### 4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La realización de este proyecto trajo consigo la recopilación de múltiples fuentes de información para la investigación y confirmación de dicho proyecto. Las fuentes de información se clasifican en primarias y secundaria, siendo las primarias el resultado de un trabajo intelectual, nuevo y original, mientras que las secundarias emplean las fuentes primarias para realizar una organización de esta información por medio de análisis.

Fuentes primarias empleadas:

- ∞ Monografías de referencia.
- ∞ Libros electrónicos recopilados del CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación) por parte de UNITEC.
- ∞ Libros físicos referentes al tema.
- ∞ Revistas científicas.
- ∞ Diccionarios especializados.

Fuentes primarias empleadas:

- ∞ Libros con interpretación.
- ∞ Catálogos.
- ∞ Manuales técnicos.
- ∞ Tesis de referencia.

## 4.4 CRONOGRAMA

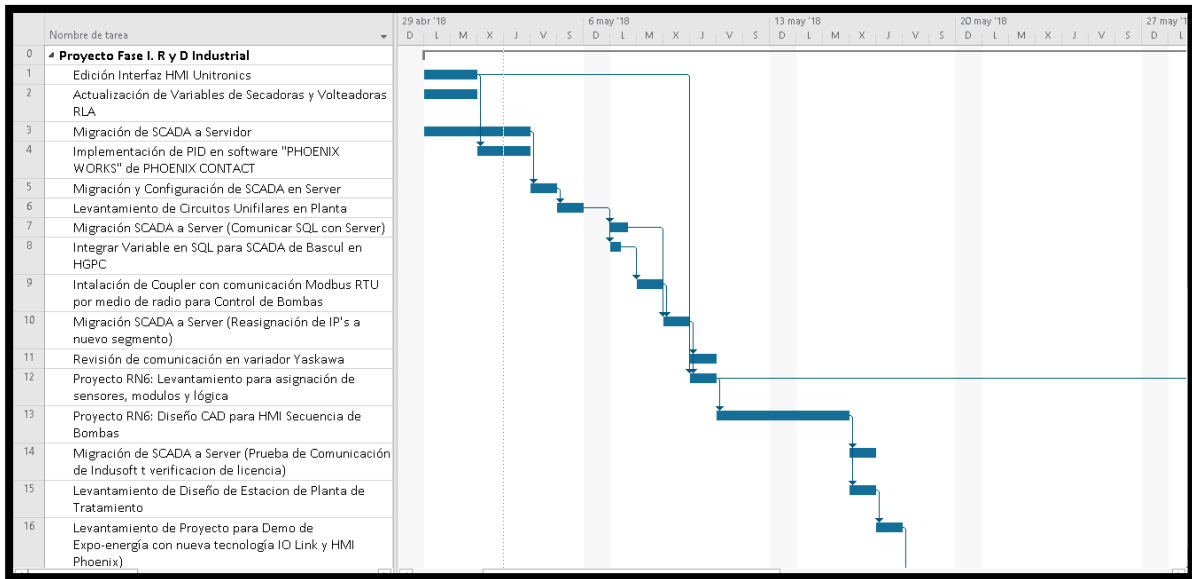


Ilustración 10. Cronograma de Actividades

Fuente: Propia

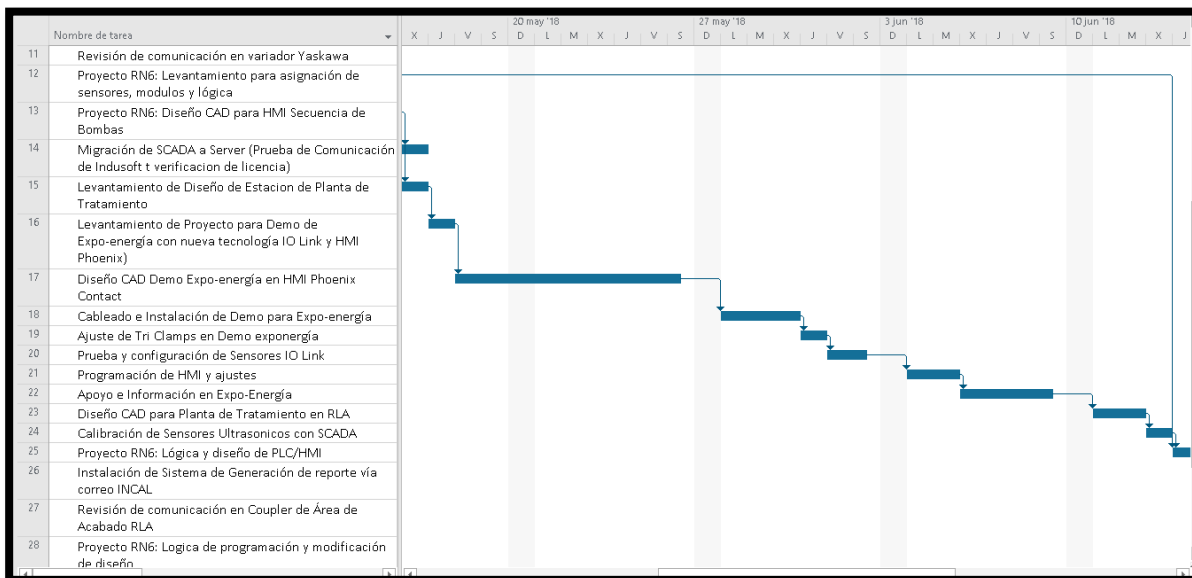
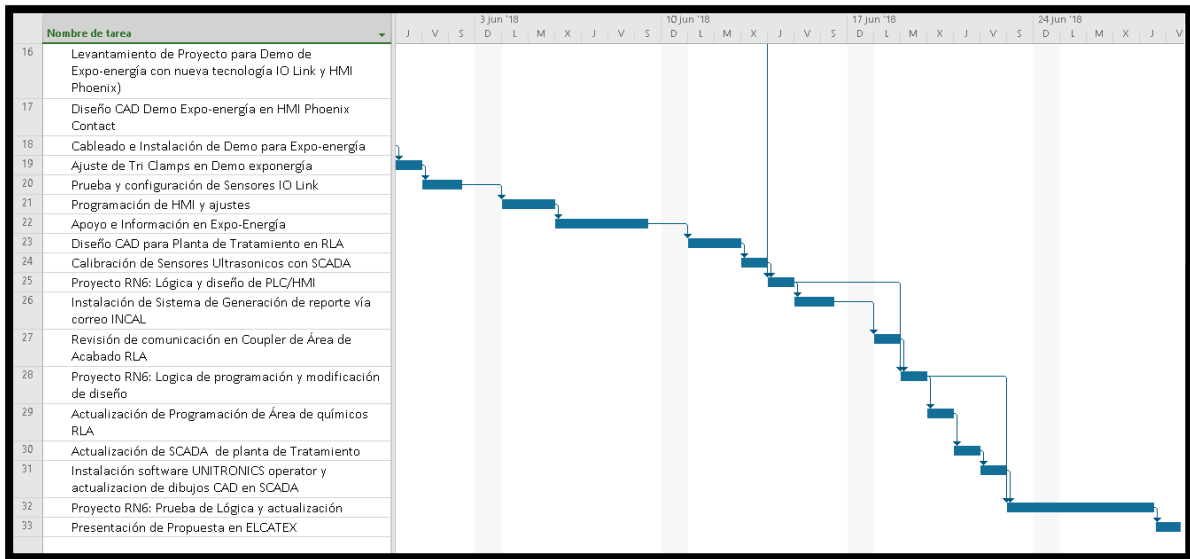


Ilustración 11. Cronograma de Actividades

Fuente: Propia



**Ilustración 12. Cronograma de Actividades**

Fuente: Propia



## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

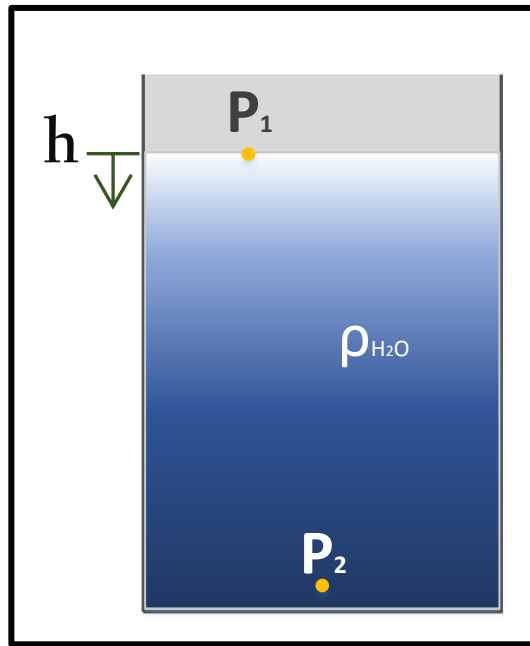
### 5.1 ANALISIS

#### 5.1.1 SENSOR DE PRESIÓN

Ante los sistemas que se proponen su análisis global y específico es primordial a la hora de controlar el sistema a manera de mantener sus componentes en óptimas condiciones evitando pérdidas monetarias y de energía. Donde se debe centrar la mirada con mayor atención es en el elemento que nos afectara de gran manera si fallara como son las bombas. Analizando los factores que podrían dañar o afectar las maquinas son la falta de fluido en las tuberías generando presiones altas, dañando las hélices, y las bajas frecuencias configuradas por el variador, generando un bajo flujo de intercambio de calor por las hélices de la ventiladora, sobrecalentado las bobinas hasta fundir el motor. Por lo que se tomaron en cuenta dichos factores en la lógica y alertas en el PLC y el HMI respectivamente.

