



**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA**  
Ingeniería en Mantenimiento Industrial

*“Sistema de Control Automático y Monitorización del Sistema de  
Suministro de Agua de la Planta Este de Trimpot Electrónicas  
Ltda.”*

**TRIMPOT**

**ELECTRONICAS, Ltda.**

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, Grado de Licenciatura**

**Estudiante:**

Cristopher González Navarro

Cartago, Noviembre 2016



Escuela Acreditada por  
Engineers Canada Accreditation Board (ECAB)

## **Información del estudiante**

**Nombre:** Cristopher González Navarro

**Carné:** 201231725

**Dirección de residencia durante la realización del proyecto:** Candelaria, Naranjo, Alajuela, 1 kilómetro al oeste del supermercado Las Américas.

Teléfono: 8526-1259

E-mail: [crisophergn21@gmail.com](mailto:crisophergn21@gmail.com)

## **Información del proyecto**

**Nombre del proyecto:** Sistema de Control Automático y Monitorización del Sistema de Suministro de Agua de la Planta Este de Trimpot Electrónicas Ltda.

**Tipo de Proyecto:** Eléctrico

**Asesor Industrial:** Manuel Castro Ramírez

**Profesor Asesor:** Lisandro Araya Rodríguez

**Horario de trabajo:** lunes a viernes de 7:00 a 4:00

## **Información de la empresa**

**Nombre:** Trimpot Electrónicas, Ltda.

**Dirección:** La Asunción de San Antonio de Belén, en Heredia, 150 metros oeste del cruce entre San Antonio de Belén y la Autopista General Cañas,

**Teléfono:** 2298-3800

**Apartado:** 239-40701, San Antonio, Heredia, Costa Rica

**Actividades:** Fabricación de componentes electrónicos (potenciómetros, resistencias, fuses y circuitos integrados)

*Dedicatoria*

*A mis padres Rolando González Herrera y Melisa Navarro Jiménez, quienes siempre me han acompañado y aconsejado durante esta etapa de mi vida y me dieron su apoyo incondicional para llegar hasta este punto.*

*A mis hermanos a quienes me han acompañado en las noches interminables de estudio.*

*A mis compañeros y futuros colegas, porque siempre nos apoyamos entre todos para lograr todos un mismo cometido.*

*Finalmente a todas esas personas que han dejado una enseñanza en mí durante esta gran etapa*

## *Agradecimientos*

A Dios, quien me permitió llegar hasta este punto de mi carrera sin inconvenientes, también por brindarme la sabiduría y la fortaleza en las situaciones difíciles.

A mis padres, y mi familia en general, quienes trabajaron duro e hicieron sacrificios para brindarme la ayuda que requerí durante todo mi proceso de aprendizaje.

Le agradezco a todo el personal de la empresa Trimpot Electrónicas Ltda., por permitirme realizar el proyecto en esta gran empresa, de donde me llevo conocimiento muy valioso, además de lo técnico, el compañerismo y humildad.

## Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Entorno del Proyecto.....	1
1.1.1	Reseña histórica de la Empresa .....	1
1.1.2	Misión .....	2
1.1.3	Visión.....	2
1.1.4	Descripción del proceso productivo .....	2
1.1.5	Organigrama de BOURNS, Inc.....	4
1.1.6	Organigrama de TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda. ....	5
1.2.1	Departamento de realización del proyecto .....	6
1.3	Descripción del problema.....	7
1.4	Descripción de la solución.....	11
1.5	Objetivo General .....	13
1.6	Objetivos Específicos .....	13
1.7	Metodología .....	14
1.7.1	Definición del problema .....	14
1.7.2	Recolección de información.....	14
1.7.3	Generación de un concepto.....	14
1.7.4	Evaluación del concepto.....	15
1.7.5	Arquitectura del producto.....	15
1.7.6	Configuración del diseño .....	15
1.7.7	Parametrización del diseño .....	15
1.7.8	Detalle del diseño .....	15
1.8	Alcances y Limitaciones del proyecto.....	16

2	Marco Teórico .....	18
2.1	Términos Administrativos .....	18
2.1.1	Falla y Avería.....	18
2.1.2	Mantenimiento .....	18
2.1.3	Indicadores de Mantenimiento.....	19
2.2	Términos Eléctricos.....	21
2.2.1	Energía Eléctrica .....	21
2.2.2	Potencia eléctrica .....	21
2.2.3	Demanda eléctrica.....	22
2.2.4	Demanda máxima.....	22
2.2.5	Tarifas eléctricas.....	22
2.2.6	Circuitos de control y potencia de motores eléctricos.....	23
2.3	Términos de Automatización.....	24
2.3.1	Niveles de automatización industrial.....	24
2.3.2	Protocolos de comunicación .....	25
2.3.3	Protocolo de comunicación Host Link.....	26
2.3.4	Protocolo de Ethernet/IP.....	27
2.3.5	Comunicación de transferencia de archivos .....	27
2.3.6	FINS (Factory Interface Network Service) .....	28
2.3.7	Controladores lógicos programables (PLC).....	30
2.3.8	Sensores .....	33
2.3.9	Lenguajes de programación .....	34
2.3.10	Interfaces de usuario.....	34
2.3.11	LabVIEW .....	35

2.3.12	SCADA.....	36
2.3.13	Bases de Datos .....	36
3	Procedimiento metodológico .....	38
3.1	Investigación bibliográfica del modelo.....	38
3.2	Selección y compra de componentes.....	38
3.3	Programación del Controlador .....	39
3.4	Programación del Sistema de Monitorización, Control y Adquisición de Datos .....	39
3.4.1	Adquisición de datos.....	40
3.4.2	Envío de datos al controlador .....	41
3.4.3	Visualización y procesamiento de los datos .....	42
3.4.4	Base de datos.....	42
3.5	Implementación de la solución .....	42
4	Desarrollo.....	44
4.1	Identificación los problemas del sistema de control de la planta.....	44
4.2	Descripción detallada de la solución .....	45
4.2.1	Descripción del modelo seleccionado.....	45
4.3	Descripción de los componentes a utilizar .....	47
4.3.1	Bomba de pozo profundo .....	47
4.3.2	Sensor de caudal.....	48
4.3.3	Controlador Lógico Programable .....	52
4.3.4	Sensores Ultrasónicos.....	54
4.3.5	Boyas de Nivel.....	55
4.3.6	Transmisor de presión .....	55
4.3.7	Interruptores de flujo.....	56

4.3.8	Sensores de velocidad .....	57
4.3.9	Contactos auxiliares .....	58
4.3.10	Electroválvulas .....	58
4.3.11	Fuente de 24 VDC.....	59
4.4	Diagrama de entradas y salidas .....	60
4.5	Desarrollo del algoritmo de programación del PLC.....	66
4.6	Desarrollo de la aplicación de monitoreo, control y adquisición de datos	71
4.7	Alarmas, alertas y protecciones del sistema .....	81
4.8	Almacenamiento de los datos .....	86
5	Implementación y resultados.....	89
5.1	Cableado Eléctrico .....	89
5.2	Cambio en las tuberías .....	90
5.3	Instalación de sensores.....	91
5.3.1	Sensor de caudal.....	91
5.3.2	Sensores de velocidad e interruptores de flujo.....	92
5.3.3	Transmisor de presión .....	93
5.3.4	Sensores ultrasónicos .....	94
5.4	Instalación del gabinete de control.....	95
5.5	Aplicación de Monitoreo, Control y Adquisición de datos.....	96
6	Análisis de costos .....	106
7	Conclusiones y recomendaciones.....	108
7.1	Conclusiones.....	108
7.2	Recomendaciones.....	109
	Bibliografía .....	110

Apéndices.....	113
Anexos .....	115

## Índice de Tablas

Tabla 4.1. Características de la bomba de pozo .....	48
Tabla 4.2. Especificaciones del sensor de caudal.....	50
Tabla 4.3. Especificaciones del módulo de conversión de pulsos a 4- 20 mA .....	50
Tabla 4.4. Cálculo de la capacidad de la fuente de 24 VDC .....	59
Tabla 4.5. Especificaciones técnicas de la fuente de 24 VDC .....	60
Tabla 4.6. Mapeo de entradas del Sistema.....	65
Tabla 4.7. Mapeo de salidas del Sistema.....	66
Tabla 6.1. Costos totales del proyecto .....	107

## Índice de Figuras

Figura 1.1. Fotografía aérea de la Planta TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda. ....	1
Figura 1.2. Flujo-grama general de los productos en TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda., .....	3
Figura 1.3. Organigrama de BOURNS Inc. ....	4
Figura 1.4. Organigrama de TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.....	5
Figura 2.1. Evolución del Mantenimiento .....	19
Figura 2.2. Circuito de arrancador automático de motores trifásicos .....	23
Figura 2.3. Protocolos de comunicación de dispositivos Omron .....	26
Figura 2.4. Construcción de una red Ethernet.....	27
Figura 2.5. Comunicación de transferencia de archivos.....	28
Figura 2.6. Comandos de comunicación Omron .....	28
Figura 2.7. Envío de paquetes de datos vía Ethernet .....	29
Figura 2.8. Capas del Protocolo FINS.....	30
Figura 2.9. Estructura de los PLC's.....	31
Figura 2.10. Ciclo de procesamiento del PLC. ....	32
Figura 2.11. Ejemplo de salida NPN y PNP .....	33
Figura 2.12. Interfaz de usuario contra usabilidad.....	34
Figura 2.13. Librería de Comunicación de datos de LabVIEW.....	35
Figura 3.1. Estructura de adquisición de datos .....	41
Figura 3.2. Estructura de envío de datos al controlador .....	41
Figura 4.1. Caudal de la bomba de pozo profundo .....	49
Figura 4.2. Ejemplo de instalación de sensor de flujo .....	51
Figura 4.3. Configuración de la frecuencia en el módulo convertidor de pulsos a entrada analógica.....	52

Figura 4.4. PLC Omron CP1L-EM40DR-D con módulos de entradas analógicas .	53
Figura 4.5. Sensor Ultrasónico Banner QT50ULBQ6.....	54
Figura 4.6. Interruptor de flujo de principio calorimétrico VS paleta .....	56
Figura 4.7. Diagrama de entradas y salidas del sistema.....	61
Figura 4.8. Flujo-grama de instrucciones de acuerdo al período de operaciones .	67
Figura 4.9. Flujo-grama de la secuencia general del PLC.....	68
Figura 4.10. Flujo-grama del Funcionamiento del Control Remoto en el PLC .....	69
Figura 4.11. Método de adquisición de datos entre PC y PLC.....	71
Figura 4.12. Configuraciones de red IP y mascara de Sub-red del PLC .....	72
Figura 4.13. Configuraciones del protocolo FINS/UDP .....	73
Figura 4.14. Estructura para envío de datos con el protocolo FINS/UDP en una red Ethernet.....	73
Figura 4.15. Envío de datos a las memorias del PLC .....	74
Figura 4.16. Captura de los datos enviados desde la PC al PLC con el protocolo FINS/UDP.....	74
Figura 4.17. Captura de datos de la respuesta del PLC a la PC vía FINS/UDP ...	75
Figura 4.18. Código de lectura de datos vía FINS/UDP .....	75
Figura 4.19. Diagrama de estados del software implementado .....	77
Figura 4.20. Diagrama de flujo de almacenamiento de datos .....	78
Figura 4.21. Flujo-grama de la interfaz de monitoreo de la aplicación en LabVIEW .....	79
Figura 4.22. Diagrama de flujo del algoritmo de la interfaz de Control Remota y Monitoreo .....	80
Figura 4.23. Diagrama de flujo utilizado para la interfaz de configuraciones .....	81
Figura 4.24. Mensajes de detección de sensores .....	84

Figura 4.25. Mensajes de lectura del canal de alarmas del PLC.....	85
Figura 4.26. VI de almacenamiento de datos .....	88
Figura 5.1. Área de Tubería Principal.....	90
Figura 5.2. Montaje recomendado de los sensores WMP .....	91
Figura 5.3. Sensor Seametrics WMP instalado en la planta .....	91
Figura 5.4. Salidas de los interruptores de flujo y los sensores de velocidad .....	92
Figura 5.5. Montaje de los sensores de velocidad e interruptores de flujo .....	92
Figura 5.6. Interruptores de flujo instalados en la planta.....	93
Figura 5.7. Sensores de velocidad instalados en la planta .....	93
Figura 5.8. Montaje del transmisor de presión en la tubería principal .....	94
Figura 5.9. Montaje de los sensores de los tanques de proceso.....	94
Figura 5.10. Imagen frontal del Panel de Control.....	95
Figura 5.11. Fotografía del interior del panel de control .....	96
Figura 5.12. Menú Principal de la aplicación creada .....	97
Figura 5.13. Interfaz de Monitoreo del Sistema de Suministro de Agua TEL East	98
Figura 5.14. Mensaje de alerta cuando se detectan fallas .....	99
Figura 5.15. Interfaz de Monitoreo y Control Remoto del Sistema .....	100
Figura 5.16. Interfaz de configuraciones del Sistema.....	103
Figura 5.17. Interfaz de registro de usuario.....	104
Figura 5.18. Alarma de fallo en la conexión con el PLC .....	105
Figura 5.19. Base de datos implementada para la adquisición de parámetros del sistema.....	105

## Resumen Ejecutivo

El proyecto fue realizado en TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda., esta es una empresa de manufactura de componentes electrónicos. La planta Este cuenta con un sistema de suministro de agua compuesto por una de bomba de pozo profundo que alimenta dos tanques de captación automáticamente y el tanque de emergencias manualmente.

El sistema de control de nivel de los tanques se instaló hace más de 25 años por lo que ha sufrido muchas modificaciones por averías de los componentes. Además éste no contaba con alguna interfaz de sistema de monitoreo el cual permitiera observar y controlar los actuadores, además de identificar fallas generando mensajes de alarma en la pantalla de la computadora.

En este proyecto se actualizó y se mejoró el sistema de control de llenado de los tanques de proceso, además se incluyó al sistema de control el tanque de emergencias. Esto se realizó con un PLC marca Omron controlado por sensores ultrasónicos, sensores de flujo y transmisores de presión. La secuencia también toma en cuenta la hora para disminuir la probabilidad de que se arranque la bomba de pozo en el período pico de cobro de CNFL y aumente en el período nocturno.

También se diseñó una aplicación en LabVIEW que se comunica con el PLC vía FINS/UDP, protocolo de Omron, con la cual se pueden monitorear el estado de los niveles y volúmenes de los tanques, presiones y caudales de tuberías específicas, controlar remotamente las electroválvulas y la bomba de pozo, realizar configuraciones y además muestra las alertas del sistema.

Finalmente se implementó una base de datos en Microsoft Access la cual lleva el historial de algunas variables del sistema, la cual se comunica con la aplicación LabVIEW a través de un ODBC.

Palabras clave: SCADA, adquisición de datos, control automático, monitorización, PLC, LabVIEW, FINS, ODBC.

## Abstract

The Project was made in TRIMPOT ELECTRONICAS Ltda. This is an electronical components manufacturing enterprise. The East plant has a water supply system conformed by a deep well pump which feeds two capture tanks automatically and feeds manually an emergency tank.

The level control systems of the tanks was installed more than 25 years ago and it has undergone many modifications due to component failures. Furthermore, it did not have any monitoring system interface, which allowed observing and controlling the actuators, besides identifying failures generating alarm messages on the computer screen.

