



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**INTEGRACIÓN DE SCADA PARA MONITOREO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN
TRATAMIENTO PARA TELAS, RLA MANUFACTURING**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21411160 HÉCTOR SAMUEL MENOCA OYUELA

ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNANDEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA

NOVIEMBRE 2018

Dedicatoria

A Dios: Por permitirme culminar esta etapa satisfactoriamente y haber guiado mis pasos en todo momento durante este ciclo, e iluminar mi mente para tomar siempre las mejores decisiones.

A mamá: Por tus consejos y por tu amor incomparable, por todo el esfuerzo que has hecho en todos estos años que, aunque no fue sencillo, sé que lo hiciste de todo corazón. Por haber forjado en mi la personalidad y los valores que me trajeron a redactar esta tesis el día de hoy. Porque solo tú me despedías en las mañanas al salir de casa y me recibías por las noches al llegar, te llevo en el corazón mamá, este logro también es tuyo.

A papá: Por tu trabajo duro, porque a pesar de la adversidad siempre fuiste perseverante y confiaste en mi todo momento. Porque me serviste de ejemplo y me enseñaste cosas tan valiosas que ningún grado académico te puede dar; me enseñaste a vivir. Hoy en retribución a tu esfuerzo no me queda más que decirte, "lo logramos papá".

A mis hermanos y hermanas: No tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mi durante este proceso, siempre sirvieron de ejemplo para su hermano menor. Me han dado a mis sobrinos, quienes son uno de mis grandes tesoros, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

A mis amigos: David, Lennin, Luis y Rolando fueron muchos momentos y vivencias que pasamos durante esta travesía, los echaré de menos.

A UNITEC y asociación FULLBRIGHT: Por haber confiado en mis capacidades personales e intelectuales, les agradezco haber financiado mis estudios.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 ANTECEDENTES.....	2
2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA	3
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	4
2.4 OBJETIVOS.....	4
2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2.5 JUSTIFICACION	5
III. MARCO TEÓRICO	7
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL.....	7
3.1.1 ZONAS LIBRES.....	7
3.1.1.1 ZOLI	8
3.1.1.2 ZIP	8
3.1.1.3 RIT.....	8
3.1.2 PROCESO DE TINTURA	9
3.2 CONTROLADOR PID.....	9
3.2.1 BANDA PROPORCIONAL	11
3.2.2 ACCIÓN INTEGRAL.....	11
3.2.3 ACCIÓN DIFERENCIAL.....	11
3.2.4 SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID.....	12
3.2.4.1 REGLA DE ZIEGLER-NICHOLS PARA SINTONIZAR CONTROLADORES PID	12
3.2.4.2 PRIMER MÉTODO	13
3.2.4.3 SEGUNDO MÉTODO.....	14
3.3 SISTEMA SCADA.....	15

3.3.1	<i>FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA</i>	16
3.3.2	<i>ARQUITECTURA DE UN SISTEMA SCADA</i>	18
3.3.3	<i>PARTES DE UN SISTEMA SCADA</i>	19
3.3.4	<i>SEGURIDAD EN UN SISTEMA SCADA</i>	20
3.3.5	<i>SOFTWARE DE SCADA</i>	21
3.4	<i>CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE</i>	23
3.4.1	<i>COMPONENTES DE UN PLC</i>	25
3.4.2	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS PLC</i>	27
3.4.2.1	<i>CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN</i>	27
3.4.2.2	<i>CLASIFICACIÓN SEGÚN CANTIDAD DE E/S</i>	28
3.4.3	<i>PROGRAMACIÓN</i>	28
3.5	<i>REDES INDUSTRIALES</i>	29
3.5.1	<i>SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SEÑAL</i>	30
3.5.1.1	<i>MEDIOS GUIADOS</i>	30
3.5.1.2	<i>MEDIOS NO GUIADOS</i>	31
3.5.2	<i>NIVELES DE TENSIÓN</i>	31
3.5.2.1	<i>RS-232</i>	32
3.5.2.2	<i>RS-422A</i>	33
3.5.2.3	<i>RS-485</i>	33
3.5.3	<i>MODBUS</i>	34
3.6	<i>MECÁNICA DE FLUIDOS</i>	35
3.6.1	<i>DENSIDAD DE UN FLUIDO</i>	35
3.6.2	<i>PRESIÓN</i>	36
3.6.3	<i>ESTÁTICA DE FLUIDOS</i>	36
3.6.3.1	<i>LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA</i>	37
3.6.4	<i>ECUACIÓN DE BERNOULLI</i>	38
IV.	METODOLOGÍA	39
4.1	<i>HIPÓTESIS</i>	39

4.1.1	VARIABLES DEPENDIENTES.....	40
4.1.2	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	40
4.2	MÉTODO Y ENFOQUE.....	40
4.3	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	41
4.4	CRONOGRAMA	42
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
5.1	ANÁLISIS	43
5.1.1	LINEALIZACIÓN DE LA SEÑAL	43
5.2	RESULTADOS.....	45
5.2.1	DESARROLLO DE SCADA.....	45
5.2.1.1	PANTALLA DE AGUA CALIENTE HACIA PLANTA.....	46
5.2.1.2	PANTALLA DE PID DE BOMBAS DE AGUA CALIENTE.....	47
5.2.1.3	PANTALLA DE AGUA SUAVE HACIA PLANTA.....	48
5.2.1.4	PANTALLA DE PID DE BOMBAS DE AGUA SUAVE.....	49
5.2.1.5	PANTALLA DE SCADA DE RESUMEN DE AGUA.....	50
5.2.2	PROGRAMACIÓN FINAL.....	50
5.2.2.1	MAIN.....	51
5.2.2.2	MODBUS.....	52
5.2.2.3	PID DE BOMBAS.....	53
5.2.2.4	CONTROL MANUAL DE BOMBAS.....	53
5.2.2.5	CONTROL AUTOMÁTICO DE BOMBAS.....	54
VI.	CONCLUSIONES	56
VII.	RECOMENDACIONES	57
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	58
IX.	ANEXOS	64
	Anexo 1. Panel de control, bombas de agua suave.....	64

Anexo 2. Panel de control, bombas de agua caliente.....	65
Anexo 3. Cuarto de bombas de agua suave.....	66
Anexo 4. Bomba centrífuga	67
Anexo 5. Variador ABB	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. POBLACIÓN ECONÓMICA ACTIVAR POR SECTORES EN HONDURAS 1980-2002.....	9
ILUSTRACIÓN 2. CONTROL PID DE UNA PLANTA.....	11
ILUSTRACIÓN 3. CURVA DE RESPUESTA EN FORMA DE S , PARA SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID.....	13
ILUSTRACIÓN 4. OSCILACIÓN SOSTENIDA CON PERIODO P_{CR} (P_{CR} SE MIDE EN SEG)	15
ILUSTRACIÓN 5. EJEMPLO SOFTWARE DE SCADA PARA EL CONTROL DE DEPÓSITOS, TUBERÍAS, VÁLVULAS Y BOMBAS DE UN PROCESO HIDRÁULICO.....	17
ILUSTRACIÓN 6. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y MANDO	18
ILUSTRACIÓN 7. ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN DE UN SISTEMA SCADA.....	20
ILUSTRACIÓN 8. SEGURIDAD EN REDES SCADA	21
ILUSTRACIÓN 9. WONDERWARE INDUSOFT WEB STUDIO.....	23
ILUSTRACIÓN 10. PLC AXC 1050.....	24
ILUSTRACIÓN 11. BLOQUES INTERNOS QUE COMPONEN UN PLC	25
ILUSTRACIÓN 12. ARQUITECTURA BÁSICA DE UN PLC.....	27
ILUSTRACIÓN 13. EJEMPLO DE BLOQUE DE PROGRAMACIÓN	29
ILUSTRACIÓN 14. CONEXIÓN RS-232.....	32
ILUSTRACIÓN 15. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE SEÑALES BALANCEADAS	33
ILUSTRACIÓN 16. CONEXIÓN MULTIPUNTO	34
ILUSTRACIÓN 17. DEFINICIÓN DE LA PRESIÓN	37
ILUSTRACIÓN 18. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	42
ILUSTRACIÓN 19. SENSOR DE PRESIÓN CENTRIPO, RANGO DE MEDICIÓN 0-300 PSI.....	43
ILUSTRACIÓN 20. PANTALLA DE SCADA, PARA CONTROL DE BOMBAS DE AGUA CALIENTE EN RLA MANUFACTURING	46
ILUSTRACIÓN 21. PANTALLA DE SCADA PARA CONTROL DE PARÁMETROS PID, BOMBAS AGUA CALIENTE EN RLA MNUFACTURING.....	47
ILUSTRACIÓN 22. PANTALLA DE SCADA, PARA CONTROL BOMBAS DE AGUA SUAVE, RLA MANUFACTURING	48

ILUSTRACIÓN 23. PANTALLA DE SCADA PARA CONTROL DE PARÁMETROS PID, BOMBAS DE AGUA SUAVE EN RLA MANUFACTURING	49
ILUSTRACIÓN 24. PANTALLA DE SCADA DE RESUMEN PARA MONITOREO DE AGUA SUAVE/CALIENTE	50
ILUSTRACIÓN 25. MAIN, PROGRAMA PARA CONTROL DE BOMBAS AGUA SUAVE/CALIENTE	51
ILUSTRACIÓN 26. TABLA MODBUS PARA COMUNICACIÓN DE PLC CON SCADA.....	52
ILUSTRACIÓN 27. PID DE BOMBAS PARA MANTENER PRESIÓN DE TRABAJO ESTABLE.....	53
ILUSTRACIÓN 28. PROGRAMACIÓN DE CONTROL MANUAL DE BOMBAS	53
ILUSTRACIÓN 29. PROGRAMACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO DE BOMBAS DE AGUA SUAVE/CALIENTE	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. REGLA DE SINTONÍA DE ZIEGLER-NICHOLS BASADA EN LA RESPUESTA DE ESCALÓN DE PLANTA (PRIMER MÉTODO).....	14
TABLA 2. SOFTWARE SCADA MÁS COMUNES	22
TABLA 3. NIVELES DE TENSIÓN EN LA NORMA RS-232.....	32
TABLA 4. NIVELES DE TENSIÓN EN LA NORMA RS-422.....	33
TABLA 5. COMPARACIÓN DE FALLAS Y PAROS EN PLANTA.....	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. DENSIDAD	35
ECUACIÓN 2. PRESIÓN.....	37
ECUACIÓN 3. PENDIENTE DE UNA RECTA	44
ECUACIÓN 4. ECUACIÓN DE UNA RECTA	44

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. Flujo: caudal de un fluido continuo.
5. 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.
6. Protocolo: Conjunto de reglas que se establecen en el proceso de comunicación entre dos sistemas.
7. Textil: Pertenece o relativo a los tejidos.
8. Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.
9. SCADA: Sistema de monitoreo para entornos industriales.
10. Setpoint: Término usado en los controladores PID para establecer el valor deseado.
11. Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente.

I. INTRODUCCIÓN

En el trabajo expuesto a continuación se detallará a profundidad el proyecto de mejora implementado en RLA manufacturing.

La industria textil en Honduras es una de las mayores generadoras de empleo, especialmente en la zona norte de nuestro país. Como en toda industria textil el agua tratada para las telas es de vital importancia. El siguiente trabajo se centrará en el monitoreo a través de un SCADA para un proceso típico dentro de la industria textil para el manufacturado de las telas.

El sistema de este proyecto está compuesto por un total de 8 bombas centrífugas (3 para suministrar agua caliente y 3 para suministrar agua suave) las cuales son el actuador mecánico más importante en el proyecto. "Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo"(McNaughton, 2004, p. 71). Cada bomba centrífuga será impulsada por un motor cuya potencia ha sido calculada en concordancia con la aplicación. De la misma forma cada motor tendrá un respectivo variador de frecuencia para proteger los equipos, ahorrar energía, y asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema de distribución tiene en sus tuberías un sensor de presión, magnitud física que debemos mantener lo más estable posible haciendo uso de un proceso PID (proporcional, integral, derivativo). Todas las variables y accionamientos son controladas por un PLC de la marca Phoenix Contact, que está integrado con sus respectivos módulos de entradas y salidas digitales. El sistema SCADA es monitoreado desde una oficina principal que está ubicada aproximadamente a unos 400 metros de la ubicación del cuarto de bombas. La comunicación entre el SCADA y el sistema de distribución se da a través de comunicación Modbus Tcp/Ip, siendo la integración del SCADA una mejora significativa para el proceso de tela.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

La empresa RLA manufacturing, perteneciente al grupo Fruit Of The Loom, es una industria dedicada a la manufactura de telas, en las cuales intervienen todos los procesos necesarios para poder tratar y manufacturar dichas telas para poder exportarlas. Cada proceso de tratamiento para las telas crea la necesidad de implementarlo a un proceso de automatización, y cada proceso automatizado trae consigo la necesidad de realizar un nuevo proyecto.

RLA Manufacturing cuenta con tanques de aproximadamente 350,000 galones de agua tratada, tanto para agua suave como para agua caliente. Dichos tanques están ubicados a una distancia considerable de 200 metros de la planta de producción, por lo que les surgió la necesidad de trasladar dichas aguas hasta la planta donde se encuentra la producción de telas.

Las bombas centrífugas son las encargadas de llevar el agua desde los tanques hasta la planta de producción a través de las tuberías instaladas, cabe mencionar que cada bomba centrífuga cuenta con un motor eléctrico para su funcionamiento, el cual está controlado por un variador de frecuencia ABB ACS550. En total hay instalados 8 variadores de frecuencia (5 para agua suave y 3 para agua caliente) los cuales están controlados por un PID, la señal de entrada del PID está dada por sensores de presión que tienen un rango de medición de 0 a 300 PSI.

Existen 3 cuartos de bombas (dos para agua suave y uno para agua caliente), para agua suave tenemos el cuarto de bombas #1 y el cuarto de bombas # 2 los cuales contienen dos y tres bombas respectivamente, mientras que las tres bombas de agua caliente se encuentran en un mismo cuarto. En el cuarto de bombas de agua suave #1 están instalados los paneles de control que contienen los PLCs con sus respectivos módulos que serán implementados en el nuevo proyecto de mejora.

2.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

En la industria textil se manejan numerosos procesos para las telas como ser: secado, acabado, tejido, teñido, entre otros. Siendo el proceso de teñido el cual demanda el suministro de agua tratada a ciertas condiciones, para poder llevar a cabo un proceso de producción más eficiente.