Para atacar los factores es necesario análisis matemáticos y manuales técnicos para la correcta acción.

El tanque es un espacio confinado abierto por la parte superior, para determinar si el tanque se encuentra a un nivel óptimo para el correcto funcionamiento del sistema, es necesario utilizar un dispositivo que nos indique numéricamente esa elevación, por lo tanto, debido a la gran elevación se utilizara un sensor de presión y utilizando la *Ecuación 8*, ecuación de Bernoulli, se determinara el sensor necesario.



**Ilustración 13. Diagrama de Tanque**

Fuente: Propia

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Sabiendo que:  $p_1 = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$

$$h = 10 \text{ m}$$

$$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Y al analizar el tanque consideramos que la presión se verá afectada por la bomba generando una caída de presión por lo que se puede analizar como un sistema estático reduciendo los términos a la ecuación de hidroestática y considerando la altura de la presión 1 como insignificante.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$p_1 + \rho g h_1 = p_2$$

$$p_2 = 1.01325 \text{ bar} + (1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1E - 5)$$

$$p_2 = 1.01325 \text{ bar} + 0.981 \text{ bar}$$

$$p_{2(\text{absoluta})} = 1.99 \text{ bar}$$

La presión calculada es en términos de la presión absoluta, pero en el caso del sensor la presión considerada es la manométrica ya que la referencia para la diferencia de presión dentro del sensor es la atmosférica. Se aplicará la *Ecuación 5* para determinar el valor que se necesita.

$$p_{2(\text{absoluta})} = 1.99 \text{ bar} = p_{2(\text{atmosferica})} + p_{2(\text{manométrica})}$$

$$p_{2(\text{manométrica})} = p_{2(\text{absoluta})} - p_{2(\text{atmosferica})}$$

$$p_{2(\text{manométrica})} = 1.99 \text{ bar} - 1.01325 \text{ bar}$$

$$p_{2(\text{manométrica})} = 0.981 \text{ bar}$$

El sensor utilizado deberá tener una especificación de presión de al menos 1 bar de presión manométrica (o relativa) o de 2 bar si se emplea la presión absoluta, para poder ser aplicado en el tanque sin sufrir daños o recibir datos erróneos. Ya obtenidos estos cálculos se prosiguió a la elección del sensor llegando a la conclusión que debido a los factores ambientales que pueden afectarlo como ser la lluvia, la exposición al sol o la luz eligiendo la característica de grados de protección IP65 siendo este la disponible en el inventario mostrado en la ilustración siguiente.



**Ilustración 14. Sensor de Presión PA3526 ifm**

Fuente: Página Oficial ifm

Así mismo, se tomaron en cuenta los límites de presión ya sea de sobrepresión, resistencia de presión estática y límites de medición. Ver *Tabla 3*.

**Tabla 3. Rangos de Presión**

Order no.	Final value of the measuring range (nominal pressure)		Static pressure resistance (max. permissible pressure)		Bursting pressure	
	bar	psi	bar	psi	bar	psi
PA3509	-1...1	-14.5...14.5	10	145	30	435
PA3526	0...2.5	0...36.3	20	290	50	725
PA3524	0...10	0...145	75	1087	150	2175
PA3523	0...25	0...363	150	2175	350	5075
PA3522	0...100	0...1 450	300	4 350	650	9400
PA3521	0...250	0...3 625	400	5 800	850	12300
	mbar	psi	bar	psi	bar	psi
PA3589	0...100	0...1.45	4	58	30	435
PA3528	0...250	0...3.63	10	145	30	435

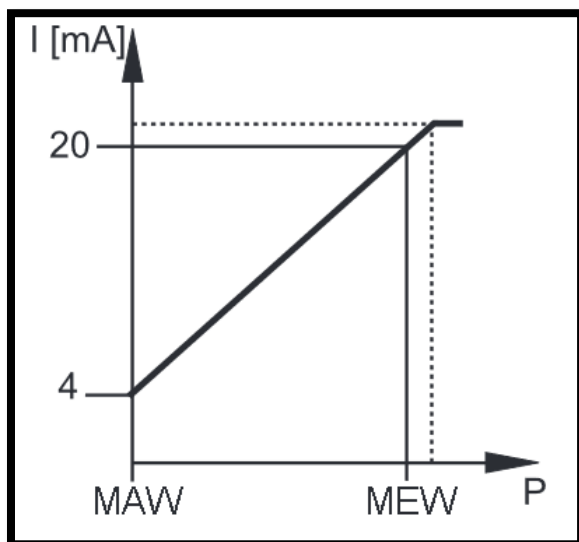
MPa = bar ÷ 10 / kPa = bar × 100

### **5.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA**

Para la elección del sensor de temperatura, dentro de la disponibilidad en el inventario de la empresa se encontraban las sondas RTD PT100 de la marca HERTEN, al cual se le adaptó un termo-pozo y el convertidor de señales configurado con tecnología NFC. De igual manera las necesidades de este sensor que requería el sistema son de una temperatura máxima de 80°C por lo que la elección era la más adecuada dejando un margen suficiente para no dañar los datos de información ni el sensor. Pero debido a la previa instalación de módulos de temperatura dentro del panel se omitirá el uso del convertidor y se comunicará directamente con el dispositivo ubicado dentro del panel de control. Ver *Anexo 5*.

### **5.1.3 LINEALIZACION DE SEÑALES**

Debido a la configuración del sensor, la señal obtenida del sensor de presión será de 4 a 20mA, pero lo que se necesita es el valor de la presión, de manera que muestra la hoja técnica en la *Ilustración 15*, indicando la variable " I ", como la corriente de salida del sensor y " P " la presión que se desea medir y dentro de esta " MAW ", como el rango inicial de valor medido y " MEW ", como el rango final de valor medido.



**Ilustración 15. Gráfica de corriente de salida**

Fuente: Hoja Técnica ifm

## 5.2 RESULTADOS

### 5.2.1 DISEÑOS EN HMI

#### 5.2.1.1 PANTALLA PRINCIPAL



**Ilustración 16. Pantalla Principal**

Fuente: Propia

Se diseñó una interfaz adecuada para la facilidad del usuario en la selección del área a elegir. Se insertaron las áreas de interés como ser el monitoreo en control automático por medio del sistema automático, el monitoreo y la activación de las bombas en modo manual por medio de selectores en sistema manual, el área de mantenimiento y la visualización de los datos de cada uno de los variadores en el botón datos variadores. Ver *Ilustración 16*.

### 5.2.1.2 SISTEMA AUTOMÁTICO



**Ilustración 17. Monitoreo de Sistema Automático**

Fuente: Propia

Para la elaboración del diseño de cada una de las pantallas se utilizó como herramienta el software CAD SOLIDWORKS de modo que se visualizara las maquinas a controlar y los datos a monitorear. En la *Ilustración 17*, se aprecian las etiquetas de los sensores de presión colocados en el manifold. Las bombas se verán de color verde si esta activa y de color rojo si está desactivada. Las alarmas amarillas debajo de cada una de las bombas parpadearan en caso de existir una falla. En el lado izquierdo de la pantalla se observa el tanque mostrando el porcentaje de llenado en la etiqueta colocada sobre él

y el nivel por la barra de desplazamiento azul. Las alarmas serán para identificar el límite inferior, cuando este cerca de vaciarse, y el límite superior, cuando logre llenarse.

En la parte superior se colocaron botones para desplazarse a través de todas las áreas anteriormente explicadas.