In this project, the control system for filling the process tanks was updated and improved, and the emergency tank was included in the control system. This was done with an Omron PLC controlled by ultrasonic sensors, flow sensors and pressure transmitters. The sequence also considers the time to decrease the probability that the well pump will start in the peak period of CNFL billing and increase in the night period

An application was also designed in LabVIEW that communicates with the PLC via FINS / UDP, Omron protocol, with which it is possible to monitor the status of tank levels and volumes, pressures and specific pipeline flows, remotely control the solenoid valves and the deep well pump, perform configurations and also displays system alerts.

Finally, a database was implemented in Microsoft Access, which carries a record of some variables of the system, which communicates with the LabVIEW application through an ODBC.

Keywords: SCADA, data acquisition, automatic control, monitoring, PLC, LabVIEW, FINS, ODBC

# 1 Introducción

## 1.1 Entorno del Proyecto

### 1.1.1 Reseña histórica de la Empresa

El proyecto se realizará en la empresa TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda., esta se dedica a la fabricación de componentes electrónicos los cuales sirven a un amplio mercado, entre estos el automotriz, telecomunicaciones, industrial y de consumo.

TRIMPOT es una división de la compañía familiar BOURNS Inc. La cual fue fundada por Marlan y Rosemary Bourns en 1947, la pareja inició su negocio en un pequeño garaje en Riverside, California, lugar donde se encuentra su casa matriz actualmente.

A lo largo de los años la compañía Burns Inc. ha tenido un constante crecimiento y se han creado al menos 11 plantas alrededor del mundo, en Estados Unidos, México, Reino Unido, Hungría, China y Costa Rica. La planta en Costa Rica (TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.) se encuentra ubicada en La Asunción de Belén, Heredia. Está estratégicamente ubicada en una zona franca, por lo que tiene gran cantidad de ventajas económicas.



Figura 1.1. Fotografía aérea de la Planta TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

Fuente: Trimpot Electrónicas Ltda.

### **1.1.2 Misión**

A continuación se muestra la misión de la empresa:

“BOURNS busca la total satisfacción de los clientes en una base mundial, al mismo tiempo que logra un crecimiento firme con productos tecnológicos de diseño innovador, calidad superior y valor excepcional. Nos comprometemos a la excelencia; al mejoramiento continuo de nuestra gente, tecnologías, sistemas productos y servicios; por el liderazgo industrial; y por el más alto nivel de integridad”. (TRIMPOT ELECTRÓNICAS, 2016)

### **1.1.3 Visión**

La visión de la empresa TRIMPOT ELECTRÓNICAS es la que se presenta a continuación:

“Ser el líder internacional de clase mundial enfocado en componentes electrónicos pasivos, módulos sensores y tecnología de sistemas y sensores; proporcionando soluciones innovadoras y relaciones en un mercado global”. (TRIMPOT ELECTRÓNICAS, 2016)

### **1.1.4 Descripción del proceso productivo**

Los productos de la Compañía BOURNS se distribuyen en 6 divisiones de negocio diferentes, de las cuales 3 se encuentran en TRIMPOT, o BOURNS Costa Rica. Estas específicamente son: “Trimmers”, en donde se fabrican potenciómetros de diversos tipos y tamaños; “Fixed Resistors”, en donde se fabrican productos tales como “Power Resistors” (resistencias de potencia), “Shunts” (resistencias de alta potencia y baja resistividad), y Networks (en un circuito integrado con varias resistencias). La tercera división es GDT se fabrican fusos de gas. Cada uno de estos productos tiene diferentes tamaños y modelos. Cada una de estas divisiones tiene un gerente general, al cual le responde José Salazar, Gerente de Planta TEL. (TRIMPOT ELECTRÓNICAS, Ltda.)

Los componentes utilizados en los productos de TRIMPOT son en su mayoría conformados en la empresa, sin embargo existen algunos insumos los cuales se importan. A continuación se muestra un flujo-grama general del proceso productivo de la empresa:



Figura 1.2. Flujo-grama general de los productos en TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.,

Fuente: TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

### 1.1.5 Organigrama de BOURNS, Inc.

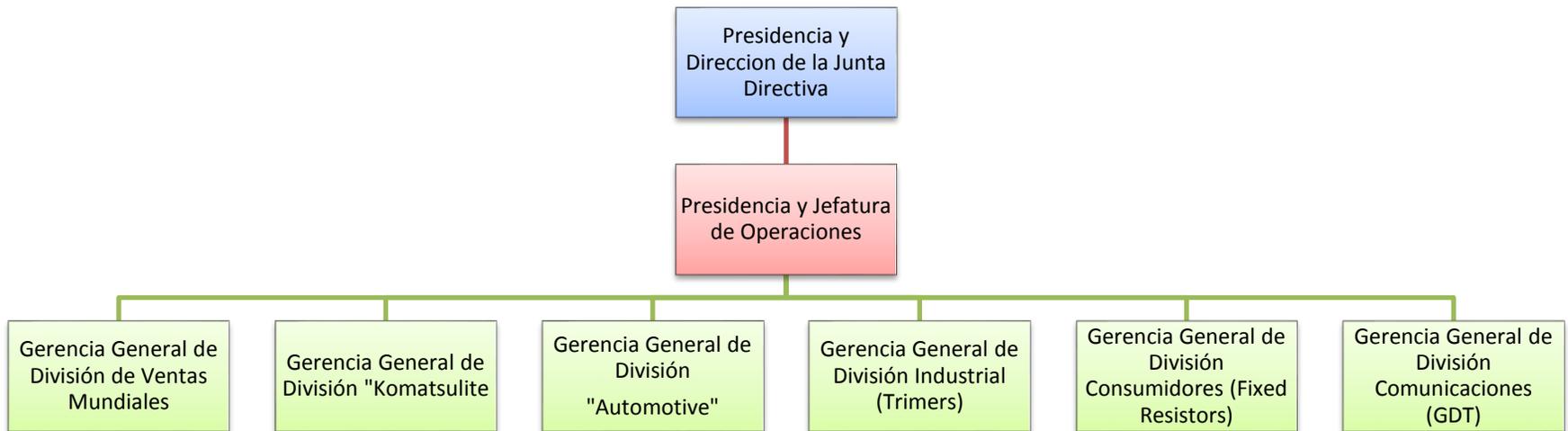


Figura 1.3. Organigrama de BOURNS Inc.

Fuente: TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

### 1.1.6 Organigrama de TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

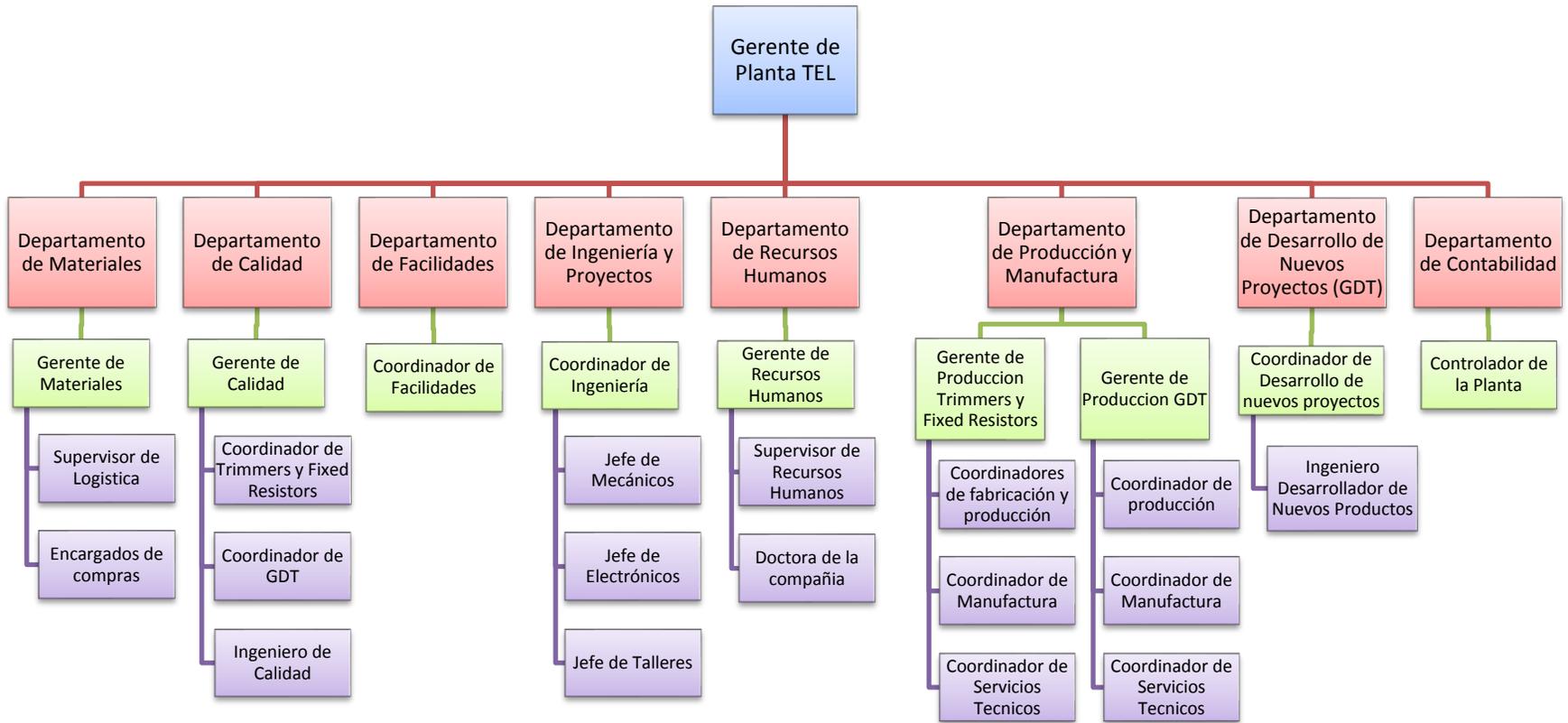


Figura 1.4. Organigrama de TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

Fuente: TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda.

### **1.2.1 Departamento de realización del proyecto**

El presente proyecto será realizado en el Departamento de Ingeniería y Proyectos de la empresa. Este se encuentra conformado principalmente por un coordinador, tres jefaturas y los ingenieros y técnicos asociados a cada una de ellas. Este departamento se encarga principalmente de crear todo tipo soluciones a diversos problemas que surgen en el día a día, generalmente en la parte producción. Como por ejemplo el estos proyectos van desde pequeños “fixtures” hasta el diseño de máquinas automatizadas las cuales constan de componentes eléctricos y mecánicos que mejoran los procesos productivos, de esta forma se evitan problemas en la producción tales como la velocidad y el error humano. Este departamento también apoya al Departamento de Facilidades en la automatización de algunos sistemas y necesidades, tal y como se va a describir en este proyecto.

La empresa TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda., se caracteriza por la innovación, la mejora continua de sus productos, la responsabilidad con el tiempo de entrega de los pedidos, por lo que los sistemas deben ser confiables y deben estar disponibles en todo momento.

### 1.3 Descripción del problema

La empresa no cuenta con un sistema de suministro de agua por parte de la municipalidad. Sino, en vez de esto se utiliza un afluyente de agua subterránea, de la cual se obtiene toda el agua para abastecer la planta. Para esto se utiliza un sistema de bomba de pozo profundo de 10 HP la que alimenta a dos tanques de captación agua los cuales a su vez tienen dos bombas de 5 HP cada uno, los cuales alimentan a los diferentes usuarios y procesos. Estos tanques tienen diferente volumen y se encuentran ubicados distintas altitudes. También para cumplir con los requisitos de la póliza de seguros se añadió al sistema un tanque de agua de protección contra incendios, garantizando que el nivel se encuentre entre el 87,5% y 100% de su capacidad máxima.

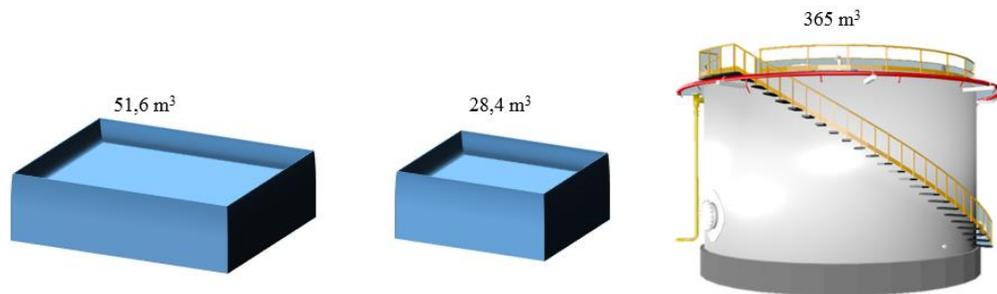


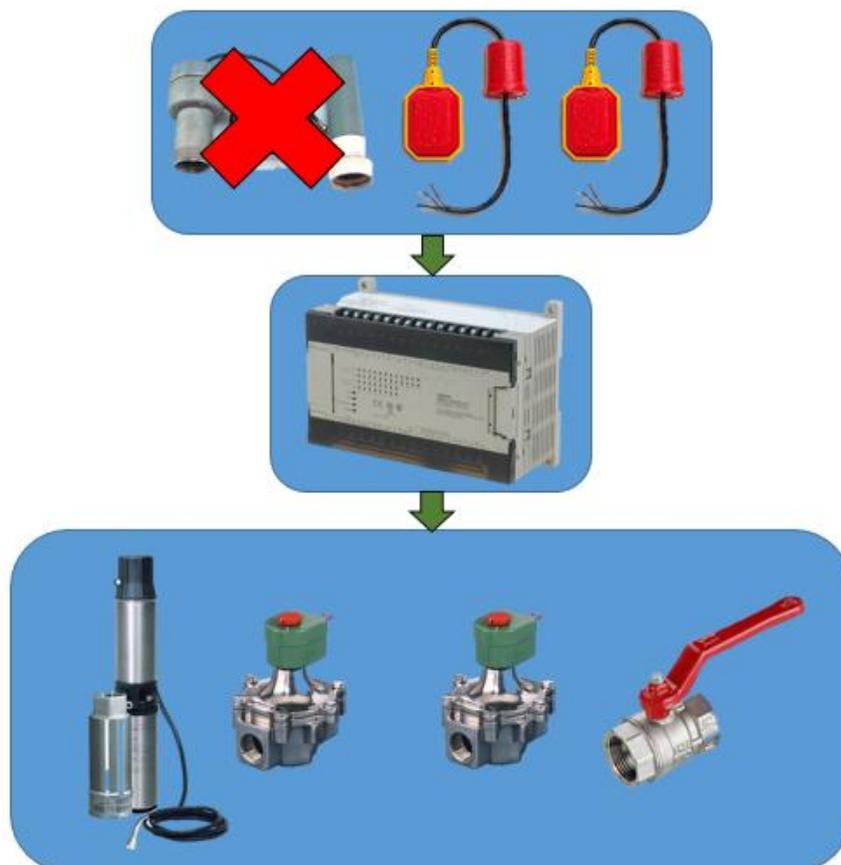
Figura 1.5. Dimensiones de los tanques

Fuente: Elaboración propia en PowerPoint

La instalación del sistema actual se realizó hace aproximadamente 25 años, el sistema está controlado por un PLC Omron un conjunto de sensores y actuadores de salidas analógicas y digitales que a lo largo de los años han ido cambiando. Por ejemplo, los niveles de los tanques de captación de agua del proceso productivo estaban controlados por sensores ultrasónicos con señal analógica, los cuales se dañaron con el paso del tiempo y fueron sustituidos por una boya en cada uno de los tanques, porque esta fue la solución más rápida de implementar en ese momento.