El principal problema que se encontró en RLA Manufacturing, y el cual llevó a dicha empresa a solicitar los servicios de RyD industrial, fue el hecho de no tener el control suficiente sobre la cantidad de agua que suministraban las bombas en base a la presión medida por los sensores, además de no poder saber en qué momento se había detenido alguna bomba, la única forma de comprobar si una bomba estaba trabajando o no era llegando directamente a los cuartos de bombas (que se encuentran aproximadamente a 150 m de la zona de monitoreo o cuando se reportaba falta de agua suave o falta de agua caliente en la planta de producción debido una baja presión (se manejan rangos de presión entre 40 y 65 psi), siendo esta última causa, la más grave debido a que al faltar agua tratada la producción se ve afectada sustancialmente debido a que el proceso de teñido no se ejecuta de manera correcta al hacerse sin la debida cantidad de agua requerida.

La pérdida de presión en las tuberías era ocasionada la mayor parte del tiempo por un aumento en la producción o por algún falla en alguna de las bombas, lo antes mencionado no es tan fácil de predecir por lo que muchos trabajadores tenían que dedicar muchas horas laborales en movilizarse hasta los cuartos de bombas para realizar una respectiva inspección y verificar que todo fuera bien, además cabe mencionar que si una bomba o más fallan súbitamente y esta condición no es corregida en su brevedad, obliga a las bombas en operación a trabajar de una manera más forzada, ocasionando con esto una disminución en la vida útil de las bombas y motores a largo plazo.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

Después de varias visitas a RLA Manufacturing, además de estudiar los resultados obtenidos de proyectos pasados, y teniendo en cuenta el alcance y la solución del problema, surgieron las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál será el valor de presión óptimo de trabajo para el PID tanto de las bombas de agua suave como de agua caliente?
2. ¿Cómo se adaptará el personal de RLA Manufacturing al sistema SCADA?
3. ¿Cómo disminuirán las fallas en el proceso al migrar de un sistema semi automático a un sistema automático?

Las preguntas propuestas anteriormente surgieron durante el proceso de levantamiento del proyecto y durante los primeros días de experimentación y pruebas en el campo.

2.4 OBJETIVOS

Para poder redactar nuestros objetivos será conveniente aclarar la finalidad de estos y no confundirlo con otros puntos importante de la investigación. "Para evitar confusiones y repeticiones innecesarias, los objetivos constituyen el "para qué" del estudio, mientras el "qué" del estudio estaría presentado en el planteamiento del problema"(Tena Suck & Turnbull Plaza, 2001, p. 23).

Aclarado lo anterior podemos proseguir a definir nuestros objetivos, habiendo conceptualizado y condensado los propósitos del proyecto.

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la integración del sistema SCADA de la red de distribución de agua tratada para un monitoreo efectivo de las variables y estados del equipo durante el proceso.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el valor de presión óptimo de trabajo para el PID para el suministro tanto de agua suave como de agua caliente.
- Comprobar la adaptación del personal de RLA Manufacturing con el sistema SCADA.
- Analizar la disminución de las fallas en el proceso al migrar de un sistema semi automático a un sistema automático.

2.5 JUSTIFICACION

La falta de monitoreo en los procesos electromecánicos puede resultar fatal en una planta de producción textil, ya que esto puede verse reflejado en grandes pérdidas monetarias diariamente. Por lo antes mencionado es de vital importancia la implementación de un sistema automático que me brinde la información suficiente sobre el proceso para tener el mayor control posible sobre la aplicación. Por consiguiente, es prioritario la integración de un sistema SCADA, el cual me brinda toda la información necesaria y concatenada sobre mi proceso de interés.

La importancia de la implementación de un PID para la presión también es un factor importante y es una condición para tomar en cuenta para el alcance de nuestro proyecto. El PID nos proporciona un control estricto de la presión de trabajo, lo cual nos dará un flujo constante de agua en la planta de producción por lo que la calidad de las telas será la óptima.

Los procesos de la industria textil llamados "húmedos" son procesos de transferencia de masa y energía en los que el principal medio de transporte es el agua, que en la mayor parte de los casos está en estado líquido, pero también puede estar en estado vapor. (Pesok Melo, 2012, p. 195)

Debido a la importancia que representa eliminar la presión oscilante e inestable, el PID se vuelve una necesidad.

En una industria textil tan importante donde todos los días las producciones son millonarias, parar producción por tiempos incluso cortos pueden representar pérdidas de varios millones de Lempiras, por lo que el control y seguridad de los procesos es de carácter obligatorio.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL

La industria textil en Honduras es uno de los rubros más importantes a nivel económico en la costa norte del país, la cual se ha desarrollado fructíferamente durante los últimos años.

Sánchez (1995) afirma:

La industria textil ha sido durante los últimos cincuenta años una categoría industrial importante en Centroamérica. Ha tenido una influencia importante tanto en el proceso de industrialización por sustitución de importaciones de los años 60's como en la iniciativa de promoción de exportaciones a terceros mercados en los años 80's. Indudablemente ha tenido una participación importante en la generación de empleo y recientemente en la generación de divisas para los países del área. (p. 4)

Dicho rubro ha generado miles de empleos que constituyen una gran parte de la fuerza trabajadora de Honduras además de aportar muchos impuestos al gobierno a causa del pago de impuesto sobre la renta.

La industria textil no es solo uno de los rubros más antiguos de la humanidad, también es un rubro con gran futuro debido a que suple necesidades de primer orden alrededor de todo el mundo. "Desde que aparecieron sobre la Tierra, los seres humanos han recurrido a la ropa y el alimento para sobrevivir. La industria de la confección textil empezó muy pronto en la historia de la humanidad"(Warshaw, s. f., p. 89).

3.1.1 ZONAS LIBRES

Fruit of the Loom es una de las industrias textiles más importantes dentro del territorio nacional, y dicho grupo (al igual que las demás textileras existentes en nuestro país) funciona bajo la denominación de zona libre. "Honduras cuenta desde 1976 con una normativa relacionada con la IME y la creación de la Zona Libre de Puerto Cortés, cuyo decreto fue reglamentado en septiembre de 1977". (Peters, 2004, p. 13)

Desde ese entonces, la industria textil ha trabajado bajo esos términos, con ciertas concesiones, pero creando empleo masivo para los hondureños. Dentro de las zonas libres existen diversos regímenes que tienen diferentes características podemos mencionar las reseñadas a continuación.

3.1.1.1 ZOLI

Son zonas libres en nuestro territorio nacional pero que están bajo cierta vigilancia fiscal, sin poseer población residente y además está dotada de un estricto control de seguridad con delimitaciones claras para la entrada y salida de personal y vehículos.

3.1.1.2 ZIP

Significa Zonas Industriales De Procesamiento, y fueron creadas con el principal objetivo de crear empleo y aumentar las exportaciones ya existentes. Dicha zona cuenta con los mismos requisitos y beneficios fiscales que las ZOLI, pero existen algunas diferencias marcadas entre ellas. La principal característica que tiene las ZIP es que son parques industriales de propiedad y administración privada.

3.1.1.3 RIT

Significa Régimen De Importación Temporal y existen desde 1984, teniendo objetivos muy semejantes a los de las ZIP además que tienen una producción destinada únicamente al mercado internacional. Toda empresa que opera bajo este régimen suspende temporalmente el pago de los derechos aduaneros, impuesto general de ventas y cualquier otro gravamen que dichas empresas generen en el ejercicio de sus operaciones para generar exportaciones. La generación de empleo en la industria manufacturera (ver ilustración 1), ha formado parte importante de la fuerza laboral de Honduras desde hace muchos años.

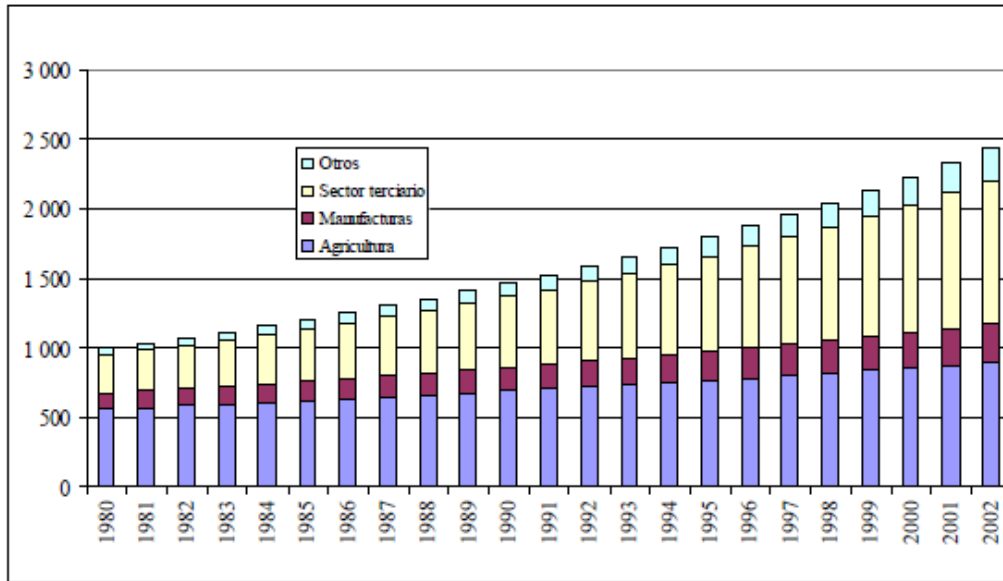


Ilustración 1. Población económica activa por sectores en Honduras 1980-2002

Fuente:(Peters, 2004)

3.1.2 PROCESO DE TINTURA

Este es uno de los procesos más complejos e importantes de todo el procedimiento textil, y el cual constituye el proceso más importante para la aplicación de nuestro proyecto. En este proceso de tintura o teñido es en donde se le da la tonalidad de color deseado a las telas. "Los colorantes poseen color porque absorben determinadas longitudes de onda del espectro visible. El color del colorante será entonces el resultado de la mezcla de las longitudes de onda no absorbidas o complementarias de las absorbidas " (Pesok Melo, 2012, p. 63).

3.2 CONTROLADOR PID

Los controladores PID existen desde hace muchos años, y nacieron como un modelo matemático con la finalidad de corregir o atenuar los errores humanos en la conducción de barcos.

A pesar de ser una tecnología antigua sigue siendo usada en la actualidad y tiene múltiples aplicaciones a nivel industrial. Forma parte fundamental para el control preciso de procesos, no solo en la industria sino también en robótica y electrónica.

La utilidad de los controles PID estriba en que se aplican en forma casi general a la mayoría de los sistemas de control. En particular, cuando el modelo matemático de la planta no se conoce y, por lo tanto, no se pueden emplear métodos de diseño analíticos, es cuando los controles PID resultan más útiles. En el campo de los sistemas para control de procesos, es un hecho bien conocido que los esquemas de control PID básicos y modificados han demostrado su utilidad para aportar un control satisfactorio, aunque tal vez en muchas situaciones específicas no aporten un control óptimo. (Ogata, 2010, p. 567)

Como podemos apreciar en el enunciado anterior la razón principal para utilizar un PID es cuando necesitamos control riguroso sobre un proceso, que tiene que ser de lazo cerrado y siempre apoyándonos de la variable de entrada para poder controlar la salida.

El término PID se debe a que él PID tiene una componente proporcional, integral y derivativa de las cuales cada componente cumple una función especializada y única. La componente proporcional nos indica en que proporción debemos aumentar nuestra salida con respecto a la medición de la señal de entrada. La componente integral nos da la suma de todos los errores acumulados para poder sacar un promedio, y la componente derivativa nos calculará en que tiempo o con qué frecuencia se producirá el error.

“En general se habla de controlador PID (ver ilustración 2), porque cada controlador tiene una componente proporcional, una integral y una derivativa” (Colmenares, Mata, & Revollar, 2005, p. 4).

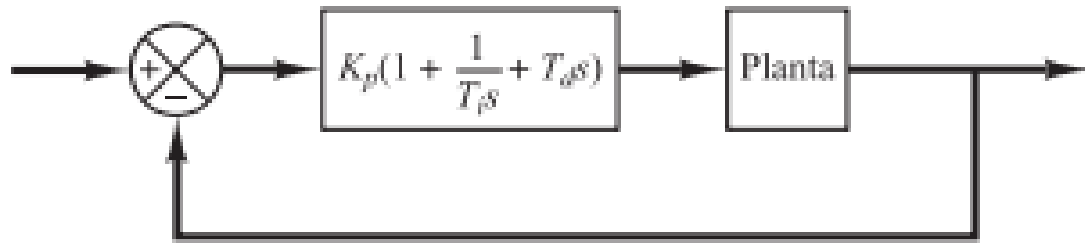


Ilustración 2. Control PID de una planta

Fuente:(Ogata, 2010)

3.2.1 BANDA PROPORCIONAL

La banda proporcional se define solamente como una acción proporcional. Podemos observar el comportamiento de la banda proporcional en dos características principales:

- ❖ Es conveniente expresar la entrada y la salida del regulador PID en magnitudes unitarias (porcentajes de la escala del medidor).
- ❖ El mando está limitado a cierto rango de valores. Esta banda es el resultado del error generado por el máximo mando.

3.2.2 ACCIÓN INTEGRAL

Esta acción nos permite corregir el error generado por perturbaciones externas que son muy difíciles de corregir por la banda proporcional. “Un error constante produce una acción integral creciente: cada unidad de tiempo se repite la acción proporcional R veces” (Pagola, 2009, p. 171).

3.2.3 ACCIÓN DIFERENCIAL

Una acción derivativa o diferencial tiene la cualidad de poder calcular pendientes de una recta, aprovechándonos de este teorema matemático e integrándolo a

controladores PID podemos decir que la acción derivativa nos sirve para calcule cuando (en qué momento) fallará nuestro sistema.

3.2.4 SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID

Los controladores PID pueden ser ajustados manualmente (prueba y error) y por la sintonización que traen integrados los controladores PID en los equipos de automatización de la actualidad.

La sintonización del controlador PID se da de manera automática y genera valores aproximados que serán óptimos para nuestro proceso de control. Dicha sintonización es regida por varios teoremas matemáticos y de muestreo que hacen que la sintonización sea lo más exacta posible.

3.2.4.1 REGLA DE ZIEGLER-NICHOLS PARA SINTONIZAR CONTROLADORES PID

Ziegler y Nichols fueron dos eruditos que propusieron un modelo matemático para poder sintonizar o autoajustar los parámetros de un controlador PID.

Ogata (2010) Afirma:

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_I y del tiempo derivativo T_d , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. (Después de la propuesta inicial de Ziegler-Nichols han aparecido numerosas reglas de sintonía de controladores PID. Estas reglas están disponibles tanto en publicaciones técnicas como de los fabricantes de estos controladores.). (p. 569)

Lo mencionado anteriormente nos sirve como respaldo matemático para poder calcular los valores precisos de nuestra sintonización automática del controlador PID.