### 5.2.1.3 SISTEMA MANUAL



**Ilustración 18. Control y Monitoreo de Sistema Manual**

Fuente: Propia

Funciona de igual manera que la pantalla anterior, Sistema Automático, pero con la diferencia que en esta pantalla se podrán controlar la activación de cada una de las bombas por separado por medio de los selectores colocados de cada máquina hidráulica y monitoreando de igual manera el resto del sistema. Ver *Ilustración 18*



5.2.1.4 MANTENIMIENTO



Ilustración 19. Menú de Mantenimiento

Fuente: Propia

En la opción de mantenimiento, se despliega un menú con áreas del sistema a atender como ser el modo de control del sistema manual o automático, la habilitación o deshabilitación de las bombas, la calibración de los tanques y el ajuste de los límites inferior y superior de las alarmas para el nivel de los tanques. Ver *Ilustración 19*.

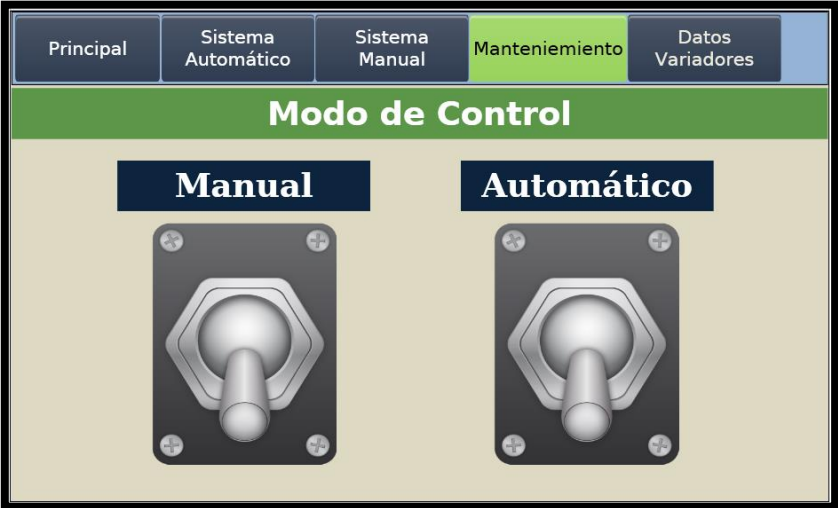


Ilustración 20. Pantalla modo de control

Fuente: Propia

Ingresando en la primera opción, " Modo de Control ", se despliega la pantalla con dos switches asignando el modo del sistema como lo muestra la *Ilustración 20*.



**Ilustración 21. Pantalla habilitación de bombas**

Fuente: Propia

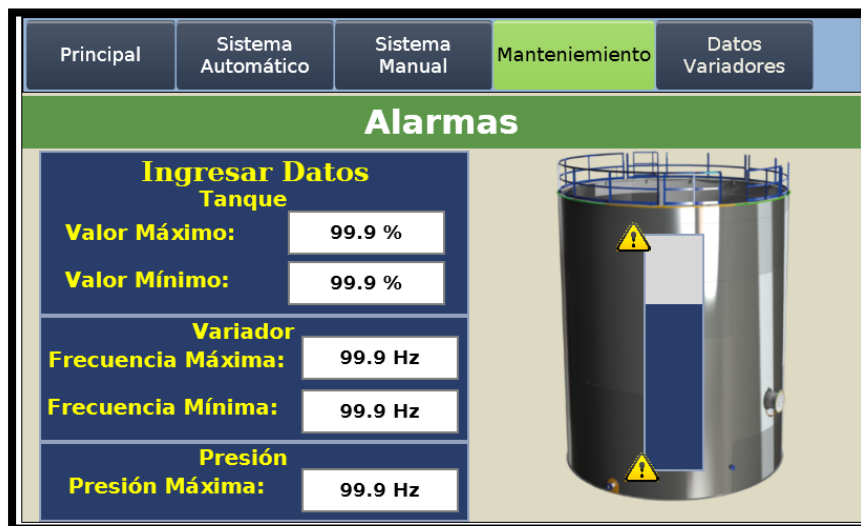
En la segunda opción, en el botón de " Bombas ", se ingresa a la opción de poder deshabilitar o habilitar las bombas, en caso lo requiera el usuario para realizarle mantenimiento o cualquier otra operación que requiera cada una de las bombas, como se muestra en la *Ilustración 21*. De igual manera en el caso del sistema de agua fría que utiliza 6 bombas se colocó un botón de " previous " para avanzar a la siguiente pantalla donde se encuentran el resto de las bombas.



**Ilustración 22. Pantalla de calibración**

Fuente: Propia

Prosiguiendo con la tercera opción, seleccionamos la opción de " calibración ", en la cual se podrá realizar el ajuste de nivel en los tanques por medio del sensor de presión con el análisis realizada anteriormente tomando en cuenta la señal analógica generadas por él. Ver *Ilustración 22*.

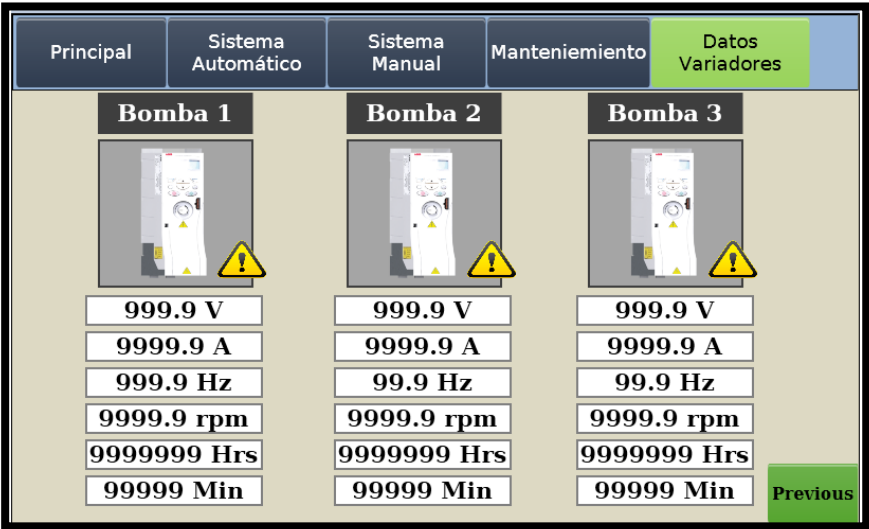


**Ilustración 23. Pantalla de alarmas**

Fuente: Propia

Llegando a la última opción, " Alarmas ", se asigna el porcentaje al cual aparecerá la alarma para tener un margen en los límites inferior y superior de los tanques y de igual manera se coloca el valor máximo y mínimo de la frecuencia que podrá ser asignado por el variador en las bombas para la correcta realización de la secuencia. Ver *Ilustración 23*.

**5.2.1.5 DATOS VARIADORES**



**Ilustración 24. Pantalla monitoreo de variadores**

Fuente: Propia

La elección de la última pantalla, muestra los datos relevantes de cada uno de los variadores como ser voltaje, corriente, frecuencia, numero de revoluciones, horas y minutos de trabajo. De igual manera cada variador incluye una alarma de horas de trabajo en caso de mantenimiento y fallo de variador como se muestra en la *Ilustración 24*.

## 5.2.2 LOGICA EN LENGUAJE DE PROGRAMACION

La lógica de programación mostrada en las siguientes secciones, fue aplicado a ambos sistemas, por lo que se muestran imágenes del sistema de agua caliente, para demostrarlo.

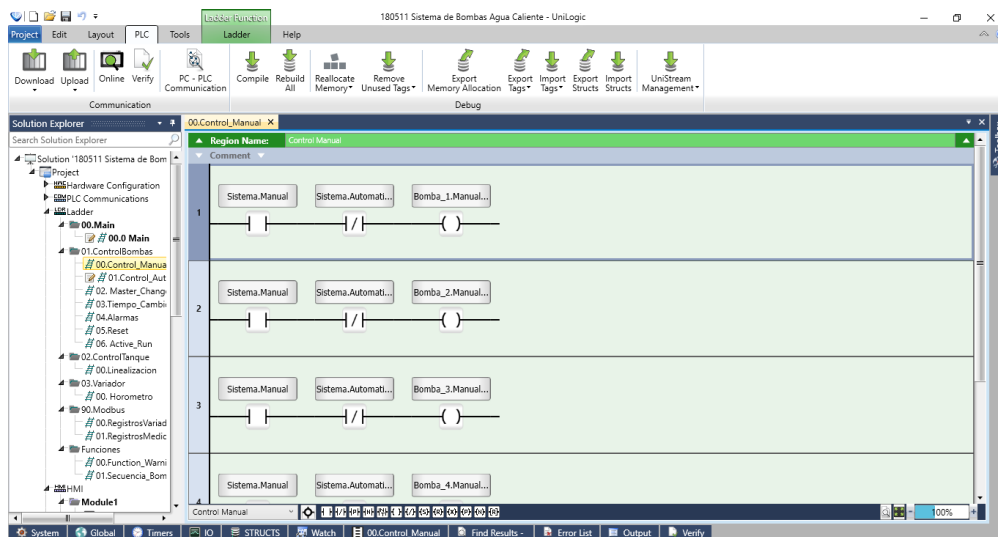
### 5.2.2.1 MAIN

El módulo utilizado para la energización de todas las funciones de los bloques de programación fue nombrado Main de manera que la programación fuera organizada y estructurada. De igual manera fue distribuido en sus respectivas áreas.