El algoritmo utilizado para el control del sistema anteriormente instalado consistía la activación de temporizadores que variaban acuerdo al nivel de cada uno de los tanques. Sin embargo, cuando los sensores ultrasónicos se dañaron, también se cambió la lógica de la programación del PLC.

Actualmente, el control del sistema de suministro de agua lo realiza el mismo PLC de hace 25 años, una boya de nivel en cada uno de los tanques de proceso, estas indican cuando de debe encender o apagar la bomba y direccionar el flujo abriendo las electroválvulas según la necesidad de cada uno de los tanques, dejando por fuera el tanque de protección contra incendios. Por lo que, para mantener este tanque en el rango de nivel necesario, cada semana se debe abrir una válvula de bola, poner el sistema en modo manual y encender la bomba de pozo.



**Figura 1.6. Componentes del Suministro de Agua de la Planta Actual**

Fuente: Elaboración propia en PowerPoint

También se han presentado algunos imprevistos a causa de que fallan algunos componentes del sistema, por lo que se ha visto la necesidad de cambiar a un sistema nuevo con el que actualice la tecnología y además se tenga la capacidad de monitorear el estado de los equipos. También es importante que con la monitorización se puedas identificar algunas de las fallas a las que el sistema se encuentra propenso y se han presentado durante su periodo de trabajo.

Algunos de los problemas que se han identificado son:

- El rebalse de los tanques, lo que ha causado tener que detener la producción por peligro con caídas y descargas eléctricas.
- Daño de las válvulas de anti-retorno del sistema, lo que produce un atraso en el llenado de los tanques y sí el nivel de los tanques está muy bajo, se ha interrumpido el suministro de agua a la planta por unos minutos. La falla de estas válvulas también provoca que los empaques de las electroválvulas se desmonten y el sistema queda fuera hasta que se traigan los repuestos de las válvulas y se haga la reparación. Quedando el sistema bajo control manual de un técnico de mantenimiento abriendo y cerrando válvulas manualmente.
- En caso de que el sistema se detenga no se cuenta con ningún tipo de monitorización, ni confirmación de que el proceso se esté ejecutando como debería, por lo que existen pérdidas de tiempos mientras se busca el problema.

El agua es un recurso imprescindible en la empresa para los procesos productivos, sistemas de refrigeración, baterías de servicios sanitarios, el restaurante institucional y la seguridad del sistema contra incendios de la empresa. Todos estos sistemas que se mencionaron anteriormente dependen directamente del buen funcionamiento del sistema de suministro de agua, lo que lo hace crítico para la actividad de la empresa. El tiempo paro de este sistema puede producir un alto impacto monetario y generar muchas pérdidas a la empresa. Es por esto que se requiere sistema seguro y confiable para el trasiego de agua de las plantas.

Para poder concretar este proyecto se requieren conocimientos del área eléctrica y electrónica, esto debido a que, de acuerdo a las necesidades se debe dimensionar, seleccionar y programar el controlador y la interfaz que se desee utilizar. También es importante tener conocimientos de mecánica de fluidos y bombas, esto porque que se deben dimensionar los sensores y actuadores, tales como los medidores de caudal de agua, interruptores de confirmación de flujo de agua, electroválvulas y transmisores de presión. También conocimientos de motores eléctricos.

Uno de los objetivos de la empresa con este proyecto, además de implementar un sistema más avanzado y confiable que el actual, es establecer un plan piloto para poder expandir este tipo de sistemas con control y monitorización a otros equipos controlados por el Departamento de Facilidades de la empresa, sin tener que depender de alguna empresa externa para ello. Este departamento es el que se encarga del mantenimiento de todos los equipos tales como aires acondicionados, suministro de agua, suministro de energía eléctrica y maquinaria utilizada en obras civiles de la empresa, entre otros.

## 1.4 Descripción de la solución

Para resolver el problema planteado anteriormente se planea diseñar un sistema de control automático para el llenado de los tanques más eficiente y confiable. Esto se hará utilizando un controlador lógico programable que tenga posibilidades de comunicación (Ethernet TCP/UDP, Modbus, Profibus, etc.).

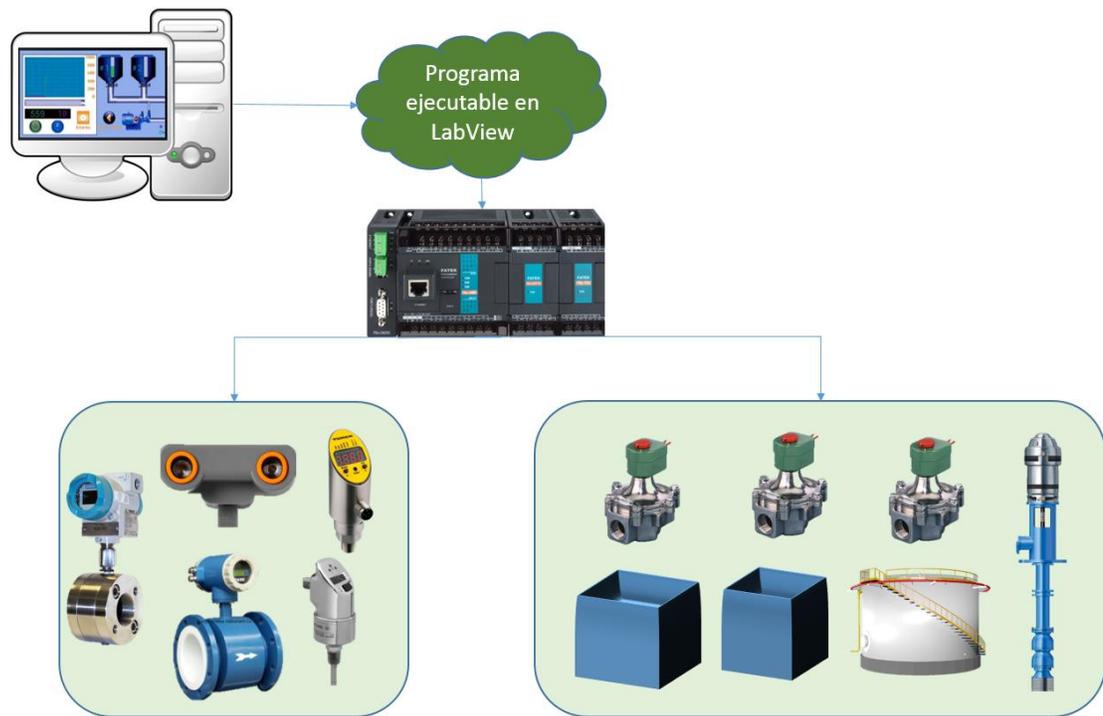
La comunicación en el PLC es muy importante porque de esta manera se puede diseñar una programa en software de desarrollo LabVIEW capaz de adquirir datos, con una interfaz de monitoreo en tiempo real y que se puedan controlar manualmente los actuadores del sistema. Además que este programa pueda ser accesado por las personas que cuenten con los permisos necesarios, como por ejemplo, las personas del Departamento de Facilidades, quienes en este caso son los encargados que los sistemas electromecánicos de la empresa se encuentren funcionando correctamente.

Para mejorar el control del sistema utilizarán sensores los cuales permitirán conocer valor real del nivel de los tanques así como el volumen de agua con el que cuentan, medir el caudal de salida de la bomba de pozo, conocer si hay o no hay flujo en las tuberías y conocer los caudales de salida de cada uno de los tanques de proceso. Para efectos de este proyecto no se contemplará la monitorización del caudal de salida del tanque de emergencia por que este debe contener un volumen el cual se supone que contenga la suficiente cantidad de agua para abastecer cualquier eventualidad.

El control debe garantizar al máximo que haya suficiente agua en los tanques de proceso para que la planta pueda mantenerse en funcionamiento. También que el tanque de emergencias se encuentre dentro del rango de nivel definido por la empresa aseguradora.

Otro de los factores tomados en cuenta para este sistema es la dependencia del horario para evitar que la bomba arranque durante los períodos pico de cobro de electricidad de la compañía de Fuerza y Luz, esto sin dejar de lado la importancia de que estos tengan suficiente agua para que la empresa se mantenga en funcionamiento.

Con la interfaz se pretende que los encargados de facilidades de la empresa puedan observar en tiempo real el nivel de los tanques, presencia o no de flujo en las tuberías, flujo y presión en la tubería principal. Esto ayuda a agilizar la detección de fallas en el sistema en caso de alguna eventualidad. También se pretende crear una pequeña base de datos en donde se almacenen los flujos, presiones y volúmenes según el día y la hora, para llevar el histórico y poder determinar si las situaciones son normales o anormales, así como llevar el control del recurso hídrico regulado por la norma ISO 14001.



**Figura 1.7. Diagrama de la propuesta de automatización del sistema de suministro de agua**

Fuente: Elaboración propia en PowerPoint

## **1.5 Objetivo General**

1. Implementar un sistema de control y monitorización en tiempo real de los componentes que conforman el sistema de suministro de agua de los tanques de la planta este de la Empresa TRIMPOT ELECTRÓNICAS Ltda. para ayudar al personal del departamento de facilidades a conocer el estado este sistema.

## **1.6 Objetivos Específicos**

1. Identificar mediante una lista los problemas del sistema de control y del sistema mecánico del instalado actualmente en la planta, para establecer los parámetros identificables que se producen al estar en condición de falla, falta o avería en el sistema de suministro de agua de la planta.
2. Justificar la selección de los equipos y sensores a utilizar en el sistema de control y monitorización de suministro de agua de la empresa mediante un modelo con el que se puedan identificar los problemas identificados en el objetivo anterior.
3. Diseñar el programa control de nivel de los tanques en un controlador lógico programable que identifique los problemas establecidos con el primer objetivo específico.
4. Crear una interfaz gráfica en LabVIEW que permita realizar la adquisición de datos, la monitorización y el control remoto sistema instalado desde una computadora con acceso a la red de la empresa.
5. Programar alertas tanto en el programa de control como en la interfaz de usuario en caso de encontrarse una falla, falta o avería.
6. Realizar un análisis de costos de la alternativa planteada para el proyecto.

## **1.7 Metodología**

La metodología del este proyecto se basa en la literatura” del Dr. George Dieter llamada “Engineering Design. Esta divide el proyecto en las siguientes etapas, las cuales están acompañadas de una pequeña descripción de las acciones que fueron llevadas a cabo durante cada una de las etapas:

### **1.7.1 Definición del problema**

Primeramente se investiga cuáles son los principales requerimientos y restricciones que debe contener el sistema, esto se hace conversando con personas que se relacionan con el sistema en cuestión como por ejemplo el coordinador de proyectos de la empresa, quien realizó el diseño del control actual, este también definió las principales necesidades según los intereses de la empresa, seguidamente se conversó con el coordinador del departamento de facilidades de la empresa, quien será el consumidor principal de este proyecto.

### **1.7.2 Recolección de información**

Se estudia el sistema instalado actualmente, alternativas de configuraciones de sistemas de control de nivel de tanques de agua u otros fluidos. También se solicita información de proyectos realizados anteriormente en la empresa para verificar si es apto utilizar dispositivos similares.

### **1.7.3 Generación de un concepto**

Luego de realizar las investigaciones se procede a organizar las ideas compiladas, esto mismo se hace con las solicitudes y requerimientos de la empresa para comenzar a generar la primera propuesta diseño de la configuración del sistema. Luego se investigan sobre diferentes controladores lógicos programables (PLC), sensores (transmisores de presión, medidores de caudal, interruptores de flujo, entre otros) y actuadores para instalar en el sistema (electro-válvulas). Por último se recopila información sobre distintos softwares de desarrollo y protocolos de comunicación para desarrollar la interfaz. También es en esta etapa en donde se establece la lógica de la programación y la estructura va a tener el sistema.

#### **1.7.4 Evaluación del concepto**

Esta es la etapa donde se valida el modelo generado en las etapas anteriores. Bajo diferentes criterios se seleccionan las alternativas más viables, Por ejemplo, cálculos de caudales, evaluación de los costos, comparaciones, realización de pruebas.

#### **1.7.5 Arquitectura del producto**

En esta etapa se crean las estructuras de los algoritmos utilizados para el control y para la aplicación creada en el software de desarrollo. Por ejemplo, la secuencia del control de nivel de los tanques, la estructura utilizada para la adquisición y el procesamiento de los datos, el funcionamiento de la interfaz de monitoreo y los parámetros que podrán ser modificados desde la aplicación.

#### **1.7.6 Configuración del diseño**

En esta etapa se procede a realizar la programación del sistema, se inicia con la programación el control del nivel de los tanques en el PLC, para luego conocer los parámetros que tienen que ser accesados por la aplicación creada desde el software de desarrollo, seguidamente se desarrolla la aplicación adaptándose a lo creado anteriormente.

#### **1.7.7 Parametrización del diseño**

De acuerdo al funcionamiento y todo lo investigado en las etapas anteriores se procede a realizar las configuraciones de los parámetros relacionados al control del nivel de los tanques, como, por ejemplo, niveles mínimos y máximos, presiones mínimas y máximas en las tuberías, tolerancias en los niveles, dimensiones de las tuberías, entre otros.

#### **1.7.8 Detalle del diseño**

En esta etapa del diseño se muestran los resultados finales del mismo, como por ejemplo, los algoritmos, programas, manuales y especificaciones.

## 1.8 Alcances y Limitaciones del proyecto

El principal alcance de este proyecto es desarrollar un nuevo diseño para el sistema de control de llenado de tanques de agua de la empresa, en donde se contemple el cambio los dispositivos se encuentran obsoletos y además de incluir la automatización del control de nivel del tanque de emergencias, el cual no se encuentra dentro del diseño actualmente. También se tiene la creación de una aplicación con la cual se adquiera información del PLC vía Ethernet, como caudales, volúmenes y guardarlos en una pequeña base de datos la cual contenga el histórico del uso de agua de la empresa. Esta aplicación debe tener una herramienta de monitorización con la que se puedan localizar fallas eficientemente y poder actuar más rápido.

Puntualmente se tiene que los entregables de este proyecto son:

- Lista de materiales (componentes, sensores, actuadores)
- Lista de componentes y montaje de estos en el gabinete
- Diagramas de conexiones y montaje de los componentes
- Archivos de la programación del PLC
- Aplicación de Monitoreo, control y adquisición de datos desarrollada en LabVIEW con base de datos desarrollada en Microsoft Access.
- Análisis de costos con las respectivas cotizaciones realizadas durante el desarrollo del proyecto
- Finalmente se entregará un prototipo funcionando del sistema de control de nivel de los tanques.

La principal limitante en este proyecto es el tiempo, ya que se requiere de mucha investigación para desarrollar el modelo ideal para el sistema y seleccionar cada uno de los componentes.

También hay que tomar en cuenta el tiempo que con lleva compra de los componentes, este se asocia una serie de procedimientos administrativos además el tiempo de entrega, lo cual puede generar retrasos en las actividades previamente planeadas.

Los softwares de programación del PLC y de la interfaz son distintos a los que se habían utilizado anteriormente por lo que esto conlleva mucho tiempo de investigación y aprendizaje.

Otra limitante para el proyecto es que el presupuesto para este depende del presupuesto del Departamento de Facilidades, por lo que si se tenían emergencias en la empresa el presupuesto mensual se reduce y se deben aplazar la compra de los componentes al mes siguiente.

Por último, al ser un sistema tan crítico con el que se está trabajando, los cambios que se hacen en el sistema (como por ejemplo tuberías, PLC, contactores, entre otros), únicamente se pueden realizar en días en los cuales haya tantas personas en la planta, para no interferir con sus actividades.