Ziegler y Nichols propusieron dos métodos para la sintonización de los controladores PID. "El método más empleado se basa en una medida única de respuesta en frecuencia, empleando el propio sistema de control como oscilador para generar la frecuencia de oscilación" (Pagola, 2009, p. 174).

3.2.4.2 PRIMER MÉTODO

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S (ver ilustración 3). Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t)=K$. (Ogata, 2010, p. 569)

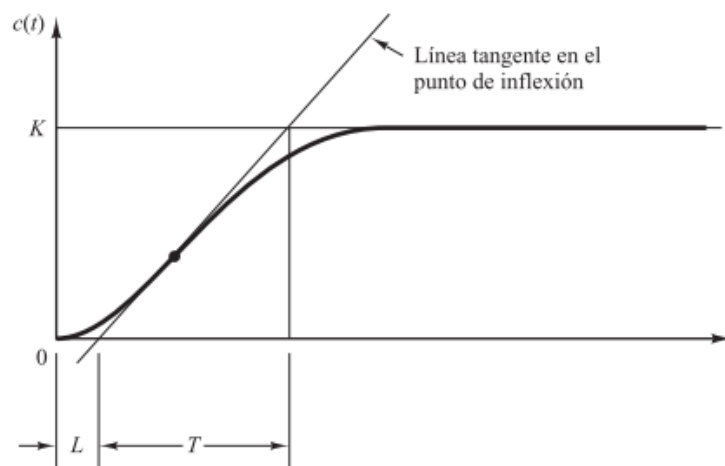


Ilustración 3. Curva de respuesta en forma de S, para sintonización de controladores PID

Fuente:(Ogata, 2010)

Tabla 1. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta de escalón de planta (primer método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

Fuente: (Ogata, 2010)

3.2.4.3 SEGUNDO MÉTODO

Ogata (2010) Menciona que:

En el segundo método, primero se fija $T_i = \infty$ y $T_d = 0$ (ver tabla 1). Usando sólo la acción de control proporcional, se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente. (p. 570)

Del texto anterior podemos apreciar la gráfica siguiente (ver ilustración 4) para esclarecer los conceptos.

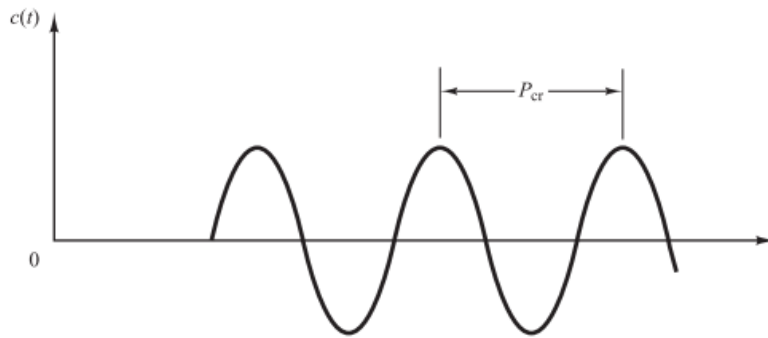


Ilustración 4. Oscilación sostenida con periodo P_{cr} (P_{cr} se mide en seg)

Fuente: (Ogata, 2010)

3.3 SISTEMA SCADA

Los sistemas SCADA son muy populares en las industrias de hoy en día, ya que permite un mayor control de los múltiples procesos que se involucran en una planta.

Un sistema SCADA permite una interacción entre el usuario y la planta o sistema a controlar. Dichos elementos de interacción se basan en paneles o pantallas con gráficos visuales que permiten a usuarios poco experimentados o implicados en el control a bajo nivel comprender e interpretar los valores que se recogen del estado de una planta. El control directo se realiza gracias a los autómatas programables, robots, reguladores analógicos, PCs industriales, etc., que reciben consignas a través del operario mediante los sistemas SCADA y de los parámetros de la planta a controlar, a través de sensores. (Pardo Alonso, 2012, p. 160)

En el texto antes reseñado podemos contemplar la gran utilidad e importancia de los sistemas SCADA en la demandante industria de hoy en día, donde la seguridad y el control juegan un papel fundamental. Evitar paros en planta es el objetivo primordial y con un sistema SCADA tenemos una mejor monitorización de cada uno de los procesos en una planta industrial." Para llevar a cabo la monitorización necesitamos de un «monitor» donde mostrar los datos y un programa que los recoja, ordene y muestre

(conocido como «Scada»: Supervisory Control And Data Acquisition) que genera la acción del monitor”(Colmenar Santos & Borge Diez, 2015, p. 14).

Otra de las razones por las que los sistemas SCADA son tan populares por la interfaz amigable y el fácil uso que se le proporciona al operador, sin necesidad que este sea un experto en sistemas SCADA puede operarlo fácilmente.

Castro Gil, Díaz Orueta, & Mur Pérez (2007) Mencionan que:

Además, el operador puede interactuar con esta representación gráfica de la planta a través del ratón y teclado del PC, pudiendo tanto cambiar el estado de salidas digitales (por ejemplo, ordenar abrir o cerrar una válvula) como cambiar consignas en reguladores, utilizando el PC la red para comunicar estas acciones a los nodos pertinentes. (p. 372)

3.3.1 FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA

Son muchas las funciones que puede cumplir un proceso con la integración de un sistema SCADA (ver ilustración 5), la mayoría de los autores coinciden en las funciones que el antes mencionado tiene, sin embargo, es importante resaltar algunas de las funciones más comunes que podemos encontrar en un sistema SCADA:

- ❖ Adquisición de datos: se encargan del acopio, procesamiento y almacenaje de la información del proceso a controlar.
- ❖ Supervisión: consiguen la representación en equipos o pantallas de la evolución de las variables de control.
- ❖ Control: permite la modificación de consigna de las variables del proceso, logrando modificar la evolución del proceso.
- ❖ Transmisión: permite la modificación de consigna de las variables del proceso, logrando modificar la evolución del proceso.

- ❖ Bases de datos: tras el proceso de adquisición de datos, estos sistemas permiten la gestión y procesamiento de estos. Suelen utilizarse sistemas de acceso a bases de datos estándar, tales como ODBC (Open DataBase Connectivity).
- ❖ Presentación: la representación gráfica en equipos interactivos de diagramas y esquemas del proceso y la utilización de equipos HMI (Human Machine Interface) son elementos comunes de los sistemas SCADA.
- ❖ Explotación: la gran cantidad de datos registrados nos aporta una gran riqueza de información susceptible de ser tratada estadísticamente para mejorar el proceso productivo. (Pardo Alonso, 2012, p. 160)



Ilustración 5. Ejemplo Software de SCADA para el control de depósitos, tuberías, válvulas y bombas de un proceso hidráulico.

Fuente:(Pardo Alonso, 2012)

A pesar de la gran cantidad de funciones que un sistema SCADA podemos concluir que existen dos funciones fundamentales que deben cumplirse estrictamente en un sistema SCADA, según (Colmenar Santos & Borge Diez (2015) "Las dos funciones básicas de un programa SCADA son: Adquisición de datos de un proceso a controlar y Gestión de esos datos" (p.71).

3.3.2 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA SCADA

Los múltiples avances en el campo de la automatización han dado como resultado la estructuración de un control de procesos (ver ilustración 6) desde la comodidad de un ordenador. De esta manera se busca controlar los procesos completos de la planta desde una computadora. Desde esta perspectiva el sistema se encuentra dividido en tres bloques principales:

- ❖ Software de adquisición de datos y control (SCADA).
- ❖ Sistema de adquisición de datos y mando (sensores y actuadores).
- ❖ Sistema de interconexión (comunicaciones).



Ilustración 6. Estructura básica de un sistema de supervisión y mando

Fuente:(Rodríguez Penin, 2007)

La comunicación entre el sistema SCADA y el PLC (cliente/servidor) se da a través de un bus de campo (en nuestro caso utilizaremos Modbus tcp/ip), con el cual podremos operar las salidas digitales o analógicas de nuestro sistema en tiempo real.

La transmisión de los datos entre el Sistema de Proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) se lleva a cabo mediante los denominados buses de campo. La tendencia actual es englobar los sistemas de comunicación en una base común, como Ethernet Industrial. Toda la información generada durante la ejecución de las tareas de supervisión y control se almacena para disponer de los datos a posteriori. (Rodríguez Penin, 2007, p. 34)

3.3.3 PARTES DE UN SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA está conformado por algunas partes o elementos esenciales (ver ilustración 7) que deben tenerse en cuenta a la hora de trabajar en un sistema de integración con SCADA. Entre estas partes tenemos las siguientes:

- ❖ Interfaz hombre-máquina: Son los dispositivos finales de comunicación y visualización con los que debe interactuar el operario de planta (pantallas, botoneras, etc.).
- ❖ Unidad central (MTU): (Master Terminal Unit) será el equipo encargado de realizar las operaciones programadas de supervisión y control en función de las variables medidas y consignas aportadas. Es la unidad maestra que controla al resto de unidades esclavo. En esta unidad también se almacena la información (bases de datos), de modo que otras aplicaciones tengan acceso a los mismos.
- ❖ Unidades remotas (RTUs): (Remote Terminal Unit) Son todas aquellas unidades, PCs o dispositivos que envían información a la unidad central y que se encuentran alejadas del centro de control. Estos dispositivos se encargan de recopilar los datos de los elementos de campo y enviarlos a la Unidad Central.
- ❖ Sistema de comunicación: Son los equipos encargados de transferir la información y los datos entre los actuadores y sensores y la unidad central, que es el punto donde se supervisa y controla el proceso. Está formado por medios de comunicación, transmisores y receptores.

- ❖ Transductores: Serán los elementos que transformarán señales físicas o químicas en señales eléctricas. (Pardo Alonso, 2012, p. 163)

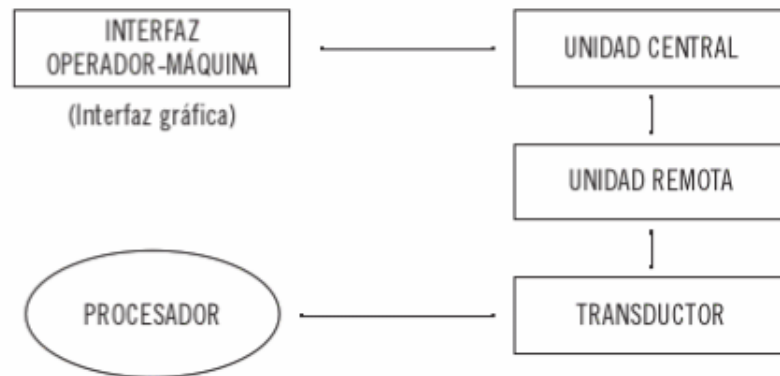


Ilustración 7. Esquema de interconexión de un sistema SCADA

Fuente:(Pardo Alonso, 2012)

Si analizamos las partes de un sistema SCADA desde un punto más básico, fundamentalmente nos damos cuenta de que podemos encontrar o dividir nuestro sistema de integración SCADA en dos partes importantes: desarrollo de la aplicación y run-time.

El Run-Time es una utilidad que permite hacer funcionar la aplicación desarrollada, y es la que está instalada en el computador y permite visualizar el proceso. Las empresas encargadas de desarrollar el sistema SCADA, lo que entregan a sus clientes son las aplicaciones Run-Time los cuales son instalados en los PC-Control.(Pardo Alonso, 2012, p. 71)

3.3.4 SEGURIDAD EN UN SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA puede resultar muy ventajoso, pero a su vez requiere de una mayor seguridad, ya que nuestros procesos de planta están en manos de un sistema SCADA, el cual puede ser manipulado por personas malintencionadas, por lo que debemos tener una buena seguridad para proteger nuestro sistema SCADA (ver ilustración 8).

Hoy en día los controles automáticos están implantados en todos los niveles sociales. Pueden controlar desde una planta de proceso hasta la distribución eléctrica de una nación. Por tanto, cualquier intromisión dentro de un sistema de este tipo puede acarrear consecuencias catastróficas.(Rodríguez Penin, 2007, p. 207)

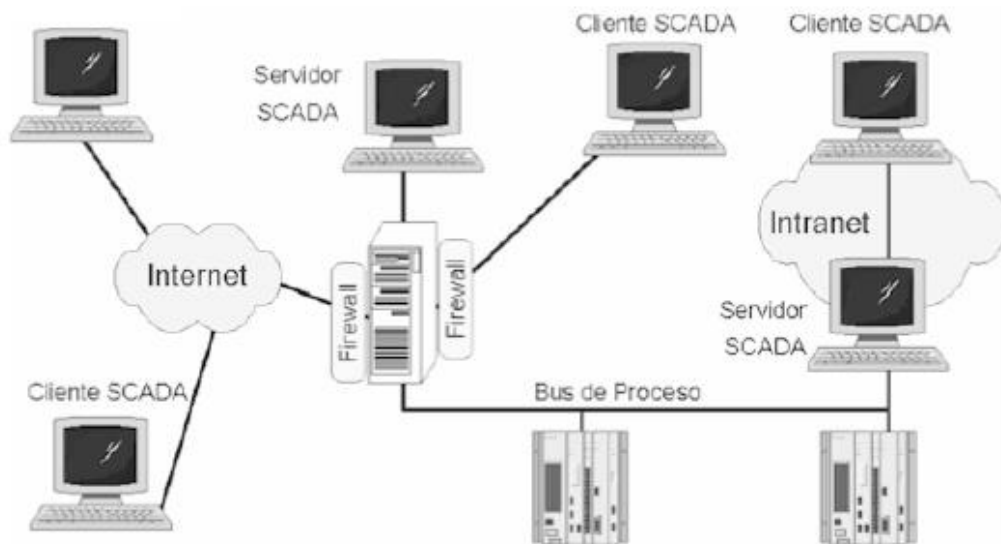


Ilustración 8. Seguridad en redes SCADA

Fuente: (Rodríguez Penin, 2007)

Por lo que nuestro sistema debe estar dotado de una amplia seguridad, incluir firewalls y routers que contengan la mayor protección posible para nuestro sistema.

3.3.5 SOFTWARE DE SCADA

Existen numerosos softwares para poder desarrollar interfaces y sistemas SCADA, normalmente cada fabricante de marca de PLC desarrolla su propio software para poder implementar sistemas SCADA

En la siguiente tabla (ver tabla 2) mostraremos algunos de los softwares más comunes según el fabricante.