### 5.2.2.2 CONTROL DE BOMBAS

Dentro de este módulo se realizaron funciones de acuerdo a lo requerido por el sistema definidas de la siguiente manera:

#### Control manual



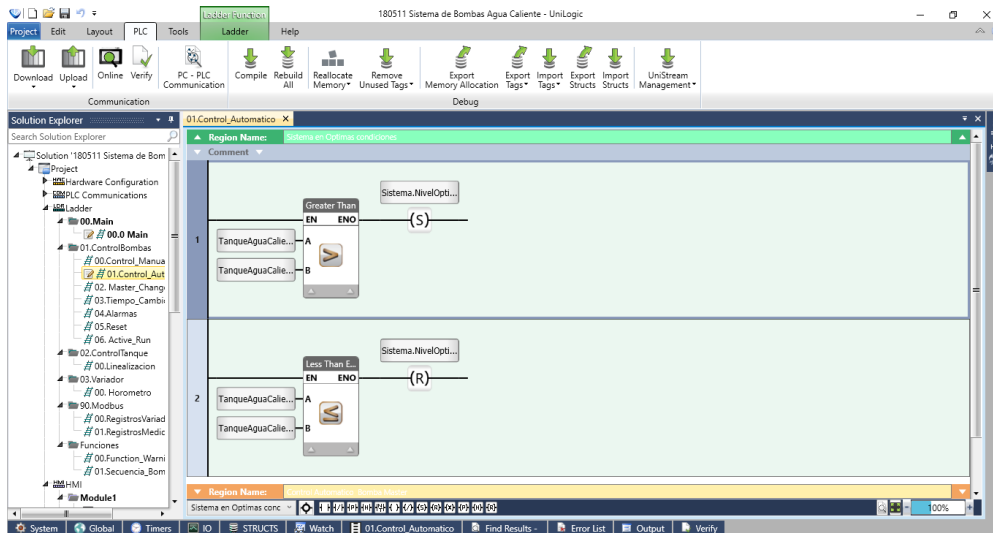
**Ilustración 25. Control de Bombas-Control Manual**

Fuente: Propia

La lógica de la función control manual se diseñó de acuerdo a la seguridad durante la operación del sistema, los contactos son mutuamente excluyente refiriéndose a la

activación de uno de los contactos, cambiará el estado el siguiente de esta manera no existirá controversia entre la activación manual o automática existiendo la posibilidad de un solo estado.

## 8. Control Automático



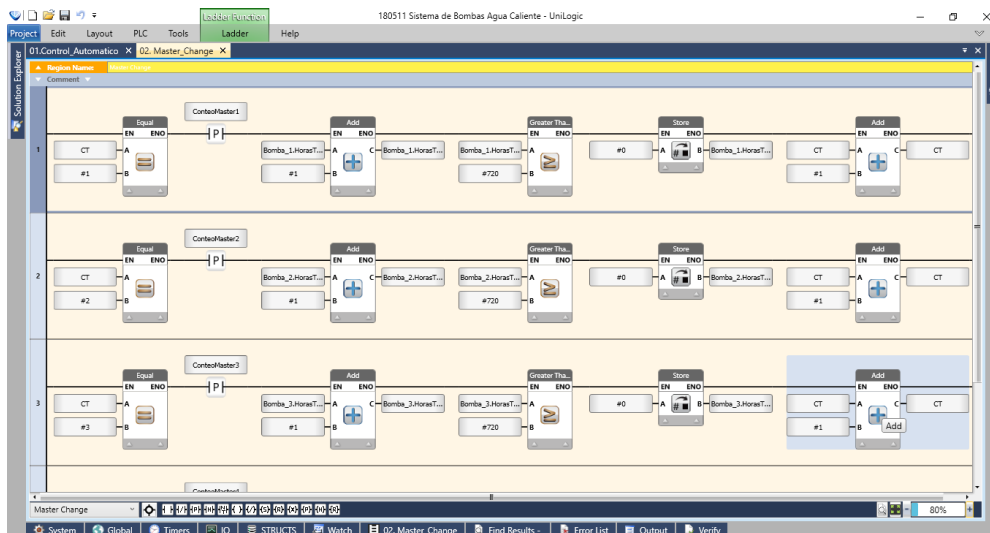
**Ilustración 26. Control de Bombas-Control Automático-Sistema Óptimo**

Fuente: Propia

La primera región se utiliza para determinar el control del tanque generándonos un control para evitar el arranque de la bomba en vacío, activando una bobina que será la energización de u na próxima función, y desactivándola cuando el nivel baja de ese ese nivel programado.

La segunda región se emplea el llamado de una función auxiliar explicada en la región de funciones, a la cual se ingresa el valor de una variable CT de tipo INT8, brindando el alcance suficiente para realizar el cambio de master mensual.

## 8. Master Change



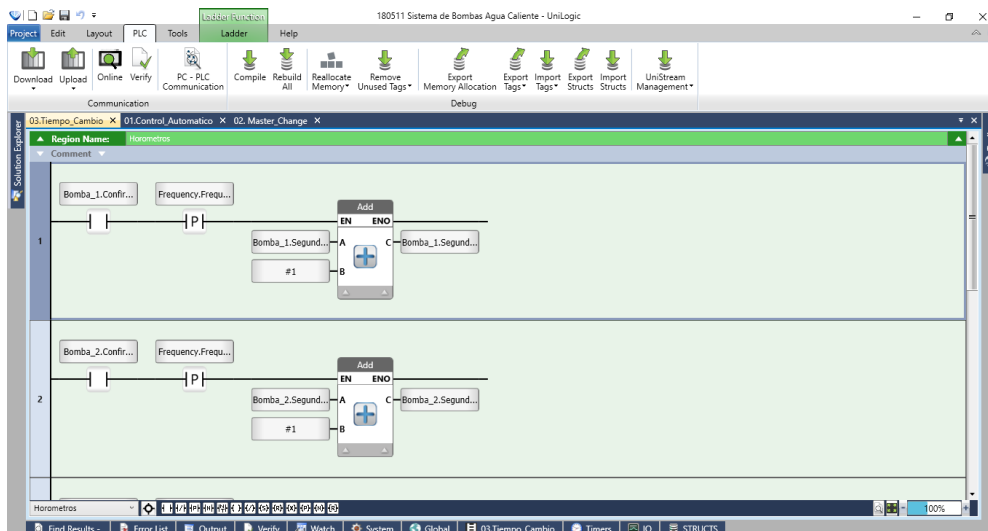
**Ilustración 27. Control de Bombas-Master Change**

Fuente: Propia

Mensualmente se necesita cambiar el inicio de la secuencia, por lo que se requirió el diseño de un sistema de cambio mensual ideado por medio de horas de trabajo. Cumplidas 720 horas que equivalen a un mes equivalente a 30 días, le suma una unidad a la variable CT realizando el cambio de Master a la siguiente bomba en orden ascendente. Se contará el número de horas si y solo si la variable ControlMaster# realice cambio a estado positivo generando un pulso adicionando una hora al conteo de horas realizado este cambio en la función Tiempo\_Cambio explicada más adelante. Cumplidas las horas como Master reinicia la variable Horas de la Bomba Master.