## **2 Marco Teórico**

### **2.1 Términos Administrativos**

#### **2.1.1 Falla y Avería**

De acuerdo con la Real Academia Española una avería es un daño que impide el funcionamiento de un aparato o instalación. En este caso una avería sería algún daño que no permita que el sistema de suministro de agua a la planta funcione la cual está relacionada a una falla.

En el caso de la palabra falla, está definida en el Diccionario de la Real Academia Española como un defecto o falta. También se define como la carencia o privación de algo. En el caso de este sistema las fallas estarían relacionadas a la carencia de energía, agua, funcionamiento de componentes críticos, entre otros.

#### **2.1.2 Mantenimiento**

El mantenimiento debe garantizar que los equipos se encuentren disponibles para la función que desempeñan, con calidad, confiabilidad, seguridad, cuidando el medio ambiente a un costo adecuado para la función.

El mantenimiento ha tenido un avance conforme ha pasado el tiempo. En los años 50's se aplicaba el mantenimiento correctivo, este es el comúnmente llamado apaga incendios, en donde se reparan los equipos hasta que ocurra la falla. En la década de los 60's se inició con el mantenimiento preventivo en el cual se analiza la combinación de prevención de las fallas con respecto a las pérdidas que esta generan y se crean actividades de mantenimiento para prevenir las fallas. En la actualidad con los avances de la electrónica han permitido que se prevengan las fallas y las averías; lo que ha creado una nueva generación, la era del mantenimiento predictivo, el cual en combinación con el mantenimiento centrado en confiabilidad conforman el tipo basado en la condición.

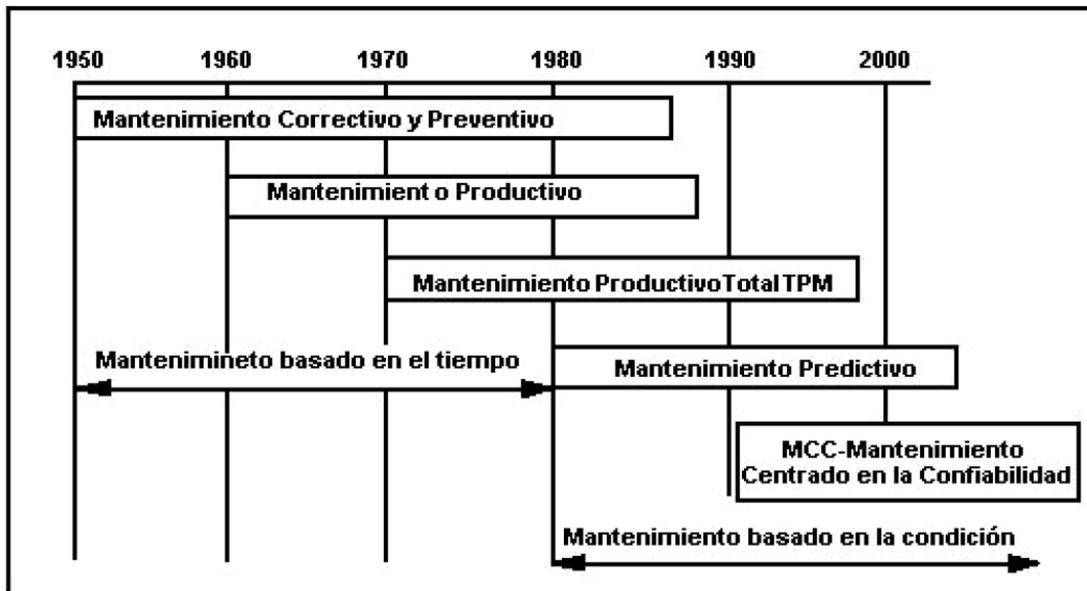


Figura 2.1. Evolución del Mantenimiento

Fuente: (Mesa, Ortiz, & Pinzón, 2006)

### 2.1.3 Indicadores de Mantenimiento

Los términos confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad deben ser parte del día a día del mantenimiento de los equipos en una planta. Ya que son los indicadores que ayudan a conocer si las operaciones de mantenimiento se están realizando correctamente.

De acuerdo con Mesa, Ortiz y Pinzón la confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de un tipo determinado, para una misión definida a un nivel de confianza dado. El aumento de la confiabilidad influye en un costo que aumenta exponencialmente. Lo que quiere decir que a un nivel alto de confiabilidad el aumento de la misma cuesta más caro que si se está en un nivel bajo.

La confiabilidad se calcula como:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

R: Confiabilidad

$e$ : Constante Neperiana

$\lambda$ : Tasa de fallas

$t$ : Tiempo

Estos autores definen disponibilidad como, la confianza a un sistema al que se le ha realizado actividades de mantenimiento y pueda ejercer sus funciones satisfactoriamente en un tiempo definido. Esta se puede expresar en porcentaje calculándola de la siguiente manera:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

TMEF: Tiempo medio entre fallas

TMPR: Tiempo medio de reparación

Para calcular la disponibilidad es necesario saber cómo calcular el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de las reparaciones

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$\lambda$ : Tasa de fallas

$$TMPR = \frac{1}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

$\mu$ : Cantidad de reparaciones entre el tiempo total de reparaciones (Tasa de reparaciones)

Por último, se tiene el indicador llamado mantenibilidad el cual es definido por Mesa, Ortiz y Pinzón como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en operación en un periodo definido de tiempo, en otras palabras, es la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un tiempo específico. Este indicador se calcula de la siguiente manera:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

M: Mantenibilidad

e: Constante Neperiana

$\mu$ : Cantidad de reparaciones entre el tiempo total de reparaciones (Tasa de reparaciones)

t: Tiempo preestablecido para la reparación

## 2.2 Términos Eléctricos

### 2.2.1 Energía Eléctrica

La energía eléctrica se define como la cantidad de potencia que se requiere para realizar un trabajo durante un tiempo determinado. En electricidad esta es expresada en unidades de kilowatt por hora. Esta se relaciona directamente al tiempo de operación del equipo o sistema.

### 2.2.2 Potencia eléctrica

La potencia es la capacidad para producir un trabajo, esta también se puede definir como la velocidad a la cual la energía se va consumiendo durante la realización de un trabajo. Esta se mide en watts lo que equivale a un Joule por segundo y en el sistema métrico se representa con la unidad watt o kilowatt.

### 2.2.3 Demanda eléctrica

La demanda eléctrica se define como la potencia eléctrica que requiere un equipo, sistema o máquina en un instante dado para permanecer funcionando. Es un valor promedio de la potencia eléctrica requerida por el sistema durante un intervalo de tiempo determinado. La fórmula para calcular la demanda eléctrica se muestra a continuación:

$$\text{Demanda eléctrica} = \frac{\text{Energía consumida (kWh)}}{\text{Tiempo (h)}} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

### 2.2.4 Demanda máxima

De acuerdo con la Norma de uso, Funcionamiento y Control de Contadores de Energía Eléctrica establecida por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) en diciembre del 2001 se dicta que las empresas eléctricas facturarán la demanda máxima que se registre en un intervalo de 15 minutos durante el periodo que se vaya a facturar.

### 2.2.5 Tarifas eléctricas

Las tarifas eléctricas varían según la compañía distribuidora de energía, esto se realiza acorde a las regulaciones de la ARESEP. Es por esto que para cada compañía se encuentran diferentes tarifas para cada uno de los rubros cobrados en la facturación eléctrica.

Para el caso de este proyecto se describen la tarifa de media tensión en dólares (T-MTB) brindadas por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, la cual es la compañía que le brinda el servicio de electricidad a la empresa.

Para el cobro de la tarifa eléctrica se toman en cuenta varios factores, Demanda máxima registrada durante el mes en cada uno de los períodos y energía consumida durante el mes. Estos varían según el período en el que se encuentre. Los períodos son:

- Periodo Valle: es el periodo comprendido desde las 06:01 a las 10:00 y entre las 12:31 y las 17:31 horas
- Periodo Punta: es el periodo comprendido desde las 10:00 a las 12:30 y entre las 17:31 y las 20:00 horas
- Periodo Nocturno: Este es el periodo comprendido desde las 20:01 hasta las 6:00 del día siguiente.

## 2.2.6 Circuitos de control y potencia de motores eléctricos

De acuerdo con Kosow 2006 un arrancador automático está compuesto por dos tipos de circuitos, el de control y el de potencia. A continuación en la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de un arrancador automático

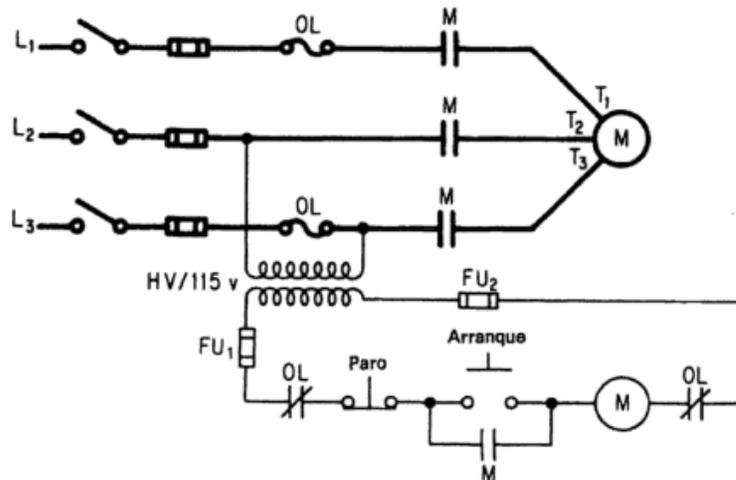


Figura 2.2. Circuito de arrancador automático de motores trifásicos

Fuente: (Kosow, 2006)

El circuito de control es el que define cuando se da el paso o no del flujo de potencia hacia el motor, estos por lo general están controlados con corriente monofásica o bifásica y está protegido por fusibles.

Los circuitos de potencia son aquellos que suministran la energía directamente a las terminales del motor, están compuestos por un interruptor, una protección de sobrecarga y un contactor el cual cuenta con un contacto auxiliar que es el que lo conecta con el circuito de control.

## **2.3 Términos de Automatización**

Se define el término automatización como la aplicación de métodos y procedimientos para sustituir a los operarios de tareas físicas y mentales previamente programadas al control de procesos industriales, con el objetivo de mejorar la calidad del producto, así como la velocidad de los procesos.

### **2.3.1 Niveles de automatización industrial**

La pirámide de la automatización se divide en distintos niveles, los cuales serán mostrados a continuación:

- Nivel de campo: Este nivel es el más bajo de la pirámide, en este se encuentran los componentes tales como sensores y actuadores del sistema en cuestión.
- Nivel de control: A este nivel le corresponden los dispositivos de control y monitoreo tales como PLC's, HMI's, variadores de frecuencia, drivers de motores, entre otros. Este nivel es el encargado de realizar el control y el monitoreo del sistema.
- Nivel de supervisión: A este nivel se le atribuyen las funciones de controlar la interacción entre los dispositivos del nivel de control. De esta manera se pueden controlar y monitorear varios procesos simultáneamente. En este se encuentran dispositivos tales como sistemas SCADA o PLC's maestros.
- Nivel de gestión: es el nivel más alto de la pirámide de automatización industrial, se encarga de realizar el control de toda la planta. Este nivel se vincula con sistemas de control y monitoreo externos. Para este se tienen dispositivos como computadoras industriales.

### **2.3.2 Protocolos de comunicación**

Los niveles de comunicación mencionados anteriormente se vinculan entre ellos por medio de los protocolos de comunicación. Estos son lenguajes de comunicación estandarizados para que distintos dispositivos de diferentes fabricantes puedan compartir datos entre ellos. Los diferentes protocolos tienen asociadas diferentes factores tales como cantidad de datos y velocidad a la que son enviados estos datos.

Los protocolos de comunicación más populares en la industria de acuerdo con Micro Automación (2016) son:

- Profibus DP
- DeviceNet
- Modbus
- Can Open
- AS-i
- Ethernet/IP
- Modbus TCP/IP

Para el caso del presente estudio se realiza utilizando protocolo de comunicación de Omron por medio del Puerto RJ 45 se establece comunicación por medio del protocolo Ethernet/IP, el cual se adapta a los protocolos de comunicación FINS/TCP y FINS/UDP.

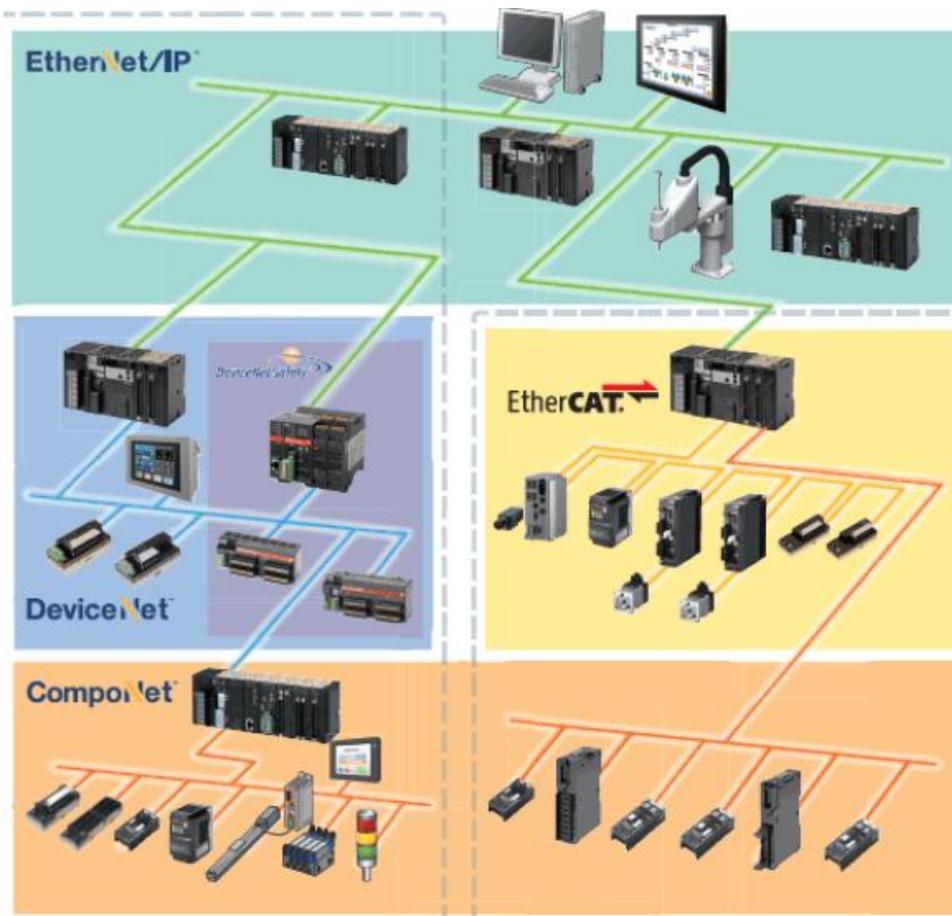


Figura 2.3. Protocolos de comunicación de dispositivos Omron

Fuente: (Omron, 2016)

### 2.3.3 Protocolo de comunicación Host Link

El protocolo de comunicación Host Link es un método creado por Omron para la comunicación de los PLC's Omron con equipos de otros fabricantes. Es un protocolo basado en ASCII (acrónimo de las siglas en inglés de American Standard Code for Information Interchange). Este normalmente se transmite utilizando conexión serial RS 232 y RS-485. Inicialmente la comunicación se realizaba únicamente vía serial con los métodos mencionados anteriormente, con el pasar del tiempo se ha logrado implementar Ethernet/UDP y Ethernet/TCP.