Tabla 2. Software SCADA más comunes

Software SCADA	Desarrollador
Wincc	Siemens
SCADA/HMI software	ABB
RsView32	Allen Bradley
Sysmac scs	Omron
SCADA InTouch	Logitex
Labview	National Instrument
Monitor Pro	Schneider Electric

Fuente: (Pardo Alonso, 2012)

Para la implementación de nuestro proyecto particularmente se usó el software InduSoft Web Studio 8.1 (ver ilustración 9).



InduSoft
Web Studio
Certified System Integrator

Ilustración 9. Wonderware InduSoft Web Studio

Fuente: página oficial de InduSoft

3.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Un PLC o un controlador lógico programable es un dispositivo muy popular en el mundo de la automatización hoy en día (ver ilustración 10). Los PLC nacieron como un reemplazo para los engorrosos y problemáticos circuitos de mando. Un PLC se programa de manera lógica para que obedezca las secuencias o rutinas programadas por el desarrollador.

Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario. Esto lo realiza ejecutando en forma cíclica una secuencia de instrucciones que, a partir de la información que llega a sus entradas desde los sensores, deciden cuándo conmutar sus salidas, donde se encuentran conectados los actuadores. En este capítulo se describirán las partes que componen un PLC y sus principales características. Por otra parte, se analizará la forma cómo un PLC ejecuta la lógica escrita por el usuario y las rutinas de verificación internas. (Daneri, 2008, p. 89)

El principal motivo que dio lugar al nacimiento de los PLC fue el de mejorar y agilizar los procesos electromecánicos de los procesos industriales, sustituyendo los inmensos tableros eléctricos de control por un controlador lógico programable.

El notable crecimiento de la industria y la producción de bienes de consumo en la década de los 50 del pasado siglo XX aumentó de forma exponencial el uso de sistemas de control lógico o mandos secuenciales de procesos. A medida que estos sistemas se hicieron más complejos, la tecnología cableada, basada fundamentalmente en el uso de relés electromagnéticos y temporizadores electromecánicos, se mostraba cada vez más costosa y difícil de implantar y mantener, llegando a sus límites prácticos de uso. (Barrientos. A. & Gamba, 2014, p. 105)

Con lo anterior podemos observar la gran revolución que desató la implementación de los PLCs, los cuales al principio no eran para nada baratos, pero sin lugar a duda reemplazaban los tableros eléctricos de una manera muy eficiente, provocando de esta manera ahorro energético en las plantas de producción y optimización de los tiempos de producción, así como la facilidad para detectar fallas.



Ilustración 10. PLC AXC 1050

Fuente: página oficial de Phoenix Contact

3.4.1 COMPONENTES DE UN PLC

Un PLC es un dispositivo digital que está dotado de una electrónica muy sofisticada en su interior que le permite realizar tareas tan complejas como ser: temporizadores, contadores, PID, comunicaciones industriales, etc (ver ilustración 11).

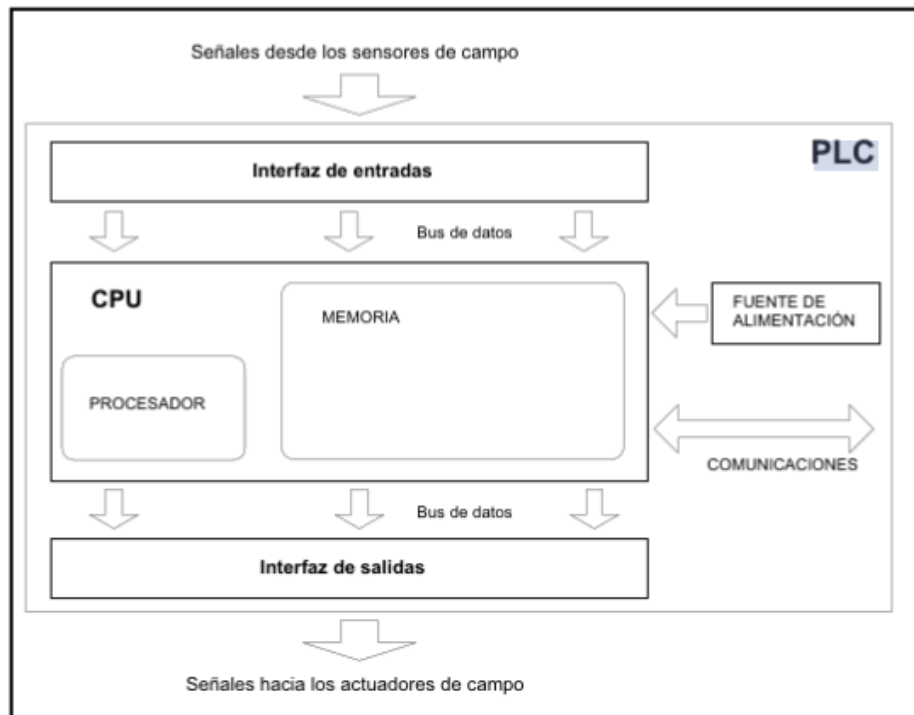


Ilustración 11. Bloques internos que componen un PLC

Fuente:(Daneri, 2008)

Un PLC está formado por las siguientes partes:

- ❖ Una unidad de entrada, a través de la cual el autómata programable recibe las señales (digitales o analógicas) de los captadores presentes en el proceso industrial.

- ❖ Una unidad de salida, a través de la cual el autómatas programable transmite al proceso industrial las variables de salida (digitales o analógicas) que lo controlan.
- ❖ Una unidad central de procesamiento o CPU, que es la encargada de efectuar las operaciones lógicas especificadas en el programa de control mediante un microprocesador. Está dotada de un generador de impulsos, un contador síncrono, una memoria de acceso aleatorio no volátil (ROM, EPROM, E²PROM, etc.), un circuito combinatorial que genera las señales de control, una unidad lógica y un biestable que memoriza el resultado o resultados parciales.
- ❖ Una fuente de alimentación, que se selecciona en función de la configuración a adoptar por el PLC y que es capaz de manejar las tensiones típicas en ambientes industriales.
- ❖ Módulos especiales o periféricos externos. Existe una gran variedad de módulos conectables al PLC para operaciones específicas, tales como monitores de interfaz con el usuario o paneles HMI (Human Machine Interface), lectores de recorrido, contadores rápidos, controladores de motores, dosificadores, controladores de ejes de posicionamiento continuo, módulos de control de sistemas continuos (PID), etc. (Barrientos. A. & Gambao, 2014, p. 109)

De las antes mencionadas la más importante de todas es la CPU o unidad central de procesamiento, ya que prácticamente es el cerebro de nuestro controlador en la cual se realizan gran cantidad de cálculos matemáticos y procesos simultáneamente (ver ilustración 12). "La arquitectura hardware del PLC consiste de una CPU para el control de cálculos; memoria operativa para datos temporales, memoria de programa, conversor A/D y D/A como interfaces con los valores del procesos" (Ramírez Despaine, Moreno Vega, & Cabrera Sarmiento, 2011, p. 17).



Ilustración 12. Arquitectura básica de un PLC

Fuente: (Barrientos. A. & Gambao, 2014)

3.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLC

Existen diferentes tipos de PLCs en el mercado, hay diferentes aspectos que hay que tomar en cuenta a la hora de comprar o integrar un PLC. Un PLC se puede clasificar según su construcción y se según su cantidad de entradas y salidas.

3.4.2.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN

Se pueden clasificar a los PLCs como compactos o modulare:

- ❖ Los compactos alojan todas sus partes, tales como interfaces de entradas, de salidas, CPU y fuente de alimentación, en un mismo gabinete. Esta construcción compacta se da solamente en controladores de baja cantidad de entradas y salidas, comúnmente llamados micro PLC. Las unidades de expansión son simplemente entradas y salidas que se vinculan al equipo compacto mediante una conexión al bus de datos. La mayor ventaja que ofrecen es su bajo costo, y las desventajas residen en las limitaciones a la hora de expandir el equipo.
- ❖ Los compactos alojan todas sus partes, tales como interfaces de entradas, de salidas, CPU y fuente de alimentación, en un mismo gabinete. Esta construcción compacta se da solamente en controladores de baja cantidad de entradas y

salidas, comúnmente llamados micro PLC. Las unidades de expansión son simplemente entradas y salidas que se vinculan al equipo compacto mediante una conexión al bus de datos. La mayor ventaja que ofrecen es su bajo costo, y las desventajas residen en las limitaciones a la hora de expandir el equipo. (Daneri, 2008, p. 91)

3.4.2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN CANTIDAD DE E/S

Además de la clasificación según su construcción, podemos clasificar un PLC según su tamaño, tomando en cuenta la cantidad de entradas y salidas que posee el antes mencionado. " Los PLCs están disponibles en todas las formas y tamaños, cumpliendo un amplio espectro de capacidades"(Ramírez Despaine et al., 2011, p. 17).

Si bien no se puede establecer una clasificación exacta de acuerdo con la capacidad, los fabricantes ofrecen diversas características, tales como el tamaño de su memoria, la cantidad de puertos de comunicación, el conjunto de protocolos de comunicación que soporta, su repertorio de instrucciones, etc., que diferencian tecnológicamente unos modelos de otros. Algunas marcas además definen como parámetros de selección la cantidad máxima de entradas y salidas que el controlador puede manejar. Este indicador permite clasificar a los PLC de la siguiente forma:

- ❖ Micro PLC: hasta 64 E/S
- ❖ PLC pequeño: 65 a 255 E/S
- ❖ PLC mediano: 256 a 1023 E/S
- ❖ PLC grande: más de 1024 E/S

3.4.3 PROGRAMACIÓN

Los PLC o autómatas programables son dispositivos cuyos desarrolladores buscan siempre la innovación y la comodidad de sus usuarios, por lo que son varios los

lenguajes estandarizados con los que se puede programar un controlador lógico programable.

Programar no es más que introducir una secuencia o una rutina en el programa, la cual queremos que cumpla nuestro controlador (ver ilustración 13). "Entendemos por programar, el hecho de introducir un circuito en el controlador lógico utilizando funciones lógicas, pero representándolas de una manera más original" (Álvarez Pulido, 2003, p. 71).

Para el desarrollo de nuestro proyecto se implementó la programación a bloques en el entorno de programación PC WORX de la marca Phoenix Contact.

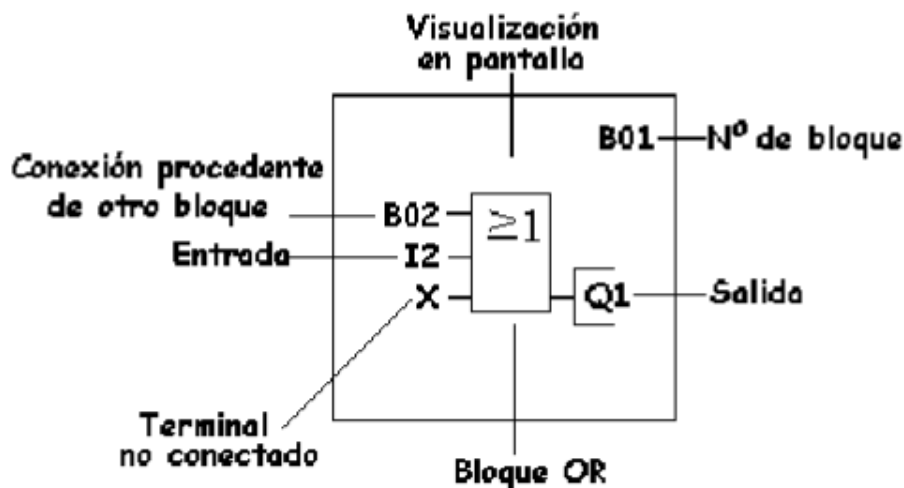


Ilustración 13. Ejemplo de bloque de programación

Fuente: (Álvarez Pulido, 2003)

3.5 REDES INDUSTRIALES

Las comunicaciones o redes industriales son un factor importante para la industria automatizada de hoy. Las redes industriales nos permiten obtener datos o información en tiempo real desde distancias considerables. Las redes industriales han significado

una manera más fácil de realizar proyectos para los integradores y un ahorro en cableado y energía para las industrias.

3.5.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SEÑAL

Cuando se quiere establecer un intercambio de información entre dos o más dispositivos es importante establecer el medio físico por el cual viajará la información deseada. "A la hora de conseguir un intercambio de información entre dos equipos, se necesita un medio de transporte para la energía que contendrá esta información" (Rodríguez Penin, 2008, p. 4).

Los medios de transmisión pueden ser variados, dependiendo de la aplicación que necesitemos llevar a cabo y las condiciones ambientales a las cuales nos enfrentemos por lo que la escogencia del medio físico de transmisión es objeto de análisis. "Los medios de transmisión son muy variados porque deben cubrir todas las necesidades de comunicación que se plantean en cualquier entorno entre distintos equipos e incluso en movimiento" (Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013, p. 31)

Para objetos de estudio podemos clasificar a los medios de transmisión en dos grandes grupos: medios guiados y no guiados.

3.5.1.1 MEDIOS GUIADOS

Los medios guiados son aquellos en los que se utiliza un medio tangible de transmisión y recepción. "Los medios de transmisión son muy variados porque deben cubrir todas las necesidades de comunicación que se plantean en cualquier entorno entre distintos equipos e incluso en movimiento" (Castro Gil, Díaz Orueta, & Mur Pérez, 2007a, p. 44).

Entre los más importantes tenemos:

- ❖ Cable eléctrico
- ❖ Fibra óptica

3.5.1.2 MEDIOS NO GUIADOS

Son aquellos en los cuales se usa un medio intangible de transmisión y recepción, en la mayoría de los casos se usa la atmósfera como medio físico.

Entre los más importantes tenemos:

- ❖ Radioenlace
- ❖ Microondas
- ❖ Satélite

(Rodríguez Penin, 2008)

3.5.2 NIVELES DE TENSIÓN

Las conexiones físicas en el ambiente industrial se dan mediante protocolos que están definidos en unos y ceros con niveles de tensión definidos según el estándar.

Los estándares más conocidos en el ambiente industrial son:

- ❖ RS-232
- ❖ RS-422A
- ❖ RS-485
- ❖ TTL

Para distancias considerables ciertos errores pueden surgir cuando se utilizan niveles de tensión. "La transmisión por señales de tensión no es recomendable en distancias importantes. Ello es debido a que la tensión depende de la resistencia del cable y de las capacidades del mismo, factores determinados por las dimensiones físicas del mismo" (Rodríguez Penin, 2008, p. 6).

3.5.2.1 RS-232

Estándar adoptado en 1960 por la EIA (Electronics Industries Association). Esta norma define la interconexión serie entre un dispositivo transmisor de datos (DCE) y un receptor de datos (DTE). Ver ilustración 14. La norma RS-232 tiene diferentes niveles de tensión (ver tabla 3).