### ☞ **Tiempo\_Cambio**

Para realizar el cambio de Master mensual se utiliza esta función. La lógica se explica de la siguiente manera:



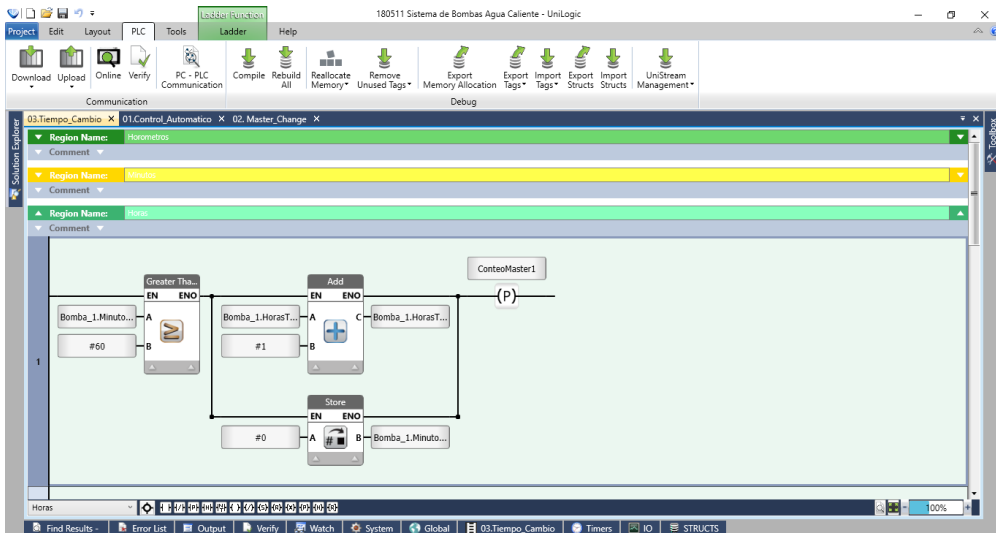
**Ilustración 28. Tiempo\_Cambio-Segundos**

Fuente: Propia

Cuando el variador realiza la confirmación de la activación de la bomba, se inserta un flanco positivo aplicando la función "Frecuency" y configurando dicho contacto con 1 segundo, consiguiendo de esta manera un contador de segundos. Cuando el pulso cambia de estado apagado a encendido energiza el bloque "Add" y adiciona una unidad a la variable de segundo de la respectiva bomba a la cual se le contabilizan las horas de trabajo.

En la región de minutos, se utiliza el bloque comparador "Greater Than Equal" de la variable segundos de cada bomba, cuando se cumpla la condición en la cual la variable segundos, de la bomba que se utilice, sea mayor o igual a 60 energizará el bloque Add en el cual en estas condiciones adicionara una unidad, pero en este caso a la variable Minutos de la respectiva bomba y aplicando como valor 0 a la variable segundos para reiniciar el contador y no saturar de datos a dicha variable.



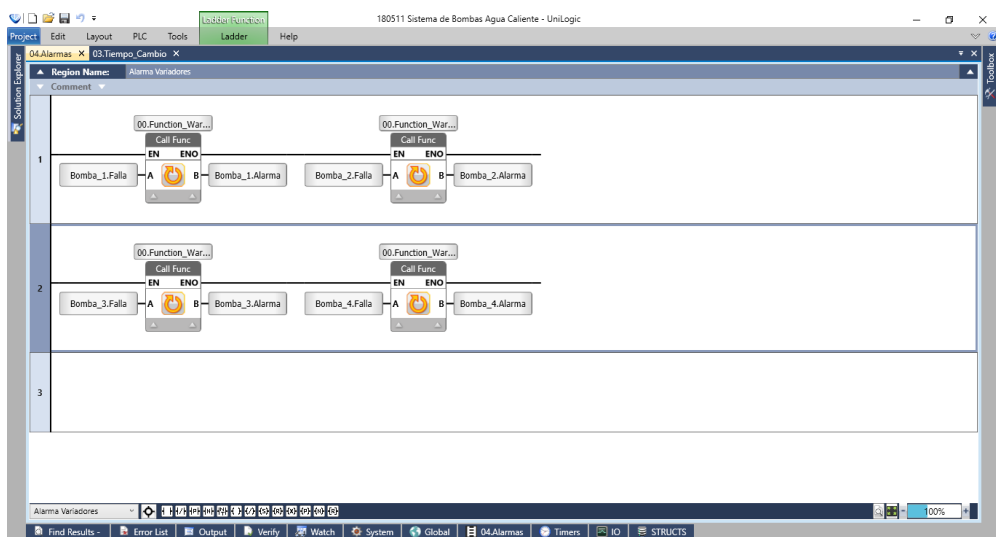


**Ilustración 29. Tiempo\_Cambio-Horas**

Fuente: Propia

La región de Horas, trabaja de la misma manera que la región anterior, pero a diferencia que en este caso adiciona una a unidad a la variable horas de la respectiva bomba, reinicia la variable minutos y además envía un pulso a ConteoMaster# indicando el cambio de Master ya que se cumplió el número de horas.

### 🔗 Alarma Variadores



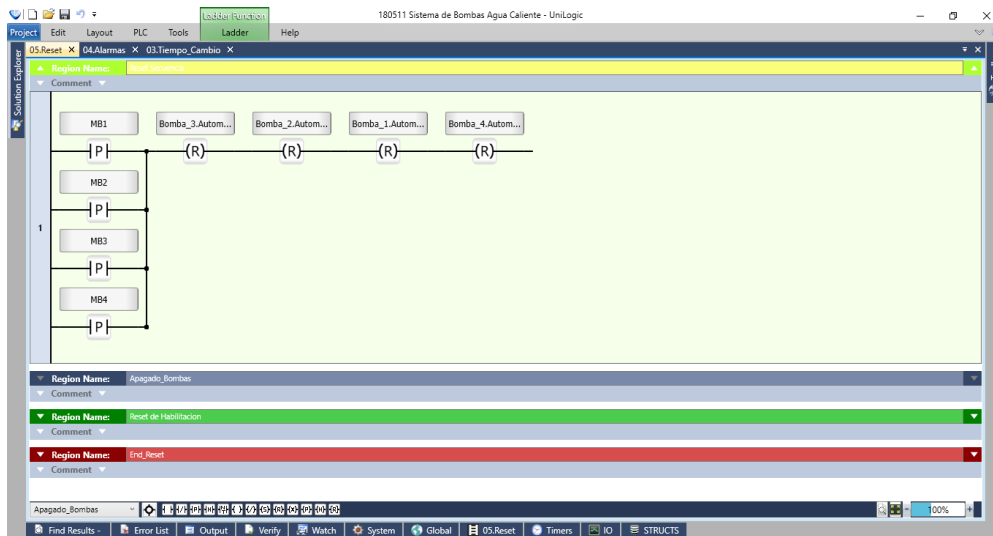
**Ilustración 30. Alarmas-Alarma Variadores**

Fuente: Propia

Dicha función utiliza como referencia el variador, tomando el registro falla, siendo este un contacto abierto, se aplica a la función Function\_Warning para aplicar las alarmas mostradas en el HMI indicando falla en la bomba.

## Reset

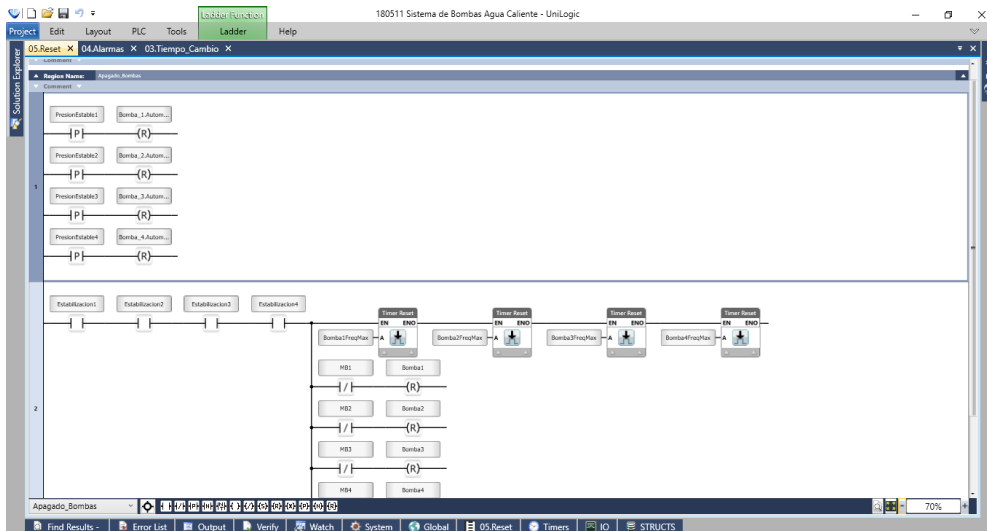
Los resets son necesarios en el caso de que se desea desactivar o reiniciar el estado de un contacto siendo este el caso aplicado.