### 2.3.4 Protocolo de Ethernet/IP

Es una red industrial abierta con protocolos de control que están basados en estándares de tecnología Ethernet. Este protocolo de comunicación se puede utilizar con los estándares de los protocolos de internet para crear paquetes de datos de grandes tamaños. Las ventajas de utilizar este tipo de protocolo son que se pueden transferir grandes paquetes de datos a altas velocidades y además de que se puede programar eficientemente haciendo uso de etiquetas. Otra ventaja es que para realizar la construcción de una red Ethernet únicamente es necesario un switching hub y los dispositivos que van a conformar la red con su dirección IP determinada.

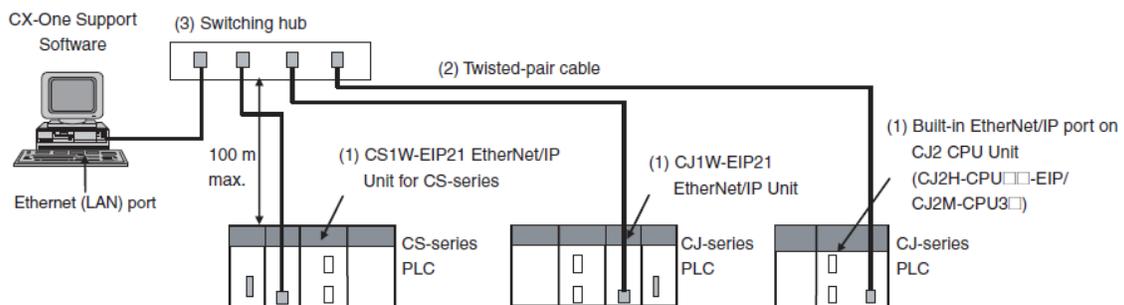


Figura 2.4. Construcción de una red Ethernet

Fuente: (Omron, 2016)

### 2.3.5 Comunicación de transferencia de archivos

Este método de comunicación se utiliza principalmente en el nivel de gestión. Esto porque se usan datos de producción como por ejemplo, si fuera el caso de una máquina de producción se usa para cuantificar la cantidad de productos, el alcance, el historial de anomalías, entre otros.

Los archivos pueden ser enviados entre computadoras, servidores, y si estos tienen el mismo formato correcto el PLC los puede interpretar y realizar acciones las cuales crearán nuevos archivos que se pueden visualizar en la computadora.

Los datos pueden ser almacenados en el disco duro de una computadora o servidor.

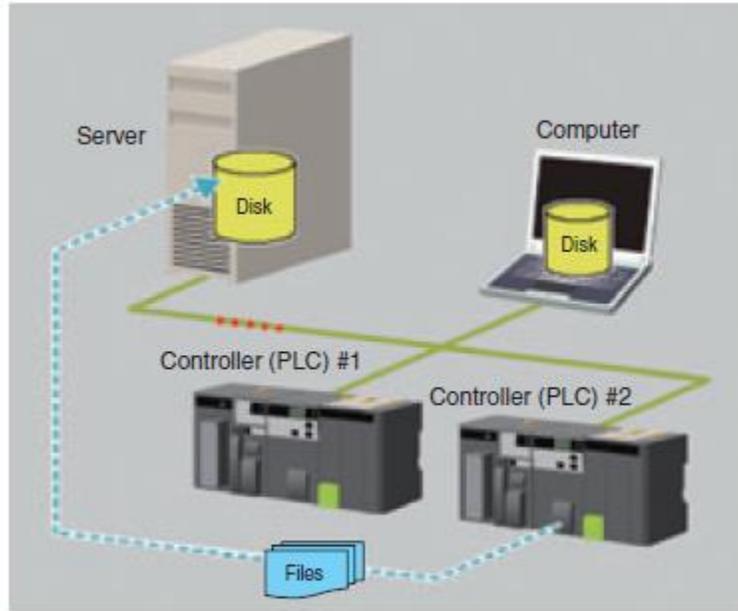


Figura 2.5. Comunicación de transferencia de archivos

Fuente: (Omron, 2016)

### 2.3.6 FINS (Factory Interface Network Service)

Los PLC's Omron de las series CS/CJ/CP y NSJ pueden recibir los comandos de comunicación mostrados a continuación:

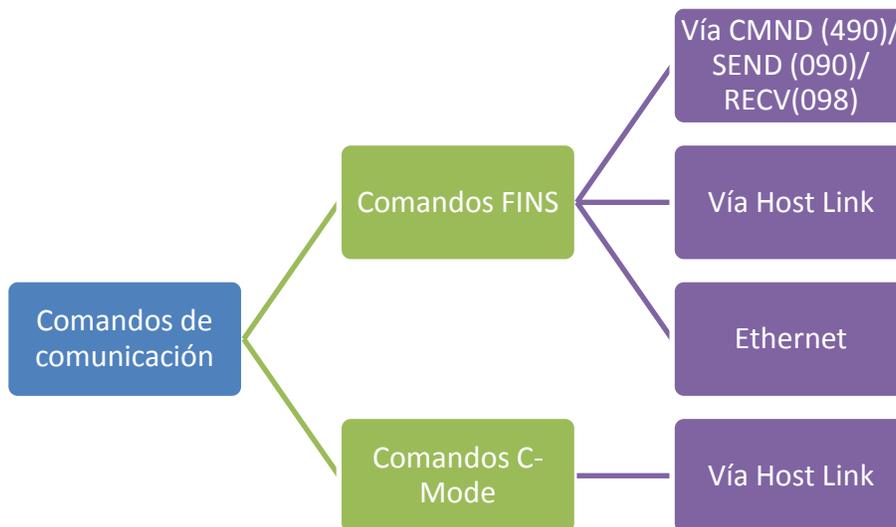


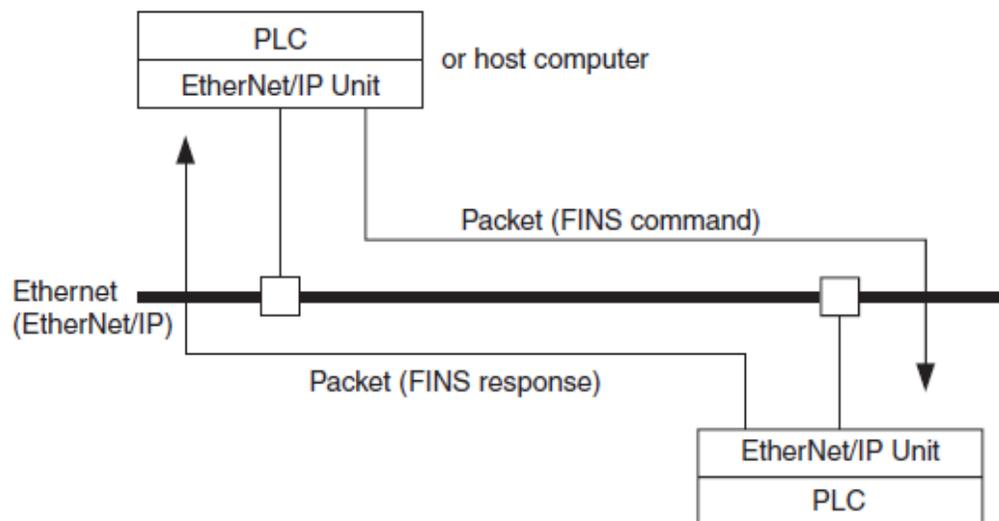
Figura 2.6. Comandos de comunicación Omron

Fuente: Elaboración propia

Los comandos de comunicación FINS son mensajes de comunicación enviados por un Host hacia una unidad de CPU de las series mencionadas anteriormente. Estos pueden ser enviados por comunicación medio de protocolos serial o Ethernet con comandos FINS. Mientras que los comandos C-Mode son utilizados únicamente por comunicación serial.

Los comandos FINS pueden ser utilizados para controlar, forzar y resetear operaciones, enviar y recibir datos, cambiar el modo de operación del PLC y algunos otros usos.

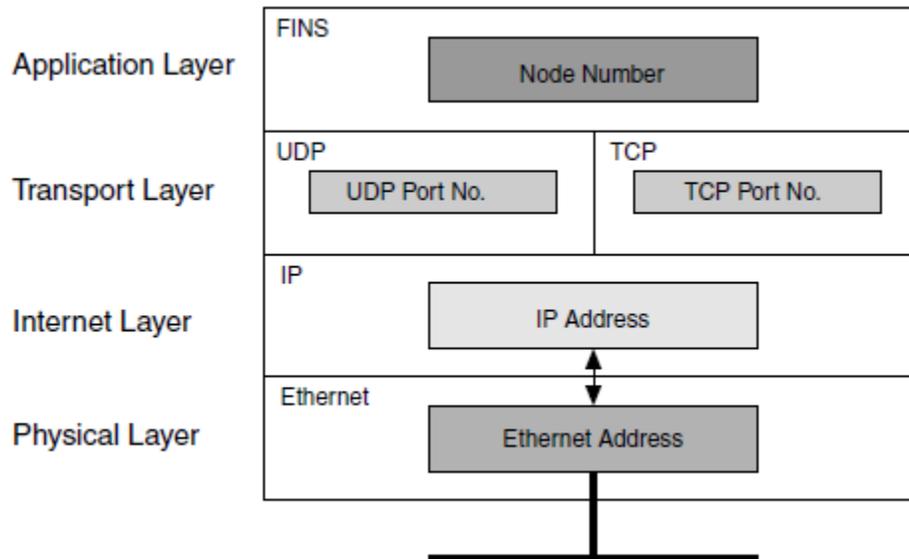
Los protocolos Ethernet UDP/IP y TCP/IP hacen posible la comunicación gran cantidad de dispositivos, computadoras y otras unidades Ethernet de diferentes fabricantes. Los comandos FINS pueden ser enviados por medio de los protocolos de Omron FINS/UDP o FIINS/TCP cuando se utiliza Ethernet, también se puede utilizar los comandos Host Link.



**Figura 2.7. Envío de paquetes de datos vía Ethernet**

Fuente: (Omron, 2014)

El protocolo FINS está conformado por diferentes capas las cuales se muestran en la Figura 2.8 mostrada a continuación:



**Figura 2.8. Capas del Protocolo FINS**

Fuente: (Omron, 2014)

Las direcciones IP están conformadas por 32 bits divididos en 4 bytes. En estos se establece el ID de la red y el ID del host. El ID de la red identifica la red y el número de administrador identifica el nodo del host en la red.

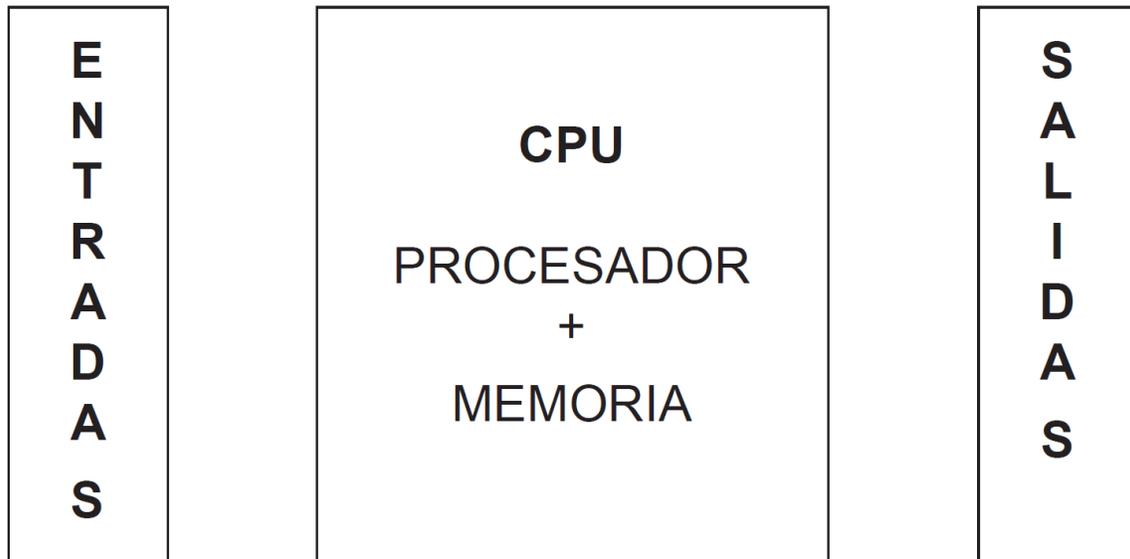
El protocolo FINS/UDP se recomienda utilizar cuando los dispositivos los dispositivos están conectados al mismo segmento de Ethernet. Este ofrece una ventaja en el rendimiento. Cuando los dispositivos están conectados en diferentes redes es cuando se recomienda utilizar Ethernet TCP.

### **2.3.7 Controladores lógicos programables (PLC)**

Los controladores lógicos programables o PLC's son dispositivos electrónicos digitales electrónicos los cuales tienen una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, lo que permite que se implementen funciones específicas conocidas como: secuencias, temporizados, conteos, comparativas y funciones aritméticas.

Normalmente los PLC's se utilizan cuando se requieren operaciones secuenciales, controles lógicos o la combinación de ambas. Se utilizan principalmente en procesos industriales de todo tipo en donde se identifique la viabilidad de su uso.

Los PLC's cuentan con la estructura mostrada en la siguiente Figura 2.9



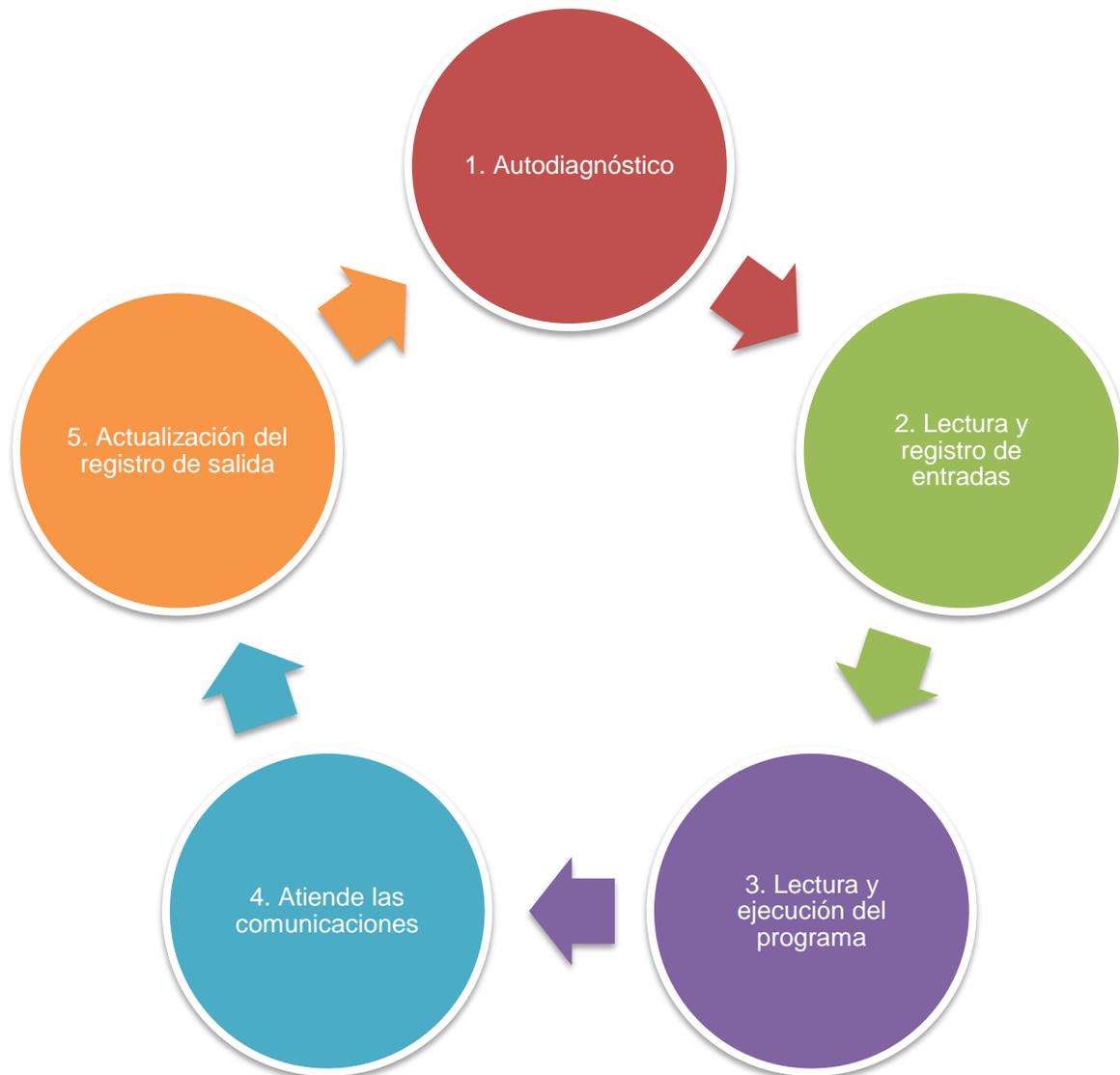
**Figura 2.9. Estructura de los PLC's**

Fuente: (Micro Automación, 2016)

Los PLC's están compuestos por diferentes partes las cuales se describen a continuación:

- CPU: Este componente es el cerebro del PLC, es aquí donde se ejecuta el programa que desarrollado por el usuario. Este se dividen en dos partes fundamentales, el o los procesadores y las memorias. Los PLC's también contienen otros componentes tales como puertos de comunicación, circuitos de auto diagnóstico y fuentes de alimentación.