Ilustración 14. Conexión RS-232

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

Tabla 3. Niveles de tensión en la norma RS-232

Vseñal-Vgnd	0 lógico	1 lógico
Salidas	+5 a 15v	-5 a -15v
Entradas	+3 a +15v	-3 a -15v

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

Las especificaciones básicas de RS-232 son:

- ❖ Permite velocidades de 300,600,1200,2400,4800,9600,19200,38400 bps.
- ❖ Longitudes máximas de cable de 15 metros.
- ❖ El interfaz debe poder soportar un cortocircuito de duración indefinida entre cualquier par de pines (En caso de CC la corriente no deberá superar los 0.5 A).

(Rodríguez Penin, 2008)

3.5.2.2 RS-422A

Se basa en la transmisión de señales de tensión mediante dos hilos, sin punto de referencia o masa. diferenciales (balanceadas). Ver ilustración 15. La norma RS-422 maneja niveles de tensión diferentes a RS-232 (ver tabla 4).

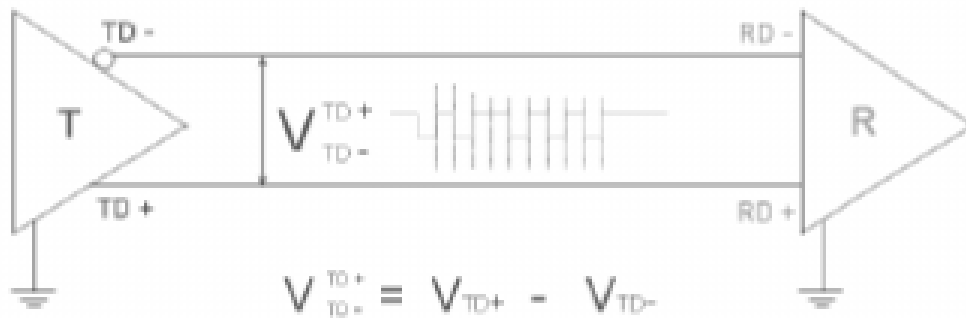


Ilustración 15. Principio de funcionamiento de señales balanceadas

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

Tabla 4. Niveles de tensión en la norma RS-422

Vseñal-Vgnd	0 lógico	1 lógico
Salidas	< -1.5 V	>1.5 V
Entradas	< -0.2 V	> 0.2 V

Fuente:(Oliva et al., 2013)

3.5.2.3 RS-485

Es una evolución del RS422, desarrollada en 1983. Las comunicaciones industriales utilizan generalmente el estándar de transmisión RS485 o RS422. En la norma RS-485 se manejan conexiones multipunto (ver ilustración 16).

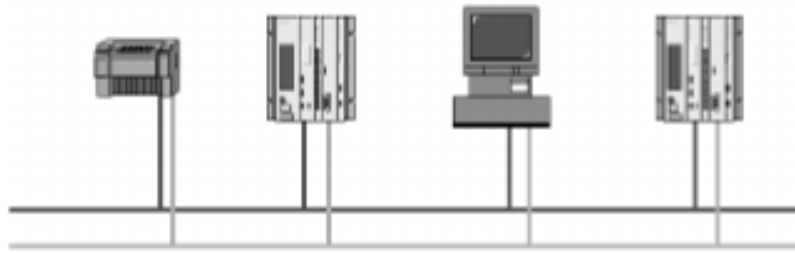


Ilustración 16. Conexión multipunto

Fuente: (Rodríguez Penin, 2008)

3.5.3 MODBUS

Modbus es un protocolo de campo, con cierta antigüedad (1979), el cual nos permite hacer comunicaciones maestro-esclavo y cliente-servidor, entre varios dispositivos que soporten el protocolo modbus. Existen dos tipos de modbus: modbus RTU RS-485 y modbus tcp/ip.

Es un protocolo ideal para la monitorización remota vía radio de elementos de campo (RTU, Remote Terminal Unit), tales como los utilizados en estaciones de tratamiento de aguas, gas o instalaciones petrolíferas. Actualmente está implementándose en sectores ajenos a su idea original, tales como la domótica o el control de procesos (climatización, control de procesos, bombeos, etc.). (Rodríguez Penin, 2008, p. 46)

En cualquiera que sea el método de transmisión de modbus, el mensaje de modbus siempre se coloca dentro de la trama a enviar en un lugar establecido.

Modbus (Modicon-1979) proporciona servicios de comunicación muy simples en los que se contemplan transacciones orientadas a bits (lectura escritura de bits individuales o por grupos) y a carácter, en las transacciones entre un maestro controlador/supervisor y una zona de memoria del esclavo. Su simplicidad y al ser el protocolo abierto y público permite una implementación

en nodos simples con microprocesadores de baja potencia y coste. (Castro Gil et al., 2007a, p. 470)

3.6 MECÁNICA DE FLUIDOS

Los fluidos son una parte importante en el ámbito de la física, que son dignos de estudio a la hora de estudiar el comportamiento de los fluidos, que tienen muchas aplicaciones prácticas en la industria textil.

Desde el punto de vista de la Mecánica de Fluidos, la materia sólo puede presentarse en dos estados: sólido y fluido. La diferencia entre ambos es perfectamente obvia para el lego y es un ejercicio interesante preguntar a alguien que explique esta diferencia en palabras. La distinción técnica radica en la reacción de ambos a un esfuerzo tangencial o cortante. Un sólido puede resistir un esfuerzo cortante con una deformación estática; un fluido, no. (White, 2004, p. 4)

La mecánica de fluidos tiene amplias aplicaciones en el ámbito industrial. Es de mucha importancia en aplicaciones de tratamiento de aguas que podemos encontrar en el rubro textil. "La mecánica de fluidos es ampliamente utilizada en actividades cotidianas y en el diseño de sistemas modernos de ingeniería, desde aspiradoras hasta aviones supersónicos. Por lo tanto, resulta importante desarrollar una comprensión adecuada de sus principios básicos" (Çengel & Cimbala, 2006, p. 4).

3.6.1 DENSIDAD DE UN FLUIDO

La densidad (ver ecuación 1) es una propiedad importante por tomar en cuenta cuando estudiamos un fluido.

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

Ecuación 1. Densidad

Fuente: (González Santander Martínez & Castellano Estornell, 2014)

3.6.2 **PRESIÓN**

La presión es la fuerza entre unidad de área que se debe a un fluido estático o en movimiento dentro de un ducto o tubería.

La presión es el esfuerzo (de compresión) en un punto en un fluido en reposo. Después de la velocidad, la presión p es la variable más significativa en la dinámica de un fluido. Las diferencias o gradientes de presión son generalmente las responsables del flujo, especialmente cuando es en conductos. En flujos a baja velocidad, la magnitud real de la presión suele no ser importante, a menos que baje tanto como para provocar la formación de burbujas de vapor en los líquidos. Por conveniencia, a este tipo de problemas se le suele asignar un nivel de presión de $1 \text{ atm} = 2116 \text{ lbf/ft}^2 = 101.300 \text{ Pa}$. Por el contrario, los flujos (compresibles) de gases a alta velocidad sí que dependen del valor absoluto de la presión. (White, 2004, p. 16)

3.6.3 **ESTÁTICA DE FLUIDOS**

En la estática de fluidos la presión y demás propiedades se comportan de manera distinta en fluidos estáticos y en fluidos dinámicos.

La Estática de Fluidos, históricamente denominada Hidrostática, es la parte de la Mecánica de Fluidos que trata de los fluidos en reposo. Los resultados descritos en esta sección también se pueden aplicar a fluidos con un movimiento uniforme con un cambio de coordenadas a un sistema inercial en reposo. Debido a su simplicidad, la Estática de Fluidos ha sido la primera rama de la Mecánica de Fluidos que ha sido estudiada científicamente, y durante muchos siglos la única. A ella pertenece el resultado más importante de la

Antigüedad clásica, el principio de Arquímedes. (González Santander Martínez & Castellano Estornell, 2014, p. 8)

3.6.3.1 LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

La presión P (ver ecuación 2) se define como la magnitud de la fuerza por unidad de área que ejerce sobre una determinada superficie (ver ilustración 17).

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

Ecuación 2. Presión

Fuente: (González Santander Martínez & Castellano Estornell, 2014)

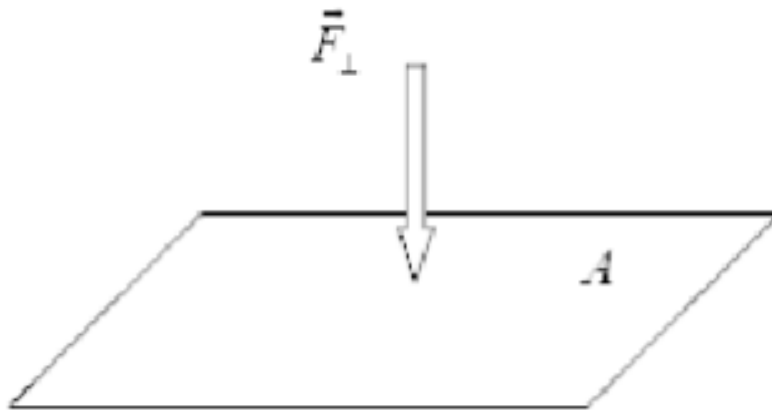


Ilustración 17. Definición de la presión

Fuente: (González Santander Martínez & Castellano Estornell, 2014)

3.6.4 ECUACIÓN DE BERNOULLI

La ecuación de Bernoulli nos ayuda a calcular ciertas magnitudes basadas en otras variables, cuyo análisis se realiza basado en la ley de la conservación de la energía en los fluidos.

Aunque la ecuación de Bernoulli es muy famosa y tiene numerosas aplicaciones, debemos ser muy cuidadosos y tener siempre en cuenta sus restricciones, ya que todos los fluidos son viscosos y, por tanto, todos los flujos tienen algún efecto de la fricción. Para emplear correctamente la ecuación de Bernoulli hay que limitar su aplicación a regiones del flujo en las que la fricción sea despreciable. (White, 2004, p. 177)

IV. METODOLOGÍA

Durante cualquier proceso de investigación o proyecto, la metodología de la investigación juega un papel importante, ya que nos da la pauta de que enfoque tendrá nuestra investigación y como realizaremos nuestra recolección de datos. Investigar es un arte, y deben seguirse las pautas para realizarla de una manera correcta "La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema" (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 4). En la metodología se debe plantear una hipótesis dependiendo de cómo queramos enfocar nuestra investigación y de dicha hipótesis surgirán nuestras variables dependientes e independientes, que marcarán la pauta de cómo afectarán los factores externos a nuestro proyecto de investigación.

4.1 HIPÓTESIS

La realización del proyecto se ejecutó debido a las exigencias del cliente, en el cual se establecía la necesidad de tener un sistema de monitoreo SCADA para poder visualizar el funcionamiento del sistema de suministro de agua caliente y agua suave hacia la planta, dicho sistema tiene sus bombas distribuidas en tres diferentes cuartos de bombas (dos cuartos para agua suave y uno para agua caliente. En la programación establecida en el PLC, estable una secuencia sistemática para las bombas, con sus respectivas alarmas y monitoreos de presión.

El encendido de las bombas dependerá de la lectura de presión que nos proporcione nuestro sensor, ya que si al arrancar una bomba no alcanza la presión deseada (setpoint), deberá entrar la siguiente bomba de la secuencia para apoyar a la bomba anterior, este fenómeno podría darse en los casos en los que la demanda de producción en planta está bastante alta.

La realización e integración de este proyecto nos lleva a formular las hipótesis de nuestro proyecto en el cual nos planteamos lo siguiente: En la planta de monitoreo

(donde están ubicados las pantallas de los SCADA) la mayor parte de los operarios que interactúan con las pantallas del SCADA, ya han interactuado anteriormente con otros sistemas SCADA integrados en otros procesos, por lo que se espera que su adaptación al sistema SCADA del suministro de agua suave y agua caliente, sea satisfactorio a pesar que la mayoría de ellos poseen un bajo grado de escolaridad.

Además de lo antes mencionado podemos plantearnos lo siguiente: los valores establecidos en el controlador PID responderán positivamente y realizarán un control adecuado de la entrada con respecto a la salida (sean la presión y la frecuencia respectivamente), ya que según pruebas realizadas el error y la estabilidad de nuestro controlador PID es mínimo por lo que no representa una amenaza para el correcto funcionamiento del suministro de agua.

4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Puesto que el propósito final de nuestro sistema radica en el correcto suministro de agua desde los tanques de almacenamiento hasta la planta de producción, tanto de agua suave como de agua caliente, podemos establecer que el correcto suministro de agua hacia planta con un flujo constante y periódico será la variable dependiente.

4.1.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

La variable por controlar, siendo el punto más importante y crítico de nuestro proyecto es la presión, puesto que de la presión depende prácticamente todo nuestro sistema.

4.2 MÉTODO Y ENFOQUE

En un proceso de investigación, todo investigador debe sustentar sus teorías en un método, en la presente tesis hicimos uso del método científico, el cual nos permite realizar una investigación basada en las observaciones y mediciones experimentales.

En investigación científica o tecnológica, hay varias formas de atacar un problema, pero no todas son igualmente efectivas, siendo necesario la utilización de un método que permita obtener resultados eficientes en todos los casos. Ello no significa que con su aplicación se pueda resolver de forma satisfactoria el problema propuesto, pero al menos, el investigador estará seguro de no haber dejado de lado fases importantes del proceso investigador o haber efectuado experiencias innecesarias. (Cegarra Sánchez, 2012, p. 95)

Existen muchos enfoques, pero en la presente tesis podemos resaltar las características de los dos principales:

El enfoque cuantitativo, que es aquel que nos permite enfocar nuestra investigación en términos estadísticos y numéricos. "El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "brincar" o eludir los pasos" (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 4).

El enfoque cualitativo, nos permite analizar las cualidades de los hechos, y no basarnos en datos meramente matemáticos o estadísticos, en lugar de eso nos enfocamos en conclusiones que obtenemos por criterios propios.

4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La realización de una tesis de investigación trae consigo una ardua investigación, la cual se documenta de muchas fuentes diversas, las cuales pueden ser primarias o secundarias. Siendo las fuentes primarias son resultados de trabajos referenciados, originales y bien documentados, mientras que las fuentes secundarias toman la información de las fuentes secundarias y crean sus propios criterios basados en el análisis.