**Ilustración 31. Reset-Reset Secuencia**

Fuente: Propia

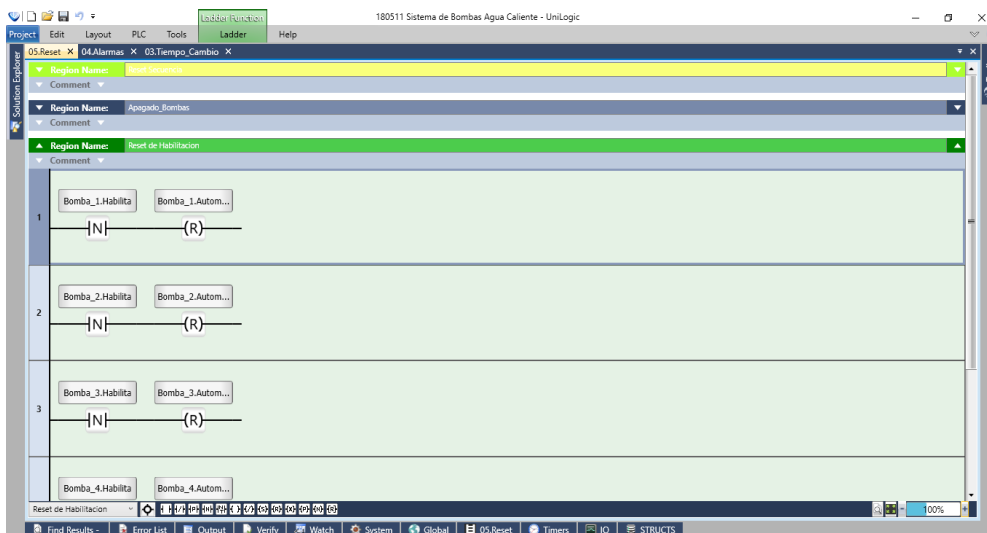
Las variables MB# son activadas en la función Secuencia\_Bombas de modo que en el cambio de master se realice un reinicio de estados.



**Ilustración 32. Reset-Apagado de Bombas**

Fuente: Propia

En la secuencia de las bombas se realiza un vaivén ascendente y descendente por lo que en este caso PresionEstable# es la variable activada en la función Secuencia\_Bombas para generar la secuencia. De igual manera ocurre con Estabilización# en la región de Apagado de Bombas en la función Secuencia\_Bombas, pero en este caso reiniciando los contadores que se aplican en esta función.

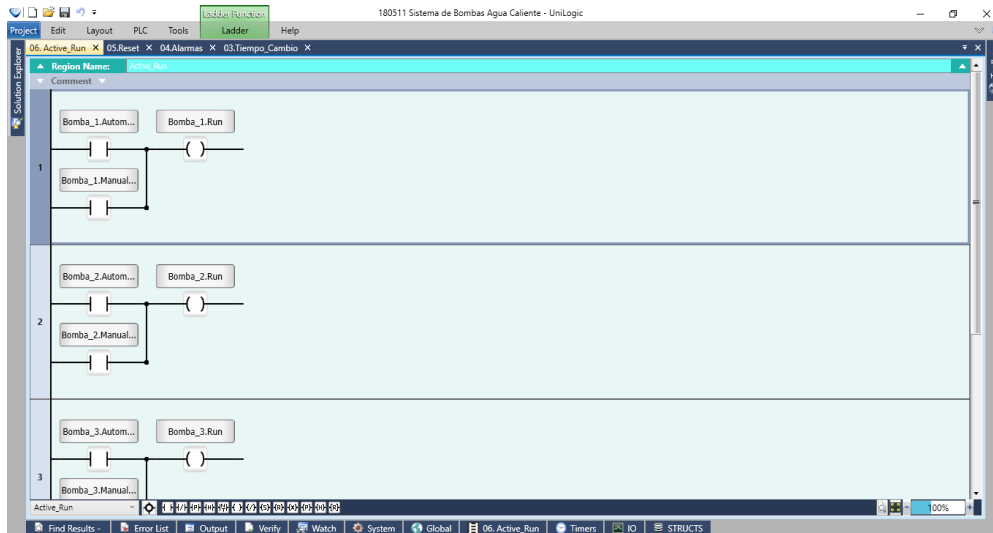


**Ilustración 33. Reset-Reset de Habilitación**

Fuente: Propia

Para evitar que la secuencia active una bomba, aunque ésta este inhabilitada, se realiza un reset por medio de los selectores de deshabilitación colocados en el HMI para mantenimiento.

### ☞ Active\_Run

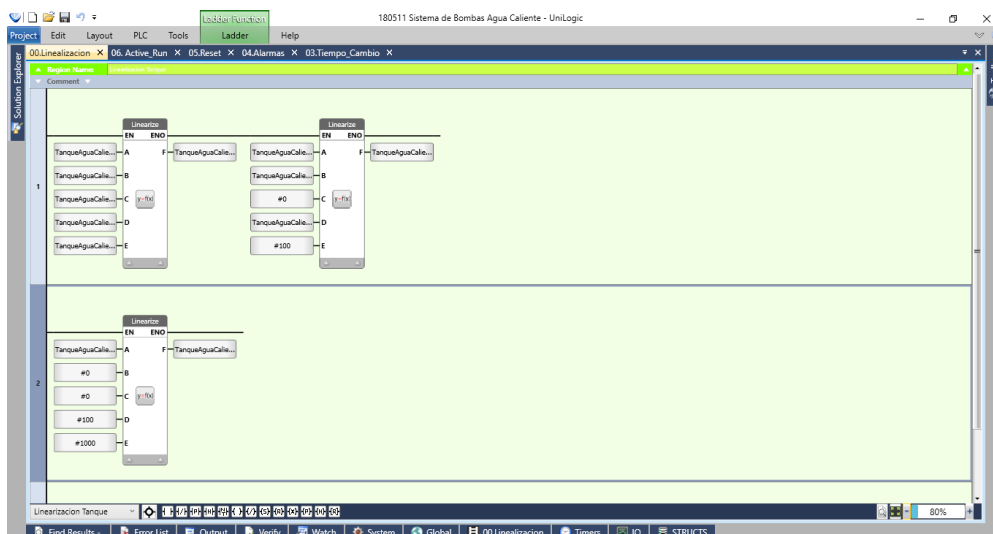


**Ilustración 34. Active\_Run**

Fuente: Propia

Realizando esta función indica que ya sea por medio manual o automático, mande la orden al variador de activar la respectiva bomba.

### 5.2.2.3 CONTROL DE SENSORES



**Ilustración 35. Control de Sensores-Linealización**

Fuente: Propia

La utilización de sensores en nuestro caso, se utilizan las señales de 4 a 20mA, pero este valor debido a la gráfica aplicada en dichos sensores se requiere la utilización de una linealización por medio de escalas para convertir las unidades digitales, que son los datos con los que trabaja el PLC, con los valores reales que lee el sensor o con valores de porcentaje.

#### 5.2.2.4 VARIADOR

Debido a que el variador tiene un tiempo de vida útil, se necesita llevar un control para realizar mantenimiento o reparación de dicho variador por lo cual se realiza el mismo sistema de control que el realizado en el Tiempo\_Cambio de las bombas solo que en este caso para cada uno de los variadores.