- **Procesadores:** son los responsables de ejecutar el programa creado por el usuario. También tienen la labor de administrar la comunicación y ejecutar los programas de auto-diagnóstico. Todo esto se hace gracias al sistema operativo, el cual no está disponible para que el usuario lo pueda acceder y se encuentra en una memoria no volátil. A continuación se detalla el ciclo del procesador:



**Figura 2.10. Ciclo de procesamiento del PLC.**

Fuente: Elaboración propia

- Memorias: Existen distintos tipos de memoria en donde se encuentran el sistema operativo, el programa de aplicación, las tablas de entradas y salidas y los registros internos. El usuario no tiene permitido a entrar a las memorias ROM, EPROM y EEPROM, ya que en estas se encuentra el sistema operativo guardado por el fabricante, mientras que el programa del usuario se guarda en las memorias RAM o EEPROM. En las memorias RAM se guardan datos que es necesario acceder rápidamente.
- Entradas y salidas: deben tener características que se acoplen al controlador, tales como tensiones y corrientes. Existen entradas y salidas de tipo discreta, analógica y especial, las cuales se explicarán en la sección de sensores.

### 2.3.8 Sensores

Los sensores en la automatización son utilizados para conocer el estado de los componentes de los equipos o sistemas. Poseen distintos tipos de salidas, las cuales son leídas por los controladores.

Salidas discretas: Estas pueden ser causadas por elementos como interruptores, relés, transistores o triacs.

- PNP Salida Positiva (más comunes en Europa)
- NPN salida del sensor negativa (más comunes en Asia)

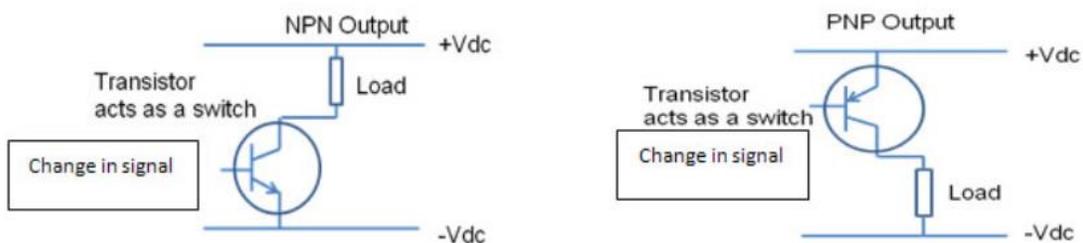


Figura 2.11. Ejemplo de salida NPN y PNP

Fuente: (InfoPLC, 2014)

Salidas analógicas: generalmente son generadas por un PWM y el valor de corriente directa de los pulsos se refleja en un porcentaje de la entrada. Se tienen diferentes tipos de salidas analógicas. Las más comunes son:

- Analógica de Voltaje (-10 – 10 V; 0 – 5 V, 0 – 10 V)
- Analógica de corriente (0- 20 mA o 4- 20 mA)

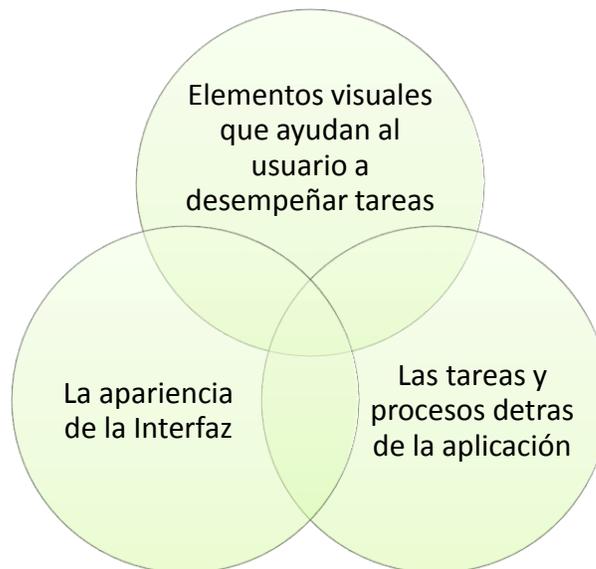
### 2.3.9 Lenguajes de programación

Existen diferentes tipos de lenguajes de programación, algunos más gráficos que otros. Cuatro de estos se encuentran normados por la IEC 61131, lo que significa que la sintaxis y semántica de estos métodos ya fue definida. Los lenguajes de programación normados son:

- Texto estructurado
- Lista de instrucciones
- Diagramas de bloques funcionales
- Diagrama de contactos

### 2.3.10 Interfaces de usuario

De acuerdo con Grant Heimbach Gerente de Producto del programa LabVIEW de National Instruments las aplicaciones realizadas en este programa están conformadas por 3 partes fundamentales que relacionan la usabilidad con la interfaz de usuario:



**Figura 2.12. Interfaz de usuario contra usabilidad**

Fuente: Elaboración Propia

Algunas reglas generales para el desarrollo de interfaces de usuario son:

- Se recomienda utilizar botones, iconos, terminología, cuadros de diálogo y menús familiares para el usuario para no confundirlo.
- Menos es mejor para evitar recargar la interfaz. Una interfaz cargada hace que el usuario se distraiga y no le permite concentrarse en lo importante.
- Pensar en los requerimientos del usuario o consumidor final de la aplicación.

### 2.3.11 LabVIEW

LabVIEW es un software de desarrollo de National Instruments, este utiliza un lenguaje de programación gráfico, el cual permite realizar desarrollo de aplicaciones sofisticadas de medición, pruebas y sistemas de control. (National Instrument Corporation, 2014)

El software permite realizar operaciones de adquisición de datos, tanto con dispositivos de National Instruments, como con dispositivos de otros fabricantes. Generalmente los dispositivos de la marca tienen sus propias librerías para la comunicación con el software. Sin embargo el software también cuenta con librerías de protocolos estandarizados, como lo son Serial, USB, GPIB, Ethernet/UDP y Ethernet/TCP.

Se puede utilizar LabVIEW para usar redes simples o interconectadas. El protocolo UDP (de las siglas en inglés User Datagram Protocol) utiliza el Protocolo de Internet (IP) y este es más liviano que el protocolo TCP (de sus siglas en ingles Transmission Control Protocol). El TCP utilizan más datos, pero la transmisión de datos es más confiable (National Instruments Corporation, 2013).

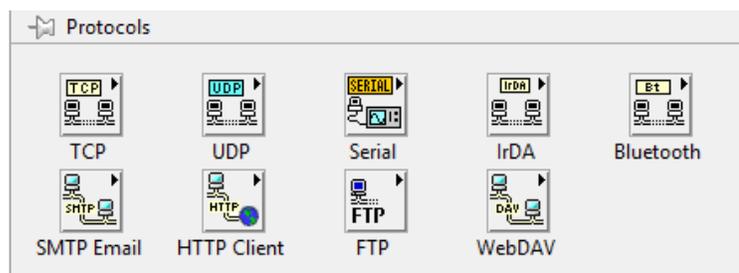


Figura 2.13. Librería de Comunicación de datos de LabVIEW

Fuente: (LabVIEW 2014)

Para el desarrollo de aplicaciones el LabVIEW se puede utilizar el modelo de programación secuencial, esto para llevar un orden de ejecución de los procesos. Existen herramientas para asegurar que la secuencia sea exitosa, como por ejemplo, las máquinas de estados. También se tienen herramientas como las estructuras “mientras” más comúnmente llamados ciclos while, estructuras “for”, estructuras de casos, y para las interfaces de usuario se recomienda el uso de las estructuras de eventos.

### **2.3.12 SCADA**

De sus siglas en inglés Sistema de Control Supervisor y Adquisición de Datos. De acuerdo con Rutherford (2012) los sistemas SCADA han tenido tres generaciones que se clasifican por su arquitectura. Primero se dio el SCADA Monolítico, el cual se desarrolló en sistemas independientes, los cuales no tenían conectividad con otros sistemas. Luego se desarrolló la SCADA Distribuida en donde se contactaban muchas estaciones compartiendo información en tiempo real con en una Área de Red Local (LAN). En este tipo de arquitectura cada estación es la responsable de una tarea en particular. Por último se tiene los sistemas SCADA de Red, los cuales usan diferentes estándares y protocolos de comunicación.

### **2.3.13 Bases de Datos**

Las bases de datos son sistemas computarizados que tienen como fin llevar registros de información y permitir que los usuarios puedan acceder o modificar esta información. En las bases de datos es posible almacenar datos de tipo numéricos, strings, fechas, ID's, entre otros.

Para crear bases de datos se utilizan DBMS de las siglas en inglés Database Management System. Estos softwares controlan la organización, el almacenamiento, la recuperación, la seguridad y la integridad de los datos de una base de datos. Estos brindan herramientas para insertar, buscar y eliminar y modificar la información de las bases de datos. Dentro de los Softwares DBMS más conocidos se tienen: Microsoft Access, MySQL, Oracle y Microsoft SQL server.

Si se desea comunicar una base de datos se requieren de ODBC's (de las siglas en inglés de Open Database Connectivity). El ODBC es una interfaz programada en lenguaje C que hace posible que diversas aplicaciones puedan entrar a una variedad de sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) mediante una única interfaz sin importar el lenguaje de programación, sistema de base de datos o sistema operativo.

### **3 Procedimiento metodológico**

#### **3.1 Investigación bibliográfica del modelo**

En esta etapa se investigó sobre los diferentes diseños de monitorización, control y adquisición de datos en sistemas similares al estudiado. También se definieron los diferentes tipos componentes con los que se podían identificar las diversas fallas.

Se levantó una lista de las principales fallas que había presentado el sistema de control actual y además se le agregaron otras encontradas en el período de investigación de sistemas similares al del presente proyecto

Era un requerimiento de la empresa utilizar un controlador con el cual los ingenieros de la empresa estuvieran familiarizados por lo que se investigaron también algunos proyectos que ya se hubiesen realizado en la empresa junto con los diferentes controladores que se han utilizado. También, de acuerdo a las necesidades del sistema se investigaron los posibles componentes para él, entre estos sensores, gabinetes, y accesorios de control.

Los manuales de usuario de cada uno de los componentes fueron indispensables para garantizar una correcta selección. También para esta parte se tuvo asesoramiento y soporte de los fabricantes.

Otro de los requerimientos de la empresa era utilizar el software de desarrollo LabVIEW para desarrollar la aplicación en la cual se tendrá la interfaz de usuario con sus principales requerimientos así como la comunicación con el controlador, procesamiento y visualización de las señales y la recolección de datos.

#### **3.2 Selección y compra de componentes**

Luego de la parte investigativa se procedió a confirmar los componentes que se requerían comprar y cuales se podían reutilizar del sistema viejo. Para esto se procedió a hacer un levantamiento de equipos del sistema, características y demás datos.

Se seleccionaron los componentes que cumplían con los requerimientos establecidos para la aplicación y se hicieron las cotizaciones y requisas necesarias para comprar los componentes.

### **3.3 Programación del Controlador**

Se definieron los parámetros con los que se realiza la programación del PLC. Se inició con la selección de las variables del sistema las cuales luego fueron clasificadas en entradas y salida. A cada una de estas se le asignó una dirección de memoria específica en el PLC.

Luego de esto se estableció la secuencia del proceso. Para esto se desarrolló un algoritmo el cual tiene diferentes modos de operación que dependen de la hora, esto porque dependiendo los niveles mínimos dependerán del horario de cobro del CNFL, quien es el ente distribuidor de energía de la empresa.

Conociendo la secuencia del proceso se desarrollaron los diagramas de flujo de la secuencia lo que simplificó la programación del PLC. El lenguaje utilizado para el programa del control del PLC es el diagrama de escalera.

Es importante mencionar también que se tuvieron que realizar las configuraciones correspondientes para poder comunicar el PLC con la aplicación que se realizó en LabVIEW vía Ethernet/UDP.

### **3.4 Programación del Sistema de Monitorización, Control y Adquisición de Datos**

La aplicación de creada para la monitorización, control y adquisición de datos del sistema fue una de las partes más laboriosas, ya que se tuvo que investigar sobre los diferentes protocolos de comunicación para establecer cuál era el más viable para utilizar, luego de conocer cuál iba a ser el software de desarrollo y el modelo del PLC Omron. También se tuvo que investigar sobre cómo identificar los paquetes de datos que se deben enviar al PLC para poder leer o escribir datos en las diferentes memorias de este.

Seguidamente al conocer la estructura de los paquetes de datos se tuvo que realizar una serie de análisis y conversiones para establecer los valores que eran leídos en la aplicación en LabVIEW, y que estos fueran los mismos que transmitían los sensores. Para esto se utilizaron las hojas de datos y los manuales de usuario de cada uno de los sensores, convertidores y módulos de entradas y salidas.

Luego se procedió a diseñar la interfaz de monitorización del sistema leyendo los datos de las entradas del controlador y traduciéndolos a valores e indicadores que los usuarios de la aplicación pudiesen entender.