Fuentes primarias utilizadas:

- ❖ Libros electrónicos recuperados del CRAI (proporcionado por UNITEC)

- ❖ Libros físicos alusivos al tema de investigación

Fuentes secundarias utilizadas:

- ❖ Catálogos
- ❖ Manuales técnicos
- ❖ Tesis referentes al tema

4.4 CRONOGRAMA

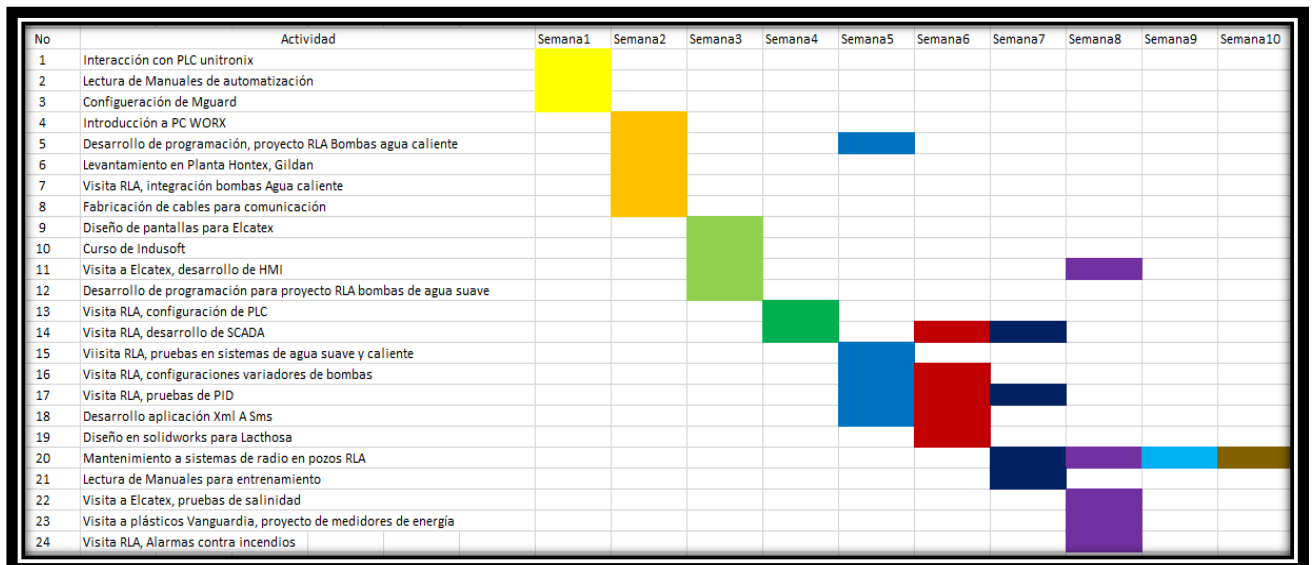


Ilustración 18. Cronograma de actividades

Fuente: Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 ANÁLISIS

5.1.1 LINEALIZACIÓN DE LA SEÑAL

Para poder obtener con precisión una lectura de la señal de presión de nuestro sistema en los cuartos de bombas es necesario utilizar un sensor industrial (ver ilustración 19) que este respaldado y certificado para poder utilizarse en un entorno industrial. Por lo que se usó un sensor de presión industrial para poder conocer esta lectura, con una señal de entrada al PLC de 4-20 mA, la cual deberá ser interpretada por el PLC en unidades digitales que en los PLC de Phoenix Contact van desde 0 hasta 30,000 unidades digitales.



Ilustración 19. Sensor de presión centripro, rango de medición 0-300 psi

Fuente: Página oficial de Centripro

Para poder mostrar en el SCADA la lectura correcta de presión y poderla monitorear de manera satisfactoria fue necesario realizar un cálculo matemático para poder realizar la efectiva relación entre unidades digitales del PLC con psi de presión.

Sabiendo que las unidades digitales del PLC varían desde 0 hasta 30,000 unidades digitales, las cuales serán proporcionales de 4-20 mA.

Sabemos también que la lectura del sensor tiene un rango de medición de 0-300 psi, por lo que podemos usar la ecuación de la recta para realizar la conversión de la lectura actual de presión.

Siendo y la lectura de la presión

Siendo x la cantidad de unidades digitales

Calculamos la pendiente de nuestra ecuación de la recta (ver ecuación 3):

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

Ecuación 3. Pendiente de una recta

Fuente: Propia

$$m = \frac{300 - 0}{30,000 - 0}$$

$$m = \frac{1}{100}$$

Con el cálculo de la pendiente de la recta podemos proseguir a establecer la ecuación de la recta (ver ecuación 3) para poder calcular correctamente la linealización.

$$y = mx + b$$

Ecuación 4. Ecuación de una recta

Fuente: propia

Tomaremos como punto a evaluar el punto (0,0), (0 unidades digitales y 0 psi respectivamente), para poder realizar el cálculo final de nuestra linealización haciendo uso de la ecuación número 4.

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

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

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

Con el cálculo anterior nuestra linealización de señal quedó establecida, con esto podemos obtener la lectura de presión exacta, sabiendo que "y" es la lectura de presión y "x" la cantidad de unidades digitales interpretadas por el PLC.

5.2 RESULTADOS

Como resultado de nuestro proyecto mostraremos el resultado final del desarrollo de nuestro SCADA y la programación desarrollada para nuestro proyecto. El desarrollo del SCADA fue desarrollado en Indusoft, mientras que el programa en el PLC fue desarrollado en PC Worx.

5.2.1 DESARROLLO DE SCADA

En este proceso mostraremos y explicaremos cada una de las pantallas de nuestro sistema SCADA.

Cabe mencionar que se hizo uso del software de dibujo solidworks para realizar los dibujos que se muestran en las pantallas de nuestro sistema SCADA.

5.2.1.1 PANTALLA DE AGUA CALIENTE HACIA PLANTA

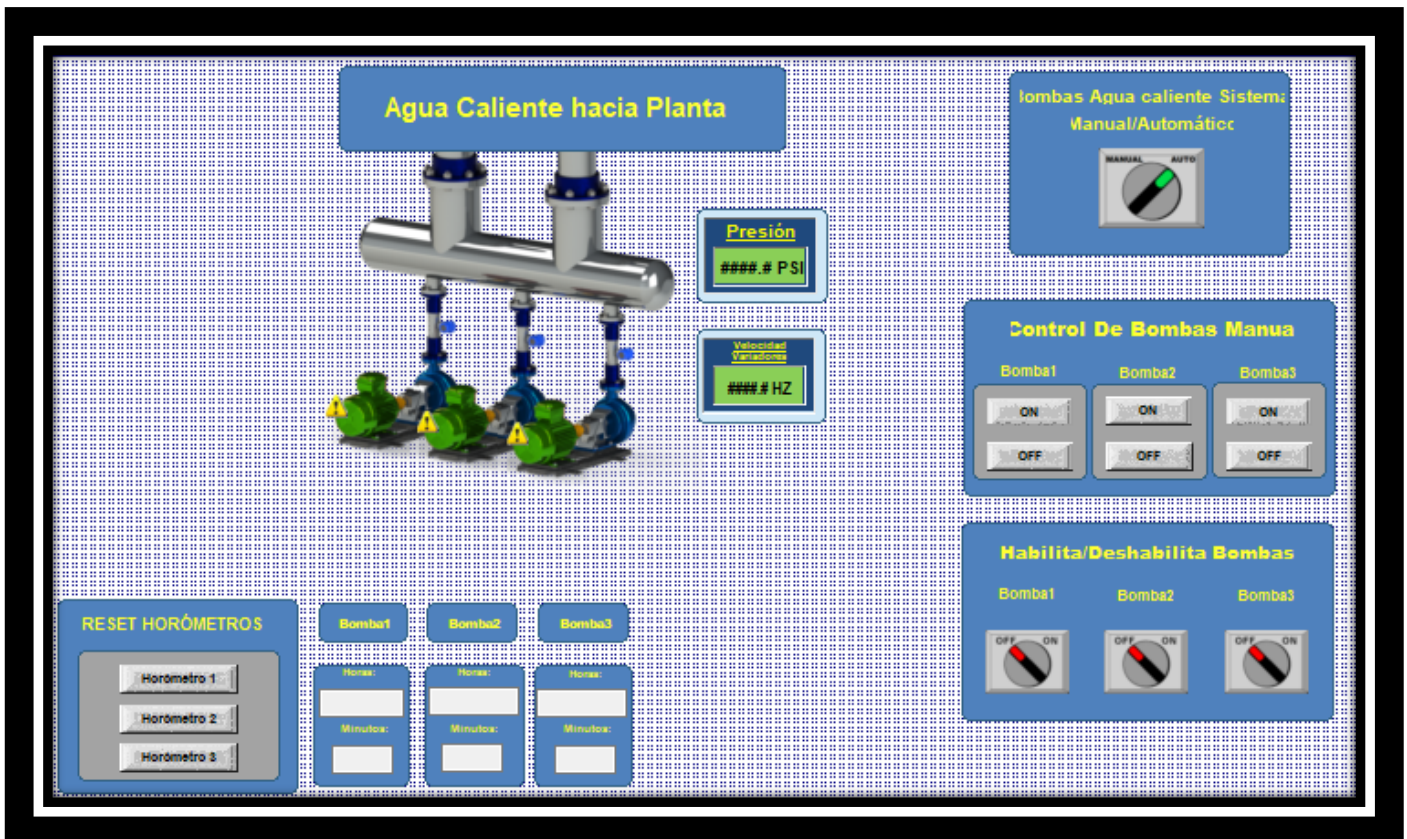


Ilustración 20. Pantalla de SCADA, para control de bombas de agua caliente en RLA Manufacturing

Fuente: Propia

En esta pantalla mostrada (ver ilustración 20), tenemos la opción de cambiar el modo de función de nuestro sistema, ya sea manual o automático, así como poder habilitar o deshabilitar individualmente las bombas de nuestro sistema. Además de lo anterior contamos con un monitoreo de presión en nuestra tubería y la velocidad de los motores de nuestras bombas, también contamos con horómetros de cada una de las bombas para poder saber el tiempo de trabajo de cada una, cada horómetro tiene su respectivo botón de reseteo.

5.2.1.2 PANTALLA DE PID DE BOMBAS DE AGUA CALIENTE

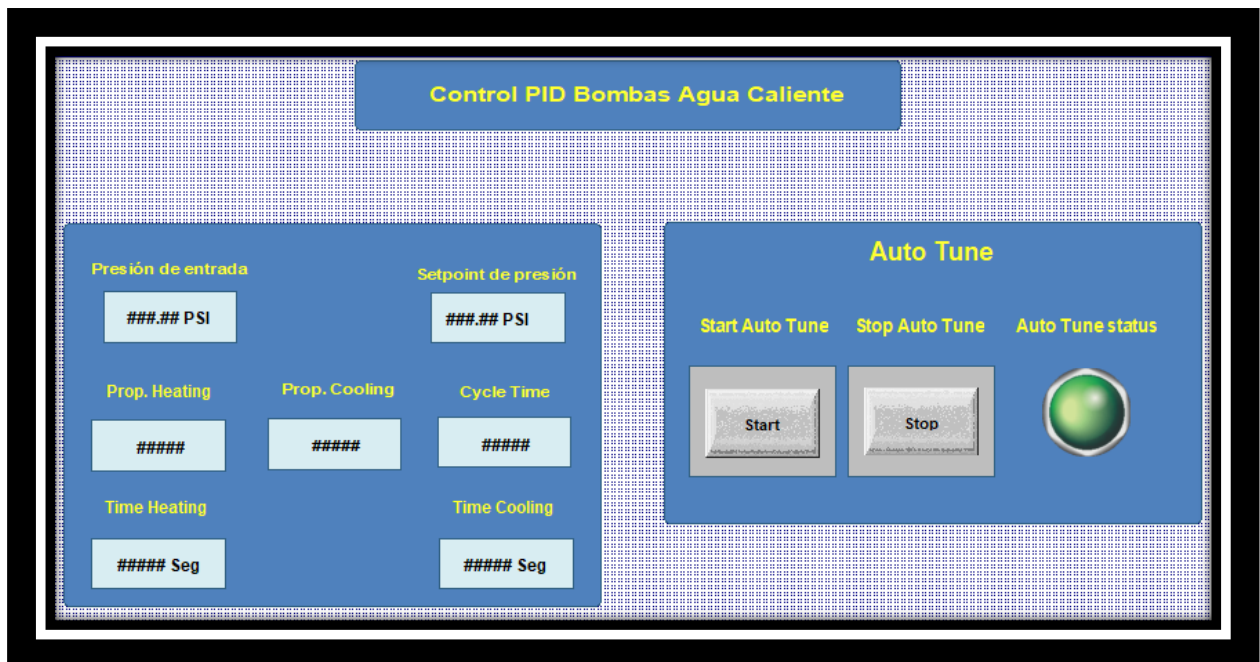


Ilustración 21. Pantalla de SCADA para control de parámetros PID, bombas agua caliente en RLA Mnuufacturing

Fuente: Propia

En esta pantalla (ver ilustración 21) podemos modificar los valores que afectan la resolución de nuestro control PID para las bombas de agua caliente, además podemos iniciar la auto calibración para el PID.

Cabe mencionar que estos valores de PID serán establecidos únicamente por el programador e integrador del sistema por cuestiones de seguridad, ya que modificar estos valores podría estropear el correcto funcionamiento de nuestro controlador PID. Para poder tener control de la seguridad de esta pantalla, se estableció un usuario y contraseña para poder acceder a esta pantalla.