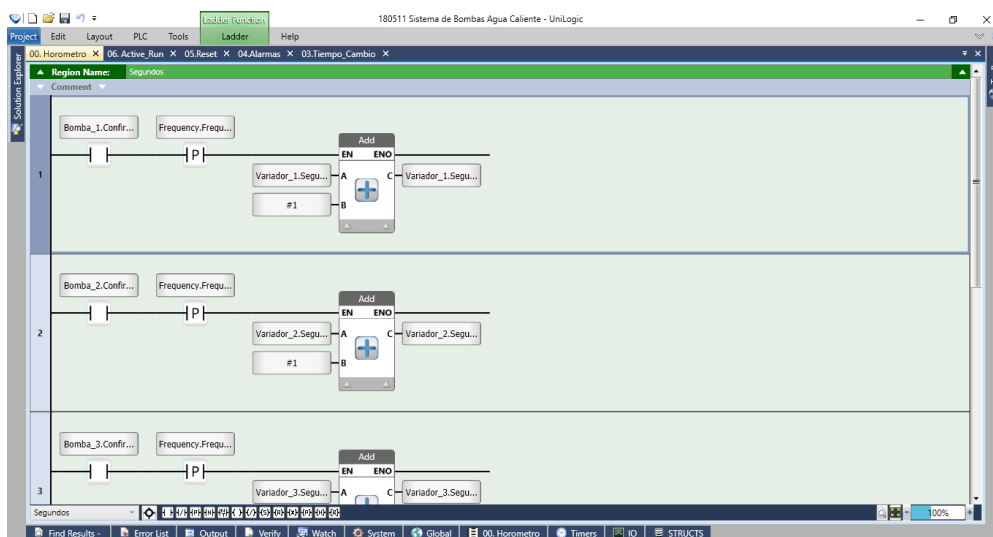


Ilustración 36. Variador-Segundos

Fuente: Propia

#### 5.2.2.5 MODBUS

∞ Registro Variadores

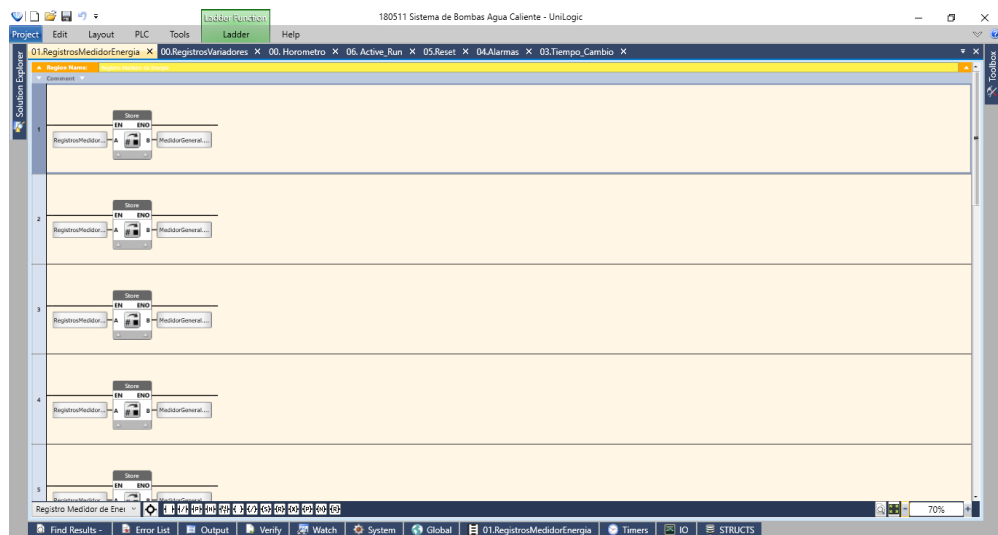


**Ilustración 37. Registro Variadores Parte 1**

Fuente: Propia

Los registros generados por el variador son una gran cantidad, pero en este caso se extraerán un arreglo de 6 registros utilizando el orden establecido por la hoja técnica del variador ABB ACS550 como son: frecuencia, corriente, voltaje, potencia, velocidad y presión asignando a cada una de las variables que necesitamos en la lógica.

∞ Registro Medidor de Energía



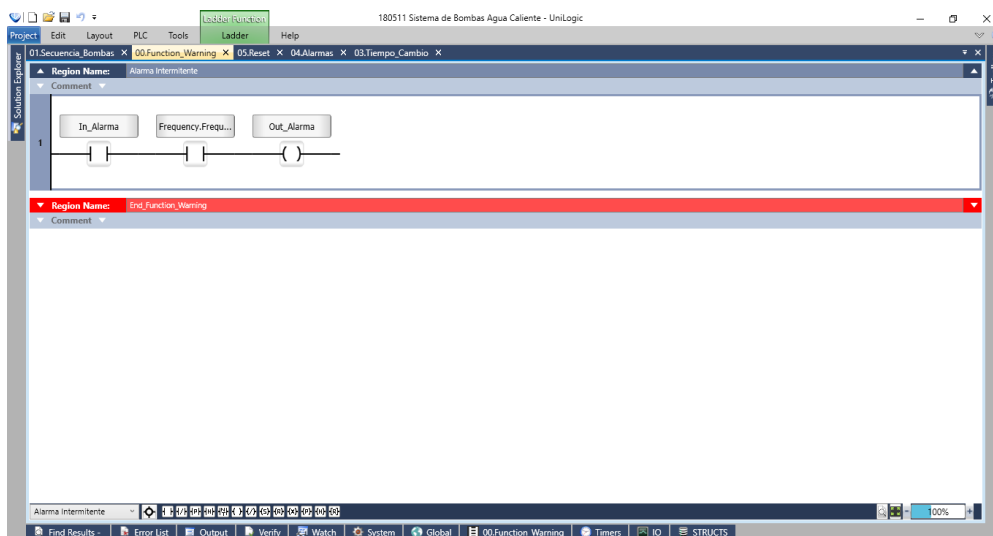
**Ilustración 38. Registros Medidor de Energía**

Fuente: Propia

De la misma manera que los registros de los variadores, el medidor de energía puede comunicar gran cantidad de datos por medio de la comunicación Modbus teniendo asignados los valores que se desean medir explicados en la hoja técnica, configurando la dirección para las variables que se desean monitorear se asignan a las variables que se presentaran en el HMI.

### 5.2.2.6 FUNCIONES

#### ∞ Function Warning

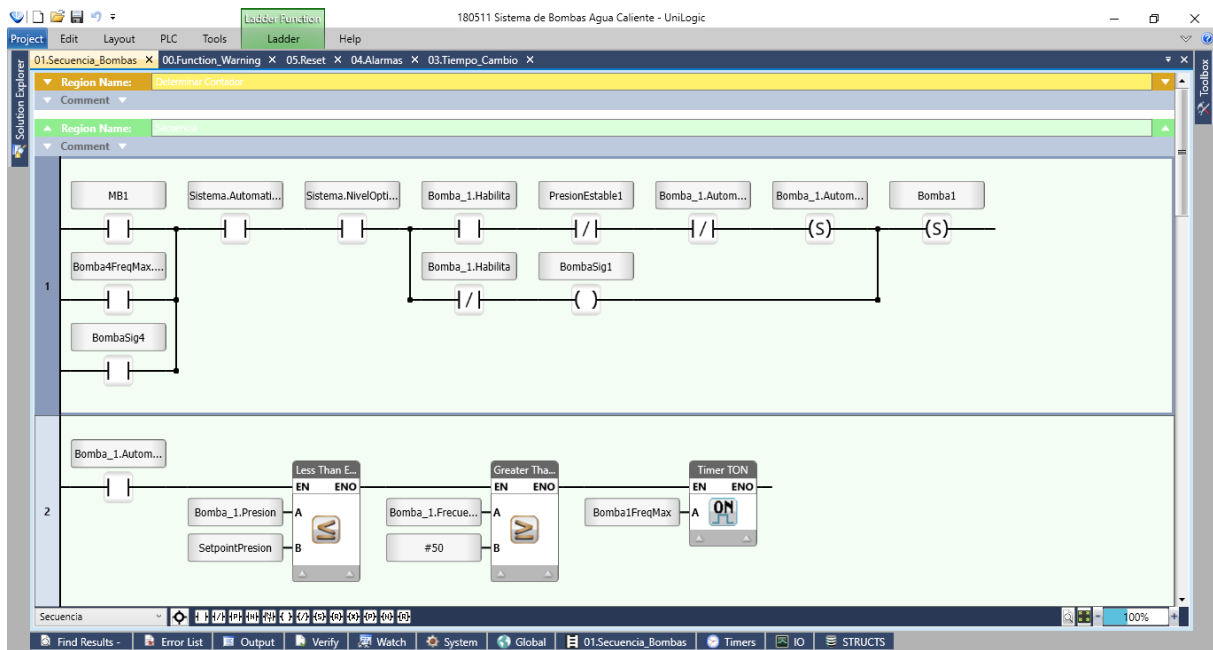


**Ilustración 39. Alarma Intermitente**

Fuente: Propia

La función Funtion\_Warning facilita la habilitación de las alarmas de cada una de las bombas y de los variadores en el HMI activándolos de acuerdo a la programación, por medio de una intermitencia.

#### ∞ Secuencia Bombas



**Ilustración 40. Secuencia Bombas-Secuencia**

Fuente: Propia

La lógica de la secuencia depende del Master que este asignado, MB#, este se activa dependiendo de la variable CT, asignado un número a cada bomba. Realizada dicha activación se procede a la verificación de que el sistema esté en modo automático y los tanques estén llenados a un nivel óptimo para poder trabajar. Confirmadas dichas condiciones se enfrentan a dos opciones las cuales son: Si la bomba no está deshabilitada para mantenimiento puede activar la bomba y la marca Bomba#, que más adelante se utilizara para el apagado de bombas, y activar un temporizador, siempre y cuando la presión en la línea de distribución este por debajo del setpoint de presión y la frecuencia provista por el variador sea menor al setpoint máximo de frecuencia, para poder proseguir con la siguiente bomba, activada por la finalización del temporizador, y realizar la verificación que se realizó en la primera, caso contrario se prosigue a la activación de BombaSig# y Bomba# habilitando la siguiente bomba en la secuencia.