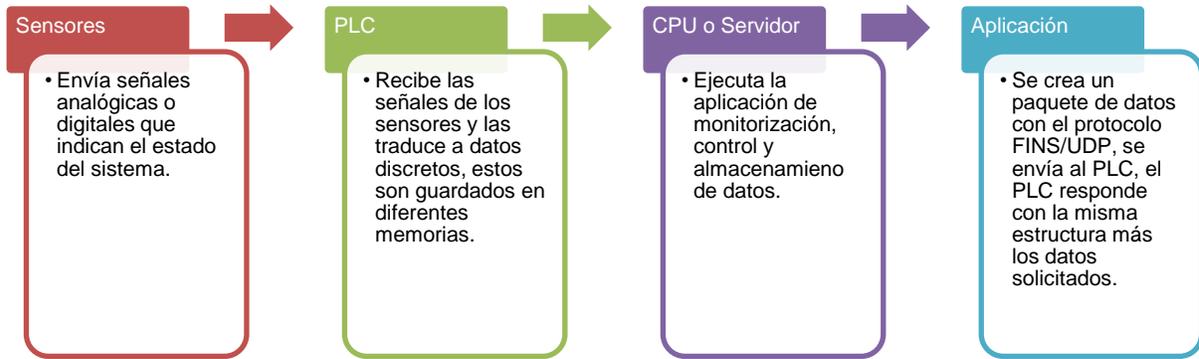
También se procedió a diseñar una interfaz de control remoto, se decidió que esta interfaz también debía tener monitorización del sistema para asegurar que las señales enviadas fueran ejecutadas por el controlador.

Se desarrolló una interfaz de configuraciones en la cual se pueden leer las configuraciones guardadas en las memorias del PLC y modificarlas desde la aplicación.

Para cada una de las interfaces de usuario se desarrollaron sub programas para la adquisición y almacenamiento de datos en una base de datos en el DBMS Microsoft Access enlazado con la aplicación por medio de ODBC's.

#### **3.4.1 Adquisición de datos**

Se desarrollaron diferentes sub-programas para la adquisición de datos. Sin embargo la base de estos se encuentra en los paquetes de datos transmitidos con el protocolo FINS/UDP los cuales se basan en el protocolo de comunicación Ethernet. Los paquetes de datos son enviados al PLC y este responde con otro paquete de datos el cual es leído por la aplicación, tal y como se muestra en la Figura 3.1.

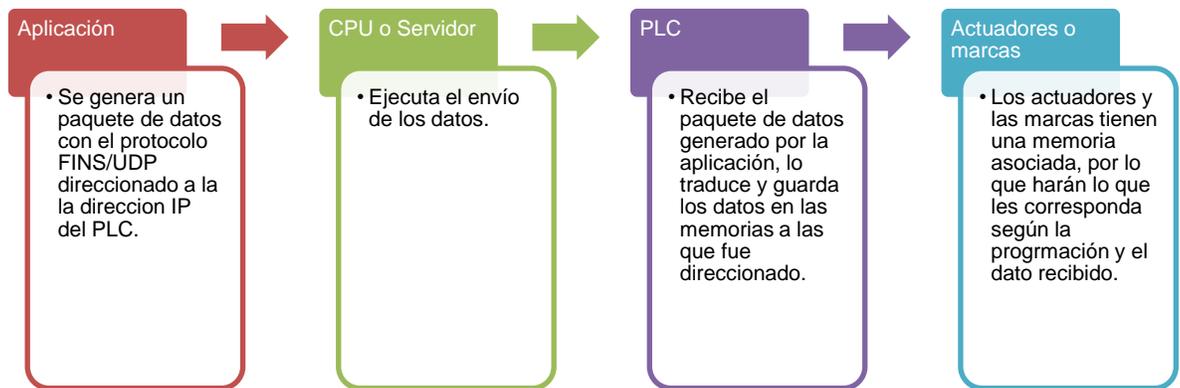


**Figura 3.1. Estructura de adquisición de datos**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Envío de datos al controlador

Al igual que en la adquisición de datos, un sub-programa de la aplicación genera un paquete de datos, el cual es enviado al PLC por medio del protocolo FINS/UDP a través de la red Ethernet. Para enviar datos no se requiere respuesta del PLC, sin embargo para confirmar que los datos llegaron correctamente se lee la memoria a la que fueron enviados.



**Figura 3.2. Estructura de envío de datos al controlador**

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.3 Visualización y procesamiento de los datos**

El PLC envía los datos a la aplicación en bytes dependientes de la cantidad de datos que hayan sido solicitados por la misma aplicación. Estos bytes se pueden leer en código binario para el caso de las entradas digitales y en valores hexadecimales o decimales para el caso de las entradas analógicas. Primeramente se realiza el procesamiento de los datos. Con procesamiento se refiere a las conversiones de los valores digitales que llegan a la aplicación los cuales dependen de la escala del sensor, diámetros de tuberías, volúmenes de los tanques, velocidad del agua en las tuberías y presión en las tuberías. Teniendo los datos procesados, se utilizan indicadores de las librerías de LabVIEW para representar elementos como tuberías, manómetros, tanques, bombas, electro-válvulas, entre otros.

### **3.4.4 Base de datos**

Para el almacenamiento de los datos se pueden utilizar diferentes Sistemas de Gestión de bases de datos, estos pueden ser Microsoft Access, MySQL, Oracle, Microsoft SQL server. Para enlazar la base de datos con la aplicación se pueden utilizar interfaces, también conocidas como métodos de acceso, como el ODBC. Para este proyecto la base de datos se realizó en Microsoft Access y se utilizó la interfaz ODBC para enlazar la aplicación con la base de datos.

## **3.5 Implementación de la solución**

La Implementación del proyecto se inicia haciendo la identificación de los componentes del sistema viejo, luego se procedió a realizar los cambios de las tuberías necesarios para cumplir con los requerimientos de los sensores, como los cambios de tuberías sólo se pueden realizar los domingos para no detener la producción de la planta, paralelamente se trabajó en la comunicación del controlador con la aplicación, cuando se finalizó esta tarea se procedió a armar el gabinete de control.

Después de esto se procedió a realizar la instalación de los componentes tales como sensores, electro-válvulas, boyas de nivel, entre otros. Por último se conectaron todos los sensores y actuadores al panel. La gran mayoría de la parte de cableado y cambio en las tuberías se realizó con ayuda de los técnicos del departamento de facilidades de la empresa

Finalmente se realizaron pruebas para ejecutar la puesta en marcha del proyecto, durante esta etapa también se tuvieron que realizar las configuraciones y ajustes a cada uno de los sensores para tener lecturas precisas.

## 4 Desarrollo

### 4.1 Identificación los problemas del sistema de control de la planta

Para poder desarrollar el modelo de sistema de control de los tanques se deben conocer los requerimientos de la empresa. Inicialmente se estudia el modelo instalado anteriormente y así poder identificar los requerimientos de este tipo de sistemas. Para esto se cuenta con la lógica de programación del sistema anterior, y además se tiene acceso a los lugares en donde se encuentran los componentes de este sistema.

A continuación, se detalla una lista de los problemas se presentaron con el sistema instalado anteriormente en la planta:

- El sistema no contemplaba la automatización del llenado del tanque de emergencias contra incendios, por lo que hasta el momento había un técnico quien lo tenía que llenar manipulando las válvulas manuales y observando un contrapeso ubicado fuera del tanque el cual se mueve dependiendo del nivel en el que se encuentre una boya que está dentro del tanque.
- Se ha dañado la válvula de anti-retorno ubicada inmediatamente después de la bomba y no se tiene ningún indicador para conocer esta falla.
- Debido a la falla anteriormente mencionada se causa que los empaques de las electroválvulas se desmonten y estas dejen de funcionar.
- También el daño de la válvula de anti-retorno provocaba que la tubería de 100 metros de columna de agua se vaciará y durará más en comenzar a llenar los tanques.
- No había forma de monitorear el estado de las salidas del PLC, más que conectando el mismo a una computadora vía USB.

- Los sensores ultrasónicos se dañaron, por lo que el sistema quedó gobernado únicamente por las boyas de nivel, las cuales únicamente servían como seguridad y en los días de alta demanda de agua los tanques tenían riesgo de quedar sin agua.
- No había forma de confirmar que la señal de salida del PLC hubiese activado o desactivado los componentes que se tienen en el sistema.
- Luego de que el tanque ubicado cerca del área de ensamble final se rebalsara en varias ocasiones se tuvo agregar a este tanque un conjunto de tuberías que descargarán el agua hacia el parqueo, y no hacia la planta, si el sistema se rebalsaba.
- En el tanque ubicado cerca del área de cuartos limpios, dentro del cuarto de facilidades de la planta, no se ha resuelto este problema, por lo que se requiere un sistema más confiable ya que en este cuarto existen tableros para equipos hasta de 480 Volts, lo que lo convierte en un peligro para el personal.
- En algunas ocasiones la planta se ha quedado sin agua debido a que el sistema de control viejo no garantizaba que siempre se pudiese cumplir con la demanda de agua de la planta.

Para la empresa es una necesidad mejorar el sistema instalado y rediseñar el modelo de funcionamiento del mismo para mejorar la confiabilidad del sistema de agua en la planta y lograr evitar los problemas mencionados anteriormente.

## **4.2 Descripción detallada de la solución**

### **4.2.1 Descripción del modelo seleccionado**

De acuerdo a la lista de problemas mencionados anteriormente se debe generar un modelo el cual solucione la gran mayoría de estos problemas. Es por esta razón que se planteó la implementación de un sistema de control, monitorización y adquisición de datos para este.

De acuerdo con Rutherford (2012) los componentes más comunes en los sistemas SCADA de este tipo se tienen:

- Sistema supervisorio, el cual adquiere los datos y los procesa, también se pueden enviar comandos de control desde este, por lo general se utiliza una computadora.
- Unidades terminales remotas las cuales se conectan a los sensores y convierten las señales a datos digitales para enviar la información al sistema supervisorio utilizando el puerto de comunicación que se requiera.
- Controladores lógicos programables, estos son utilizados por ser una opción flexible, versátil y en algunos casos económica. Normalmente se programan para leer la información de los sensores, indicar alarmas y controlar el proceso.
- Flujómetros electrónicos, estos dispositivos se implementan algoritmos para convertir los valores crudos de datos y convertirlo en datos como flujos de volúmenes, entre otros.
- Interruptores Ethernet, estos se conectan a procesadores de comunicación y otros dispositivos de la red. Estos permiten que cualquier dispositivo con capacidad de utilizar protocolo Ethernet conectarse a la red.
- Módems, estos permiten enviar datos inalámbricamente.
- Interfaz Máquina-Humano este dispositivo es el que utiliza el usuario u operador del proceso de la máquina.

Rutherford (2012) establece que los parámetros iniciales para tomar en cuenta en la selección de los equipos son los requerimientos del sistema, por lo que a continuación se muestran los principales requerimientos del sistema en cuestión:

- Se requiere de un sistema control automático de nivel de los tanques más confiable que el instalado actualmente para esto se plantea utilizar un sistema de monitoreo, control y supervisión de datos.
- Se tiene la necesidad de poder utilizar la interfaz de monitoreo y control del sistema a través de una computadora por lo que se el sistema de control seleccionado debe tener posibilidades de comunicación.

- La se da la libertad de seleccionar cualquier controlador que exista en el mercado, siempre y cuando cumpla con el presupuesto y que a los ingenieros y técnicos de la empresa no les sea difícil adaptarse al mismo.
- Que el sistema elegido brinde de alguna manera un sistema de alarmas el cual permita una respuesta más rápida ante cualquier eventualidad o desperfecto.
- Se requiere almacenar algunas variables medibles del sistema en una base de datos y generar un histórico del comportamiento normal del mismo.
- Se requiere conocer el volumen totalizado que se consume en la planta, ya sea diaria, mensual o anualmente para el cambio de uno de los procedimientos requeridos por norma 14001.

### **4.3 Descripción de los componentes a utilizar**

De acuerdo con lo planteado anteriormente se procede describir los componentes con los que cuenta el modelo del nuevo sistema. Además, en los componentes se evalúa como estos pueden disminuir o eliminar los problemas del sistema instalado hace algunos años. Algunos de estos equipos debieron ser comprados durante la ejecución del proyecto y otros fueron reutilizados del mismo sistema que estaba instalado anteriormente.

#### **4.3.1 Bomba de pozo profundo**

Se utiliza la misma bomba que ya estaba instalada en el sistema de suministro de agua, esta es una bomba de pozo profundo de marca Goulds de 10 etapas y tiene un motor Franklin Electrics de 10 hp. A continuación se presentan algunas de las características principales de la bomba se muestran en la Tabla 4.1:

**Tabla 4.1. Características de la bomba de pozo**

<b>Características de bomba de pozo</b>	
Marca	Goulds
Modelo	90L10
Caudal (GPM)	80-90
<b>Características del motor</b>	
Marca	Franklin Electric
Modelo	2366526020
Potencia (hp)	10
Factor de Potencia	0,86
Corriente máxima (A)	37
Factor de servicio	1,15

Fuente: (Goulds Pumps, 2006)

La bomba de pozo es controlada por el PLC, a esta se le monitorea el caudal de salida. Se propone monitorear la presión en la salida de esta, sin embargo no es posible por su ubicación. Por lo que se monitorea la presión en la tubería que está al nivel del suelo. La cual se encuentra a aproximadamente 100 metros sobre el nivel de la bomba.

#### **4.3.2 Sensor de caudal**

Para la selección del sensor de caudal la que se requiere es conocer el caudal de salida de la bomba de pozo, para esto se utiliza el manual de usuario de la bomba que se encuentra instalada en la planta. Tal y como se mencionó anteriormente, la bomba de pozo se encuentra a aproximadamente 100 metros bajo el nivel del suelo, lo que equivale a 328 pies de profundidad. Con este dato y el modelo de la bomba se entra a la tabla mostrada en la Figura 4.1 brindada por el fabricante.

# Model 90L

## SELECTION CHART

Horsepower Range 5 – 30, Recommended Range 40 – 130 GPM, 60 Hz, 3450 RPM

Pump Model	Depth to Water in Feet/Ratings in GPM (Gallons per Minute)																										
	HP	PSI	25	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	800	900	1000	1100			
90L10 7 Stages	10	0				127	123	118	113	109	98	87	70														
		20		128	125	119	114	110	104	97	88	74															
		30	128	125	119	114	110	104	97	93	81	62															
		40	126	120	115	111	105	99	93	89	75	50															
		50	120	115	112	105	100	94	89	82	63																
		60	115	112	106	100	94	89	82	75	50																

**Figura 4.1. Caudal de la bomba de pozo profundo**

De la figura anterior se obtiene, que el caudal de la bomba es de 70 a 87 GPM, lo que equivale a un rango entre 0.265 a 0.329 m<sup>3</sup>.

Otro de los datos determinantes para seleccionar el medidor de caudal es que cumpla con los requerimientos de la norma 9001, que tenga salida de 4 a 20 mA, que se alimente a 24 VDC y que se pueda calibrar una vez al año, ya sea por el departamento de calibración de la empresa o por el representante de la marca en el país.

El sensor de caudal que cumplió con los requerimientos de la empresa, tales como estar certificado por las normas ISO, tener un representante en el país que realice la calibración del equipo, el cual es SAUBER, y además su costo era relativamente bajo en comparación a los demás cotizados. Este es Marca Seametrics, modelo WMP101, seguidamente se pueden observar sus características principales:

**Tabla 4.2. Especificaciones del sensor de caudal**

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Diámetro de tubería	2 pulg
Presión	150 PSI
Rango de temperatura de operación	-12° a 54° C
Precisión	+/-1%
Rango de flujo	6 a 300 GPM
Display	Caudal y volumen totalizado
Alimentación	10 - 30 VDC
Salida	Pulsos 32 VDC max a 10 mA max
Pulsos por galón	30
Grado de protección	NEMA 4X

Fuente: (Seametrics, 2016)

Tal y como se puede observar en las especificaciones del producto, la salida es de pulsos por lo que también se debió comprar un dispositivo convertidor de pulsos a señal analógica de 4 a 20 mA y aun así seguía siendo la mejor opción en cuanto al precio y características requeridas. En el Anexo 16 se puede observar la cotización de los diferentes modelos de los sensores de flujo y los convertidores de señal ofrecidos por SAUBER.