5.2.1.3 PANTALLA DE AGUA SUAVE HACIA PLANTA

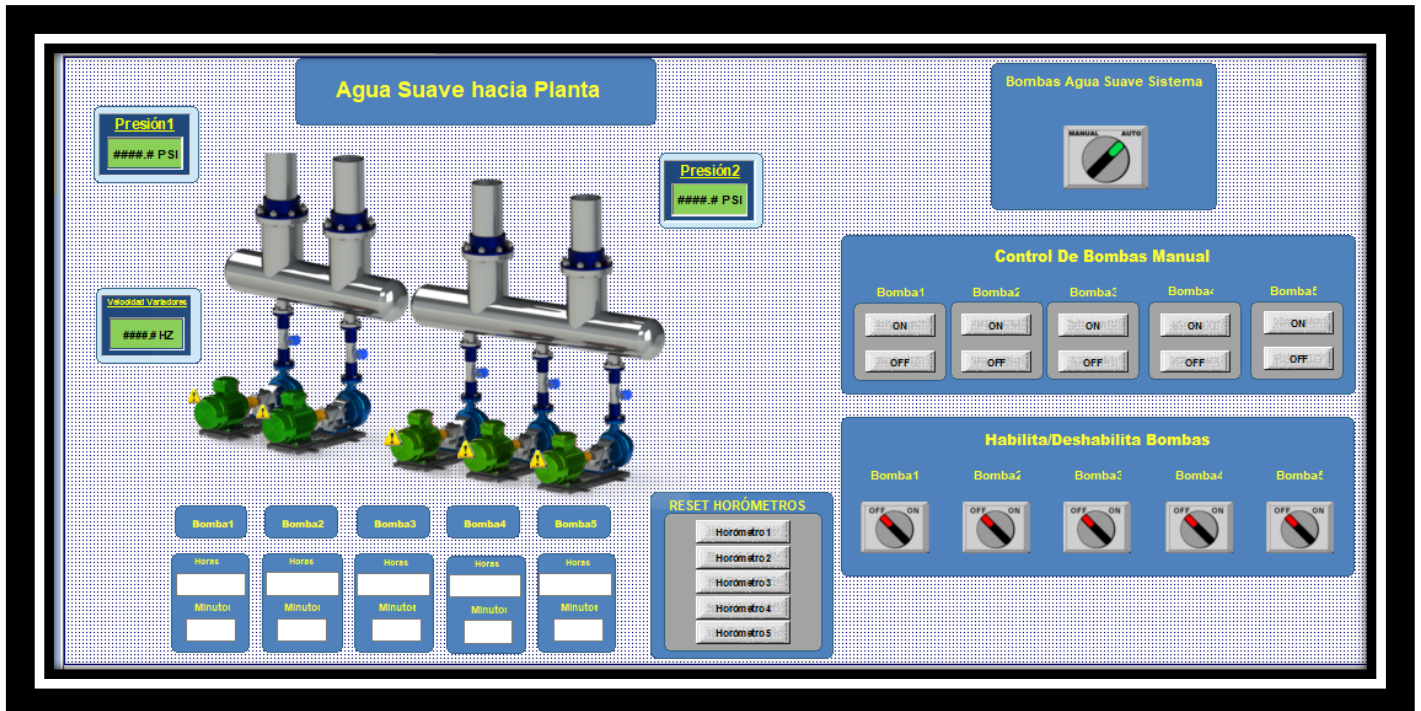


Ilustración 22. Pantalla de SCADA, para control bombas de agua suave, RLA Manufacturing

Fuente: Propia

En esta pantalla (ver ilustración 22) podemos monitorear las bombas de nuestro sistema de agua suave, la cual cuenta con los mismos elementos y características del sistema de agua caliente, con la única diferencia que en este sistema de agua suave contamos con dos presiones distintas ya que se dividen en dos cuartos de bombas separados (un cuarto con dos bombas y otro cuarto con 3 bombas).

5.2.1.4 PANTALLA DE PID DE BOMBAS DE AGUA SUAVE

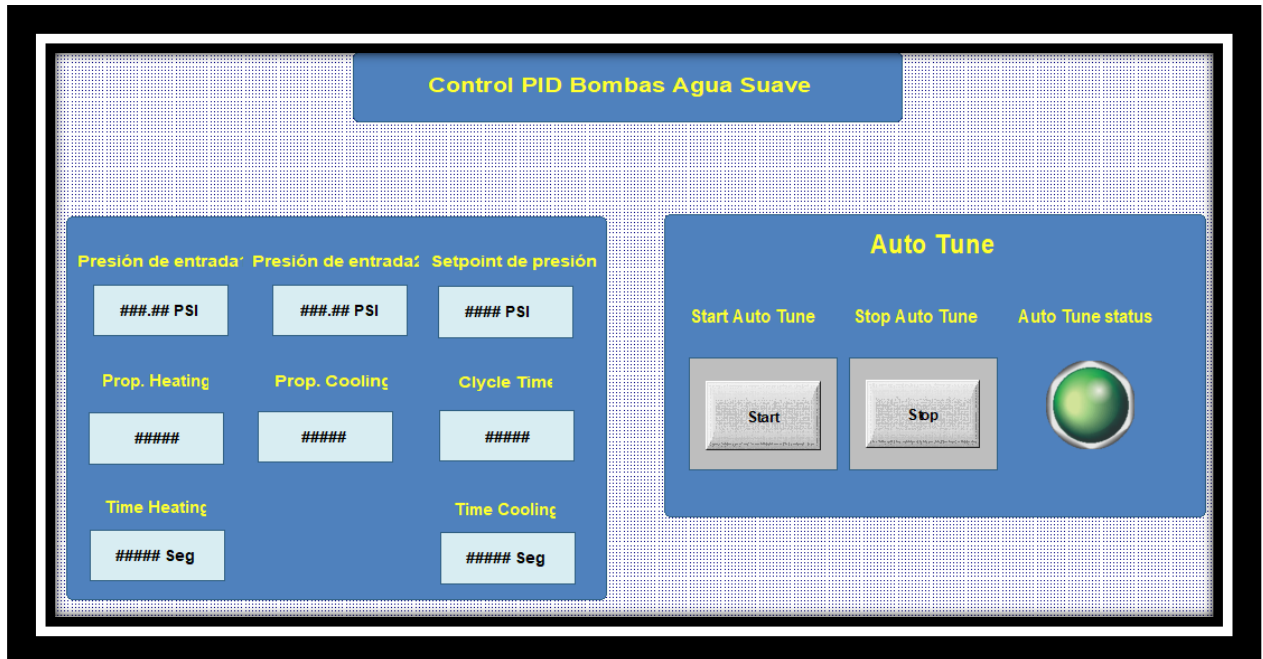


Ilustración 23. Pantalla de SCADA para control de parámetros PID, bombas de agua suave en RLA Manufacturing

Fuente: Propia

Como podemos observar (ver ilustración 23), la pantalla de PID de bombas de agua suave es una réplica exacta de la pantalla de PID de bombas agua caliente, con la única diferencia que las variables asignadas a los respectivos campos son distintas.

De la misma manera, esta pantalla cuenta con las medidas de seguridad requeridas para garantizar la integridad del sistema.

5.2.1.5 PANTALLA DE SCADA DE RESUMEN DE AGUA

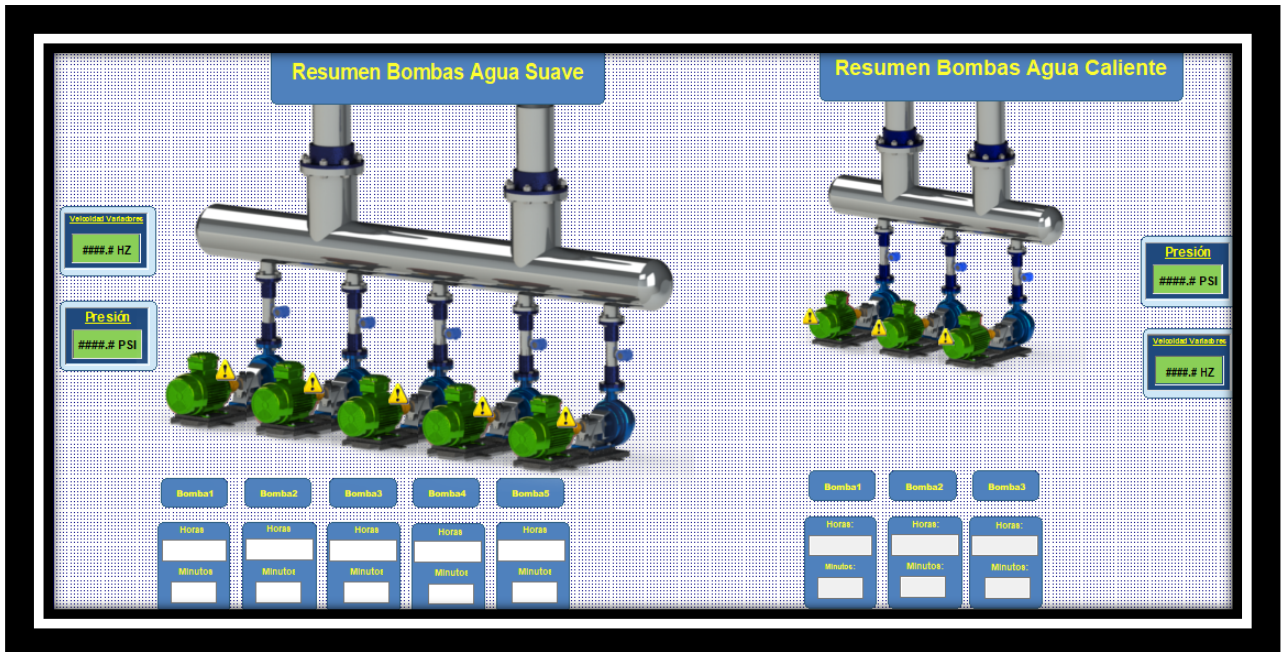


Ilustración 24. Pantalla de SCADA de resumen para monitoreo de agua suave/caliente

Fuente: Propia

También se diseñó una pantalla de resumen (ver ilustración 24) para que los operadores puedan monitorear el estado de ambos sistemas (tanto de agua suave como de agua caliente), en una sola pantalla.

5.2.2 PROGRAMACIÓN FINAL

En este apartado mostraremos un resumen de la programación realizada para nuestro sistema, en las cuales explicaremos en que consiste cada una.

Se realizaron dos programas distintos, uno para bombas de agua suave y otro para bombas de agua caliente, pero solo se mostrará una sola programación porque para ambos casos el funcionamiento es exactamente el mismo, con la única diferencia que el programa de bombas de agua suave tiene cinco bombas en lugar de tres.

5.2.2.1 MAIN

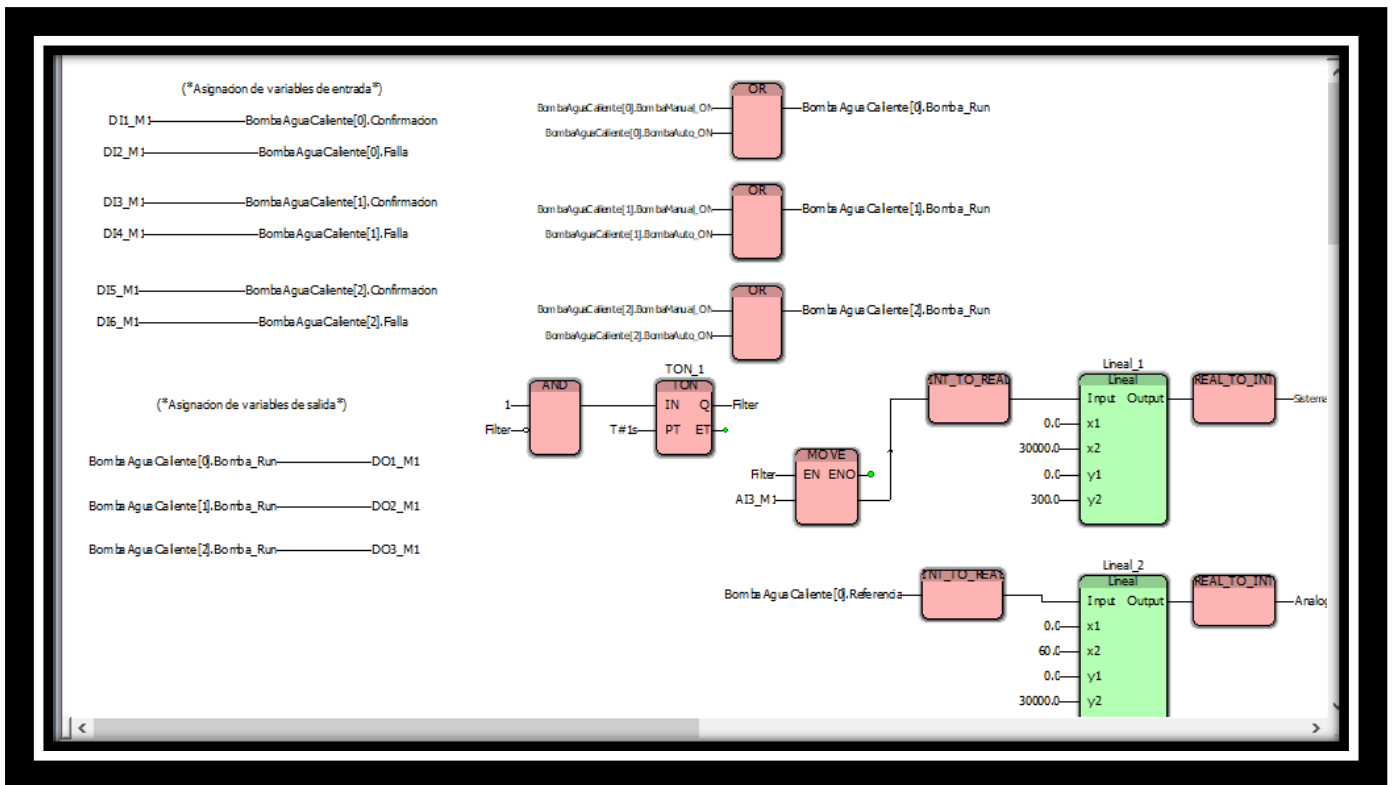


Ilustración 25. Main, programa para control de bombas agua suave/caliente

Fuente: Propia

En esta sección del programa (ver ilustración 25) se realiza la asignación de variables (variables del PLC con los puertos físicos del PLC), y también se realizaron las linealizaciones de las señales analógicas provenientes del sensor de presión.

5.2.2.2 MODBUS



Ilustración 26. Tabla modbus para comunicación de PLC con SCADA

Fuente: Propia

En esta sección (ver ilustración 26) del programa se realizó el direccionamiento modbus, en el cual se le indica al PLC en que arreglo de modbus se enviará la variable correspondiente. Este paso de programación es vital para que el PLC se comunique con el sistema SCADA.