Realizada la secuencia ascendente se prosigue la seguridad de frecuencias bajas, después de un tiempo de establecido y activado por los sets de cada una de las bombas por medio de la variable Bomba#, inicia la secuencia descendente iniciando



con la desactivación de la bomba a la izquierda de la secuencia, ej. Si bomba 3 es Master iniciaría la desactivación con la bomba 2, cumpliendo la condición de la comparación de la frecuencia de la bomba sea menor al setpoint mínimo de frecuencia habilitando un temporizador y prosiguiendo con la frecuencia revisando las condiciones establecidas.

## VI. CONCLUSIONES

Para finalizar la investigación se debe demostrar y plantear lo que sucedió en dicho proyecto, como afirma el autor Paz (2014):

son el lugar para que le digas al lector que sucedió, pero además son tus hallazgos más importantes de la investigación,... (p. 138)

Empleando un criterio subjetivo, se aplica el desarrollo de los resultados que se obtuvo durante el proyecto realizado.

- ∞ La interfaz en el HMI fue diseñada con éxito y además tiene las características de correcta señalización y observación de datos para la facilitación de los operadores.
- ∞ La lógica de programación que se desarrollo toma en cuenta los niveles de los tanques para el uso de bombas en óptimas condiciones y de la misma manera la secuencia manteniendo la presión requerida a través de toda la línea de distribución considerando las frecuencias bajas en la bomba apagándolas en cuanto se programó, por lo tanto, trabaja bajo los niveles de seguridad requeridos. En cuanto a la alternancia mensual, se realizaron pruebas de cambios horarios y realizo la secuencia en el orden establecido y a dentro delos tiempos propuesto.
- ∞ Mediante análisis matemáticos y márgenes de seguridad se demostró la elección de los sensores de los sensores de manera que no influyan en un problema en el sistema.
- ∞ Programada la lógica en el PLC, dentro de ella se utilizó un método de pulsos para el conteo de horas de los variadores cuando se realice su activación.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **HACIA LA EMPRESA**

El desarrollo del proyecto se realizó en R y D, y realizada en la empresa cliente Gildan Sula Textiles por lo que se plantean recomendaciones relacionadas con cada una de ellas.

Primeramente, en el caso de R y D, se recomienda elaborar un informe con los detalles sobre nuevas implementaciones, proyectos desarrollados, desarrollo de nuevas tecnologías y cualquier información que sirva como fuente en un futuro proyecto.

De igual manera la implementación de diseños CAD en las HMI o SCADA's se vuelve una prioridad a la hora de visualizar procesos y sistemas debido a la rapidez con la que se pueden atacar los problemas por parte de los ingenieros o los técnicos de mantenimiento por lo que de ahora en adelante se vuelve un requerimiento del cliente.

### **HACIA LA UNIVERSIDAD**

Sobre todo, la experiencia durante el proyecto de graduación, se tomó en cuenta cada uno de los conocimientos desarrollados durante los años cursados en UNITEC, por lo que gracias a la base instruida por cada uno de los catedráticos el desarrollo del mismo se dio con éxito.

Pero de igual manera los aspectos en los que se sintió deficiencia son los que se plantearan a continuación debido a que requirieron mayor tiempo de investigación y consulta a ingenieros o técnicos en el tema, sin embargo, pueden tener mayor enriquecimiento durante cada catedra en el aula de clase.

- Protocolos de comunicación. Ante las demandas de los clientes, se necesitan una profundización más a detalle de cada una de las comunicaciones empleadas en la industria, ya que en nuestro medio se utilizan comunicaciones industriales basadas

en métodos antiguos, pero que en la actualidad por su facilidad de conexión y bajo costo aún son técnicas muy utilizadas y básicas.

- Programación de bloques y codificación tipo C. Dentro de la gama de controladores PLC se recurrió a la marca Phoenix Contact, su método de programación es la creación de bloques creados por el usuario por medio de codificación en C, que próximamente se podrá utilizar como un bloque de programación. Siendo esta una manera más fácil de programación para ciertos usuarios debido a la comodidad con este tipo de programación, pero de mejor manera sentir la confianza de tener el conocimiento de la programación de bloques.
- Sensórica. La amplia variedad de sensores implica una gran cantidad de información casi imposible de conocerla, pero el conocimiento del empleo y funcionalidad básica de estos sensores conlleva a la experimentación con gran facilidad reconociendo los pros y contras de cada uno de los sensores que pueden ser accesibles dentro de las clases en las que se puedan atacar estos temas.
- SCADA. Además de la comunicación con un HMI, se utilizan los softwares de SCADA, los cuales integran cualquier tipo de controlador siempre y cuando exista la comunicación necesaria para transferir información, y realizar un monitoreo o control por medio de una PC o servidor. El empleo de esta herramienta es fundamental en la industria, ya que integran la variedad de controladores en un centro de mando en el cual pueden adquirir los datos y realizar procesos y llevar una supervisión detallada de ellos.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, C. G. M., Rafael, S. F., Francisco, M. P., Gabriel, D. O., Elio, S. R., Miguel, S. P. V., ... Ricardo, M. B. (2017). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES: PRINCIPIOS BÁSICOS*. Editorial UNED.
2. Alonso, N. O., & Vvaa. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Editorial UNED.
3. Areny, R. P. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. Marcombo.
4. ASALE, R.-. (2017). Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Recuperado 8 de junio de 2018, a partir de <http://dle.rae.es/?id=0EpFbS8>
5. Briceño M., J. E. (2005). *Transmision de datos* (3ra. Edición). Mérida, Venezuela: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.
6. Daneri, P. A. (2008). *PLC: Automatización y Control Industrial*. Editorial Hispano Americana HASA.
7. Domínguez, U. S. (2013). *Máquinas hidráulicas*. Editorial Club Universitario.
8. Guerrero, V., Yuste, R. L., & Martínez, L. (2009). *Comunicaciones industriales*. Marcombo.
9. Hadfield, C. (2010). *Today's Technician: Automotive Engine Repair & Rebuilding*. Nueva York.
10. Hernández, S. J., & Pulido Martínez, A. (2011). *Fundamentos de gestión empresarial: enfoque basado en competencias*. McGraw-Hill Interamericana.
11. IO-Link. (2018). IO-Link System Description. Recuperado a partir de [http://www.io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link\\_System\\_Description\\_eng\\_2018.pdf](http://www.io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_eng_2018.pdf)

12. Jiménez, S. de las H. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
13. López, R. G. (2005). *Frío industrial: Mantenimiento y servicios a la producción*. Marcombo.
14. Martín Domingo, A. (2011). *Apuntes de Mecánica de Fluidos* (info:eu-repo/semantics/other). Madrid. Recuperado a partir de <http://oa.upm.es/6934/>
15. Martínez, J. L. G.-S., & Estornell, G. C. (2014). *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Editorial Club Universitario.
16. Namakforoosh, M. N. (2000). *Metodología de la investigación*. Editorial Limusa.
17. Ortiz, J. E. D. (2006). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Universidad del Valle.
18. Penin, A. R. (2012). *Sistemas SCADA*. Marcombo.
19. Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.
20. Robles, A. V., & Parra, B. Z. (2008). *Teoría y problemas de máquinas hidráulicas*. Horacio Escarabajal Ediciones.
21. Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Marcombo.
22. Sánchez, J. A. (2013). *Instrumentación y control básico de procesos*. Ediciones Díaz de Santos.
23. Schneider Electric. (s. f.). *Guía Soluciones Automatización* (p. 34). Francia. Recuperado a partir de <http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/guia-soluciones-aut/guia-soluciones-aut-capitulo9.pdf>

24. Textile Mills – Asociación Hondureña de Maquiladores. (s. f.). Recuperado 6 de junio de 2018, a partir de [http://www.ahm-honduras.com/?page\\_id=918](http://www.ahm-honduras.com/?page_id=918)
25. Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología: Electricidad y magnetismo, luz, física moderna*. Reverte. Recuperado a partir de <https://books.google.hn/books?id=SghjkM6MwygC&pg=PA667&dq=energia+potencial+electrica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjnytOZ7cLbAhWOWfKkHYHnD4IQ6AEIMjAC#v=onepage&q=energia%20potencial%20electrica&f=false>
26. Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación.
27. Warshaw, L. J. (s. f.). HISTORIA Y SALUD Y SEGURIDAD, 36.
28. Wilson, J. D., & Buffa. (s. f.). *Física*. Recuperado a partir de <https://books.google.com/books/about/F%C3%ADsica.html?id=KFEvYPsc5IMC>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Panel de control planta RN6, GILDAN Sula Textiles



Fuente: Propia

### Anexo 2. Variador ABB



Fuente: Propia



**Anexo 3. Montaje y cableado de variadores en panel**



Fuente: Propia

**Anexo 4. Pantalla y medidor de energía instalada en panel**



Fuente: Propia

**Anexo 5. Módulo de temperatura UNITRONICS**



Fuente: Propia