5.2.2.3 PID DE BOMBAS

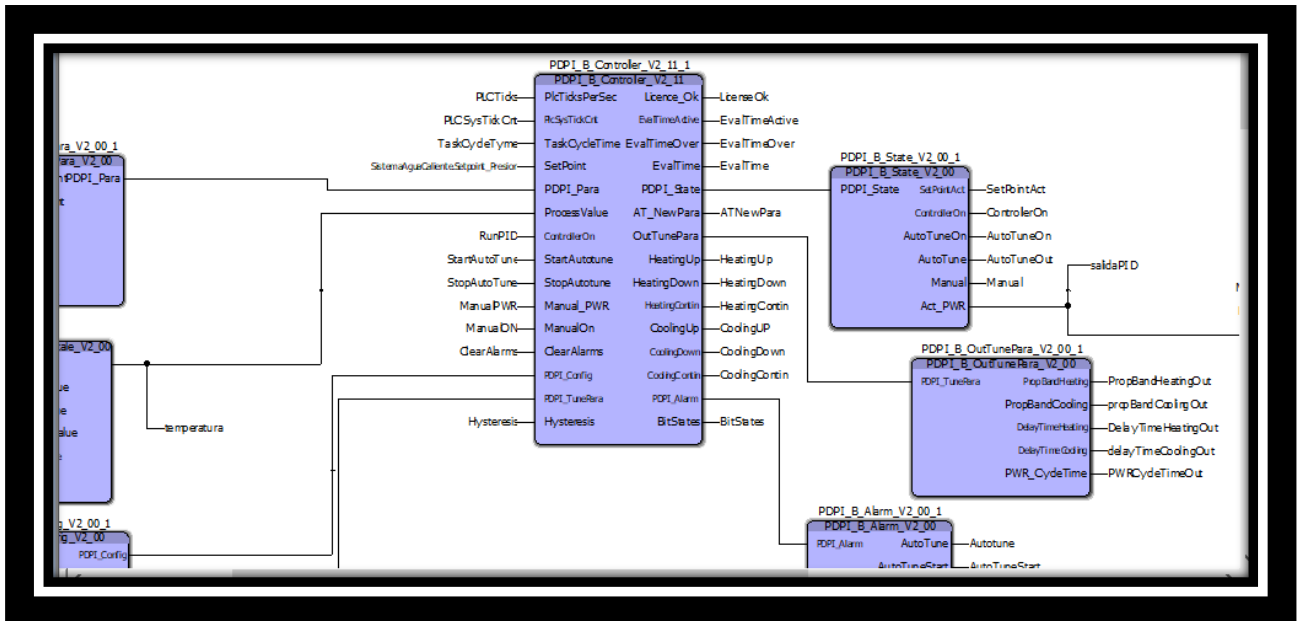


Ilustración 27. PID de bombas para mantener presión de trabajo estable

Fuente: Propia

En esta sección (ver ilustración 27) se establece la parametrización necesaria para hacer funcionar nuestro controlador PID, hay dos maneras de hacerlo: manual o la auto sincronización. De las antes mencionadas se utilizó la primera.

5.2.2.4 CONTROL MANUAL DE BOMBAS

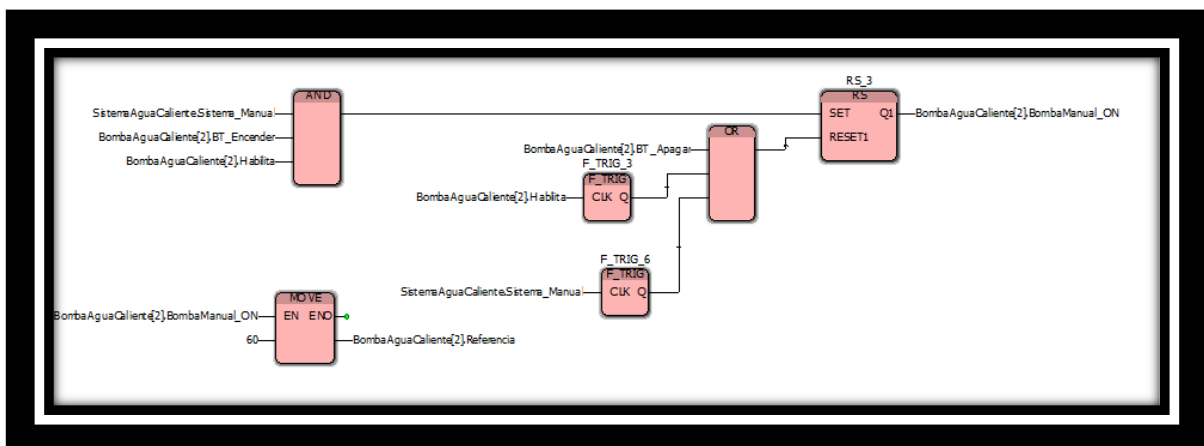


Ilustración 28. Programación de control manual de bombas

Fuente: Propia

En el control manual (ver ilustración 28) se integró para poder operar las bombas de una manera individual, fue realizado de esta manera para facilitar pruebas y mantenimiento.

5.2.2.5 CONTROL AUTOMÁTICO DE BOMBAS

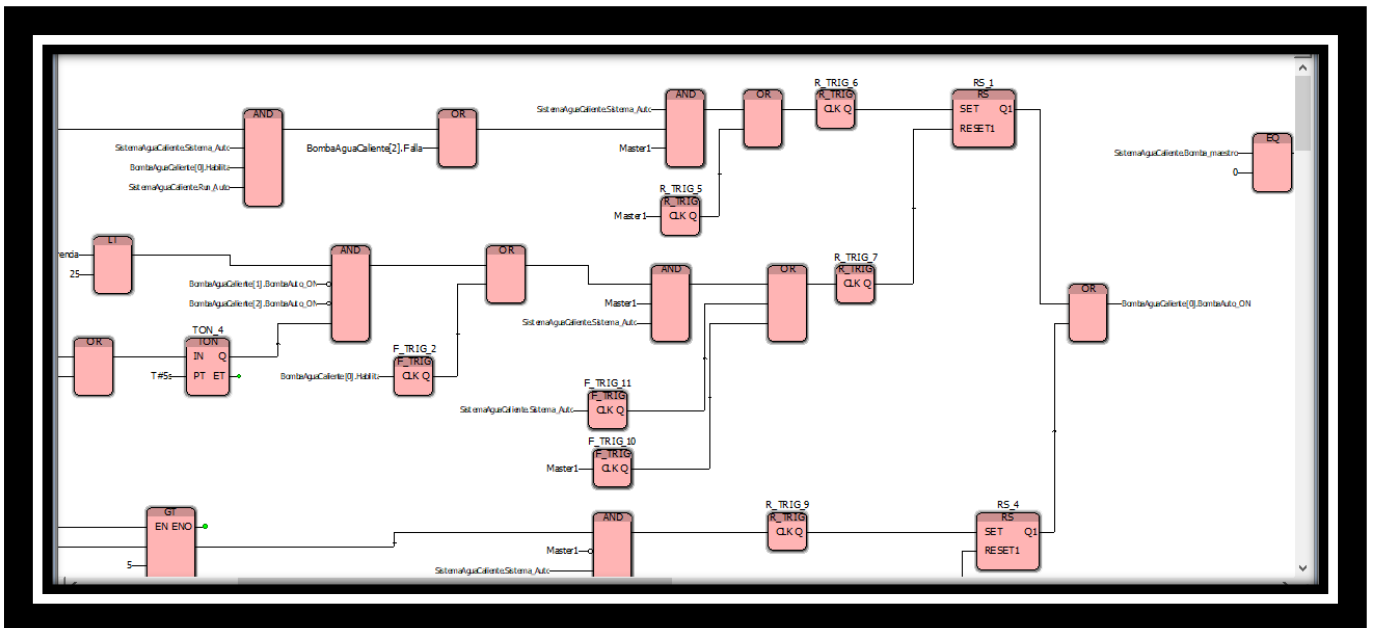


Ilustración 29. Programación de control automático de bombas de agua suave/caliente

Fuente: Propia

Esta sección (ver ilustración 29) del programa es la más compleja de toda la integración, ya que en esta se establece un funcionamiento automático y secuencial de las bombas, en la cual se ofrece autonomía y seguridad al sistema.

Se manejará un sistema en el cual se establece una bomba funcionando como principal y las bombas restantes funcionando como apoyo. La bomba principal cambiará cada determinado tiempo para garantizar que todas las bombas tengan aproximadamente iguales horas de trabajo.

Cuando enciende la bomba principal, se activará un retardo a la conexión en las bombas de apoyo para que enciendan solo si la bomba principal no es suficiente para alcanzar la presión deseada.

5.2.3 REDUCCIÓN DE FALLAS

A continuación, se mostrarán los datos aproximados de la reducción de las fallas y paros en planta después de implementar el sistema SCADA. Los datos fueron definidos a groso modo por parte del personal encargado de la operación y mantenimiento de las bombas, ya que no existe una documentación oficial para dichos datos (ver tabla 5).

Tabla 5. Comparación de fallas y paros en planta

Antes Del SCADA	Después Del SCADA
12 fallas en bombas (semanales)	4 fallas en bombas (semanales)
4 horas de paro en planta (semanales)	40 minutos de paro en planta (semanales)

Fuente: Propia.

VI. CONCLUSIONES

Para culminar un proyecto de graduación, es necesario que podamos detallar las conclusiones obtenidas durante todo el proceso. "En términos generales, en un nivel más alto, es una conclusión, una proposición que se mantiene con razonamientos. Más específicamente, "punto de partida" propuesto que puede llamarse premisa primera, percepción, intuición sensorial, experiencia y opinión" (Godoy, 2011, p. 7).

A continuación, detallamos las conclusiones obtenidas durante la elaboración de nuestro proyecto.

- Después de múltiples pruebas y días de trabajo, acompañado por retroalimentación obtenida de parte de personal de RLA Manufacturing, obtuvimos que nuestros valores de presión óptimos para el controlador PID fueron 45 y 60 PSI, para las bombas de agua caliente y agua suave, respectivamente.
- El personal de RLA Manufacturing, asignado a los sistemas de bombas para agua tratada, ya tenían experiencia interactuando con sistemas SCADA, por lo que la creación del nuevo SCADA fue recibido con mucha aceptación por parte del personal del departamento correspondiente.
- Debido a que el monitoreo a través del SCADA le permite al personal del departamento monitorear constantemente todos sus sistemas, en las últimas semanas de trabajo se presentaron muchas mejorías en cuanto a la prevención de fallas eléctricas y de procesos solamente, ya que para fallas mecánicas no pueden ser monitoreadas en el SCADA.

VII. RECOMENDACIONES

Hacia la empresa

El desarrollo del proyecto fue realizaba bajo el nombre de la empresa R y D Industrial, para ser implementado en RLA Manufacturing, mejor conocida como textiles Merendón. A continuación, se detallan las recomendaciones para la empresa.

Se recomienda a R y D Industrial sincronizar todas las órdenes de trabajo entre los departamentos involucrados dentro de R y D Industrial, para así poder culminar los proyectos de manera más rápida y efectiva, provocando de esta manera, conformidad en los clientes.

Hacia la universidad

Durante la integración del proyecto se aplicaron muchos de los conceptos teóricos y prácticos, adquiridos durante todo el ciclo académico, sin embargo, existen algunos aspectos que podrían mejorar por parte de la universidad para así brindar mejores competencias a sus estudiantes.

- El uso de Solidworks. Fue una herramienta muy útil para el diseño durante el desarrollo del proyecto, motivo a la universidad a que siga potenciando el uso de este software como hasta la fecha, y que se empiece a integrar el uso de solidworks para el diseño de pantallas HMI y SCADA.
- Redes industriales. Se recomienda potenciar esta área, ya que en el rubro de la automatización es uno de los factores más importantes, protocolos de comunicación como modbus y OPC deberían ser tomados en cuenta.
- Lenguajes de programación en PLC. Se recomienda implementar el uso de diferentes lenguajes de programación en PLC, no solo en escaleras y bloques.
- SCADA. Potenciar el uso de los SCADA, ya que es un servicio muy solicitado en la industria.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Pulido, M. (2003). *Controladores lógicos*. Barcelona, SPAIN: Marcombo.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

173546

Barrientos. A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de producción automatizados*. Madrid,

SPAIN: Dextra Editorial. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

229680

Castro Gil, M.-A., Díaz Orueta, G., & Mur Pérez, F. (2007a). *Comunicaciones industriales:*

principios básicos. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a

Distancia. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

198983

Castro Gil, M.-A., Díaz Orueta, G., & Mur Pérez, F. (2007b). *Comunicaciones industriales:*

sistemas distribuidos y aplicaciones. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad

Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

198996

Cegarra Sánchez, J. (2012). *Un método general de investigación*. Madrid, SPAIN:

Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

228528

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*.

Madrid, SPAIN: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

195878

Colmenar Santos, A., & Borge Diez, D. (2015). *Generación distribuida, autoconsumo y*

redes inteligentes. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a

Distancia. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4>

310565

Colmenares, W., Mata, E., & Revollar, S. (2005). Entonación de controladores

industriales tipo PID. *Revista Ciencia e Ingeniería*. 26(1), 2005. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

208079

Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA:

Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183744>

Godoy, E. (2011). *Cómo hacer una tesis*. Buenos Aires, ARGENTINA: Valletta Ediciones.

Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3203446>

González Santander Martínez, J. L., & Castellano Estornell, G. (2014). *Fundamentos de*

mecánica de fluidos. Alicante, SPAIN: ECU. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224903>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014).

Metodología de la investigación (6a. ed.). México, D.F., MEXICO: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224545>

McNaughton, K. J. (2004). Selección, uso y mantenimiento, 379.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna (5.ª ed.)*. Madrid, SPAIN: PEARSON EDUCACIÓN.

Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216642>

Pagola, L. L. (2009). *Regulación automática*. Madrid, SPAIN: Universidad Pontificia Comillas. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3196406>

Pardo Alonso, J. L. (2012). *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión en bienes de equipo y maquinaria industrial (UF0461)*. Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3212280>

Pesok Melo, J. C. (2012). *Introducción a la tecnología textil*. Montevideo, URUGUAY: D - Universidad de la República. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3220991>

Peters, E. D. (2004). *Propuestas de política para mejorar la competitividad y la diversificación de la industria maquiladora de exportación en Honduras ante los retos del CAFTA*. United Nations Publications.

Ramírez Despaine, M., Moreno Vega, V., & Cabrera Sarmiento, A. J. (2011). *Controlador lógico programable basado en hardware reconfigurable*. La Habana, CUBA: D - Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3201898>

Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA (2a. ed.)*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175459>

Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones industriales*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175914>

Sánchez, J. A. (1995). *Diagnóstico del Cluster de Textiles en Centroamérica*.

Tena Suck, A., & Turnbull Plaza, B. (2001). *Manual de Investigación Experimental: elaboración de tesis*. México, D.F., MEXICO: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

220960

Warshaw, L. J. (s. f.). HISTORIA Y SALUD Y SEGURIDAD, 36.

White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos (5a. ed.)*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3>

194842

IX. ANEXOS

Anexo 1. Panel de control, bombas de agua suave



Fuente: Propia

Anexo 2. Panel de control, bombas de agua caliente



Fuente: Propia

Anexo 3. Cuarto de bombas de agua suave



Fuente: Propia

Anexo 4. Bomba centrífuga



Fuente: Propia

Anexo 5. Variador ABB



Fuente: Propia