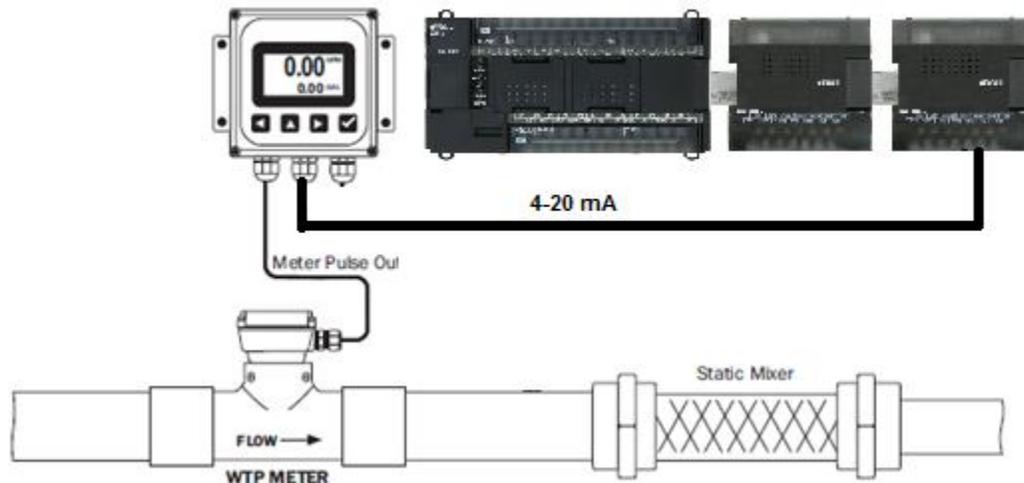
El módulo utilizado para hacer la conversión de señal de pulsos a análoga también es marca Seametrics, modelo A055. A continuación se muestran las especificaciones del transmisor:

**Tabla 4.3. Especificaciones del módulo de conversión de pulsos a 4- 20 mA**

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Alimentación	24-36 VDC
Rango de temperatura de operación	0°- 55° C
Entrada	Sensor de estado sólido de colector abierto
Promedio de la entrada	2- 16 segundos
Frecuencia	10 – 999.9 Hz
Salida	Proporcional 4- 20 mA

Fuente: (Seametrics, 2016)

Finalmente, el montaje del sensor de flujo con el convertidor de salida de pulsos a salida analógica de corriente de 4 a 20 mA debe quedar similar a la Figura 4.2 mostrada seguidamente:



**Figura 4.2. Ejemplo de instalación de sensor de flujo**

Fuente: Modificación en Paint

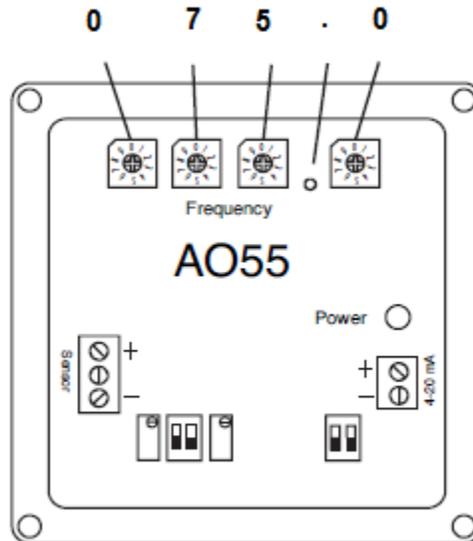
Para obtener el valor de 4 a 20 mA relacionado al caudal en la salida del sensor se tiene que configurar la frecuencia a la que entran los pulsos en el convertidor. Este valor se obtiene realizando el procedimiento mostrado a continuación.

1. Se selecciona el flujo máximo de la escala, para esta aplicación se selecciona 150 GPM.
2. Se encuentra el factor k del sensor. Este se obtiene del manual de especificaciones del sensor. Para el modelo seleccionado el factor k es de 30 pulsos por galón
3. Se calcula la frecuencia de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Frecuencia = \frac{\text{Factor } k * \text{flujo máximo}}{60} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$Frecuencia = \frac{30 \left( \frac{pulse}{gal} \right) * 150 \left( \frac{gal}{min} \right)}{60} = 75 \text{ Hz}$$

4. Se configura la frecuencia calculada en el módulo convertidor.



**Figura 4.3. Configuración de la frecuencia en el módulo convertidor de pulsos a entrada analógica.**

Fuente: (Seametrics, 2016)

### 4.3.3 Controlador Lógico Programable

El controlador lógico programable que estaba instalado en el sistema anterior ya estaba obsoleto y no cumplía con los requerimientos necesarios para poder ser utilizado en este proyecto, ya que no contaba con posibilidad de conexión Ethernet para realizar la monitorización remota del sistema.

Para la selección del controlador se elaboró una tabla comparativa con los diferentes modelos de la marca Omron, ya que una de los requisitos de la empresa era que los ingenieros y técnicos de la empresa estuviesen relacionados con el software de programación del sistema. En esta se consideraron todos los requisitos necesarios para la selección del mismo. Estos se detallan a continuación:

- Cantidad de entradas y salidas del sistema
- Posibilidad de conexión de módulos de entradas analógicas
- Posibilidad de conexión a la red de la empresa vía Ethernet
- Precios
- Tiempo de entrega

Finalmente se seleccionó un PLC marca Omron, modelo CP1L-EM40DR-D Este cuenta con capacidad de memoria para 10000 pasos, puerto conexión Ethernet, 24 entradas de 24 VDC, 16 salidas de relé con una capacidad hasta de 2 A por relé.

También se debe seleccionar los módulos de expansión para las entradas analógicas, estos dispositivos tienen capacidad de leer entradas de 0 a 5 V, 1 a 5 V, 0 a 10 V, -10 a 10 V, 0 a 20 mA y 4 a 20 mA con una resolución de 1/6000. Cada uno de los módulos tiene capacidad de leer 4 entradas de diferentes sensores.



**Figura 4.4. PLC Omron CP1L-EM40DR-D con módulos de entradas analógicas**

Fuente: (Omron, 2014)

#### 4.3.4 Sensores Ultrasónicos

En el sistema instalado anteriormente se habían utilizado sensores ultrasónicos para los tanques de almacenamiento de agua marca Lundahl los cuales al pasar de los años se dañaron. En la empresa ya se contaba con un sensor marca Banner Engineering el cual cumplía con los requerimientos para la aplicación, por lo que se decidió utilizar este mismo sensor. Se realizaron cotizaciones con sensores ultrasónicos que cumplieran con los requisitos del sistema, los cuales se enumeran a continuación

- Salida analógica de 4 a 20 mA
- Para los tanques de proceso se requirieron sensores con más de 2,52 metros de capacidad de medición.
- Para el tanque de emergencias se requirió que alcanzara los 8 metros de altura.
- Precio y tiempo de entrega.

Los sensores utilizados para los tres tanques del sistema en cuestión son marca Banner Engineering, específicamente, el modelo QT50ULBQ6, los cuales tienen posibilidades de salida de 4-20 mA y 0- 10 VDC, alimentación con 24 VDC, y un rango de alcance desde 0,2 hasta 8 metros. En el Anexo 5 se puede observar todas sus especificaciones.



**Figura 4.5. Sensor Ultrasónico Banner QT50ULBQ6**

Fuente: (Banner Engineering, 2016)

#### **4.3.5 Boyas de Nivel**

Aparte del sensor ultrasónico, en cada uno de los tanques se utilizarán boyas de nivel en caso de que estos sensores fallen. Esto debido a que se identificó que es una falla muy común, además de que la inversión es relativamente baja. Estas serán redundantes, una para identificar el nivel alto y otra para identificar el nivel bajo de cada uno de los tanques.

#### **4.3.6 Transmisor de presión**

Se decide utilizar un transmisor de presión para poder realizar el monitoreo de a presión a la que se encuentra el sistema en el instante que se está midiendo. Los requerimientos de este son los siguientes:

- Alimentación de 24 VDC
- Salida analógica de 4-20 mA
- Salida PNP
- Rango de presión manométrica desde -14.5 hasta 100 PSI
- Precio
- Tiempo de entrega

El transmisor de presión seleccionado es marca Turck, específicamente el modelo PS010V-301-LI2UPN8X-H1141, este además de permitir que se observe la presión en tiempo real tiene la posibilidad de configurar la segunda salida ya sea PNP o NPN, ambos normalmente abierto o normalmente cerrado, por lo que también trabaja como presostato. Este tiene la ventaja de que el rango puede estar entre - 14,5 y 145 PSI, lo que permite identificar cuando se produce presión negativa en la tubería principal. Este es un indicador de que la válvula de anti retorno de la bomba se encuentra en mal estado. Por lo que si se da esta situación se propone abrir una de las electroválvulas que funcione como válvula de venteo, y de esta forma evitar que se dañen los empaques de las electroválvulas.

#### 4.3.7 Interruptores de flujo

Se proponen utilizar interruptores de flujo los cuales permiten conocer si hay flujo o no en las tuberías de suministro a cada uno de los tanques. Estos principalmente son utilizados para identificar si hay fallas en las electroválvulas y para el monitoreo del sistema. Se encontraron dos tipos distintos de sensor, de paleta y por principio calorimétrico. La relación de precios entre estos era de 3 a 1. En otras palabras, por la misma cantidad de dinero que se compran 3 de paleta se compra únicamente 1 de principio calorimétrico.



**Figura 4.6. Interruptor de flujo de principio calorimétrico VS paleta**

Fuente: Elaboración propia

En este caso se decidió utilizar sensores de principio calorimétrico ya que según los ingenieros de la empresa se han utilizado interruptores de flujo de tipo paleta en otros proyectos y han incurrido en muchas fallas, además de que normalmente hay que darles mantenimiento, mientras que los de principio calorimétrico son libres de mantenimiento.

En este caso se seleccionaron sensores Allen-Bradley, específicamente el modelo 839EDA1BA2A3D4. Estos son alimentados por 24 VDC y cuentan con 2 salidas digitales PNP de 24 VDC, configurables para normalmente abiertas o normalmente cerradas. Tienen un rango de velocidad de 0,03 a 3 m/s y se puede configurar la velocidad a la cual se quiere que se activen las salidas del sensor.

#### 4.3.8 Sensores de velocidad

Para este proyecto se deciden utilizar sensores de velocidad a la salida de cada uno de los tanques de proceso, esto debido a que aunque no se tiene control de las mismas, se puede monitorear el estado de los tanques de una forma más completa. Se decide incorporar el monitoreo de cuando se encienden y cuando se apagan cada una de las bombas así como el caudal de salida de las mismas.

Para esta aplicación se podían utilizar tanto sensores de caudal, como sensores de velocidad, sin embargo la diferencia de precios era considerable. Ya que el precio de un sensor de caudal es de aproximadamente 2,5 veces el precio de un sensor de velocidad.

El sensor seleccionado para esta aplicación es marca Allen-Bradley, específicamente el modelo 839EDC1BA2A3D4. La alimentación de este es de 24 VDC, tiene 2 salidas una PNP y una salida analógica de 4-20 mA proporcional a la velocidad del fluido, el rango de operación del sensor se encuentra entre 0,03 y 3 m/s de velocidad y tiene un grado de protección IP65.

Estos sensores se ubicaran, uno en una tubería de 2 pulgadas y otro en una tubería de 3 pulgadas, por lo que para realizar el escalamiento de velocidad a caudal se deben tomar los diámetros internos de las tuberías.

$$Caudal (GPM) = v \left( \frac{m}{s} \right) * A(m^2) * \frac{1000(l)}{1(m^3)} * \frac{1(gal)}{3,875(l)} * \frac{60(s)}{1(min)} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

V= velocidad

A= Área interna de la tubería

Luego de realizar estos cálculos se procede a realizar las configuraciones de las salidas propiamente en el sensor el menú del sensor.

#### **4.3.9 Contactos auxiliares**

En este proyecto se utilizan contactos auxiliares para varias aplicaciones, como lo es el caso de la confirmación del encendido de las bombas de salidas de los tanques. También se utiliza el contacto auxiliar de la sobrecarga para enviar la señal de que se dio una sobrecarga en el motor de la bomba de pozo profundo, en este caso dentro de la programación del PLC se identifica esta situación.

Debido a la petición del encargado de facilidades se le proporciona un contador el cual permite el arranque automático si se da esta situación una cantidad determinada de veces, si se sobrepasa este dato se procede a bloquear el sistema hasta que alguien lo revise, ya que esto evidencia que existe un problema real y el sistema se puede dañar si se sigue dando la situación.

#### **4.3.10 Electroválvulas**

El sistema instalado anteriormente ya contaba con dos electroválvulas marca ASCO las cuales se encuentran funcionales por lo que se conservaron para este proyecto. Estas son válvulas de 2 pulgadas de diámetro, 2 posiciones normalmente cerradas y son alimentadas con 24 VDC.

Se tuvo que comprar una tercera electroválvula la que controlaría el llenado del tanque de emergencias. Los requerimientos que se tomaron en cuenta para la selección de la misma eran:

- Alimentación de 24VDC
- Resorte de retorno a su posición normal
- Que cumplirán con los requerimientos de caudal y presión del sistema
- Nivel de protección IP65/NEMA 4 o mayor
- Precio
- Tiempo de entrega

Para este proyecto se seleccionó una electroválvula marca Bélimo. El modelo del solenoide es el AFRX24N4, esta tiene se puede alimentar de 24 VDC y 24 VAC a 60 y 50 hz. Para efectos de este proyecto se alimentará con 24 VDC. Este dispositivo consume 5 W durante el período que se está abriendo y 2,5 W cuando se mantiene activa la bobina, debido a su ubicación el nivel de protección de esta debe soportar estar al aire libre, por lo que esta cumple ya que es NEMA 4/ IP 66. La válvula es de la serie B2, 2 pulgadas de diámetro interno, dos posiciones (on/off) normalmente cerrada.

#### 4.3.11 Fuente de 24 VDC

Conociendo cada una de las cargas que se conectarían al sistema se determinaron los requerimientos de potencia de la fuente que alimentaría a todos los componentes.

**Tabla 4.4. Cálculo de la capacidad de la fuente de 24 VDC**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo unitario (A)</b>	<b>Consumo total (A)</b>
PLC Omron CP1L-EM40DR-D	1	0,833	0,833
Módulo de entradas análogas	2	0,090	0,180
Sensor de caudal (Seametrics)	1	0,060	0,060
Electroválvula ASCO	2	0,254	0,508
Electroválvula Bélimo	1	0,250	0,250
Interruptor de flujo (Allen Bradley)	3	0,060	0,180
Sensor de velocidad(Allen Bradley)	2	0,060	0,120
Sensor Ultrasónico (Banner)	3	0,100	0,300
Transmisor de presión (Turck)	1	0,050	0,050
Entradas del PLC (contactos)	8	0,080	0,640
Relé de Bomba de pozo	1	0,022	0,022
LED's	9	0,020	0,180
<b>Consumo total de corriente (A)</b>			<b>3,32</b>
<b>Potencia total (W)</b>			<b>79,76</b>

Fuente: Elaboración propia en Excel

Tal y como se puede observar de la Tabla 4.4 se requiere un fuente de 24 VDC la cual pueda entregar una potencia de 80 W aproximadamente. Del catálogo de Omron se selecciona la inmediatamente superior, que es de 120 W. El modelo de la fuente es S8VK-G12024. A continuación se muestran las características principales de la fuente:

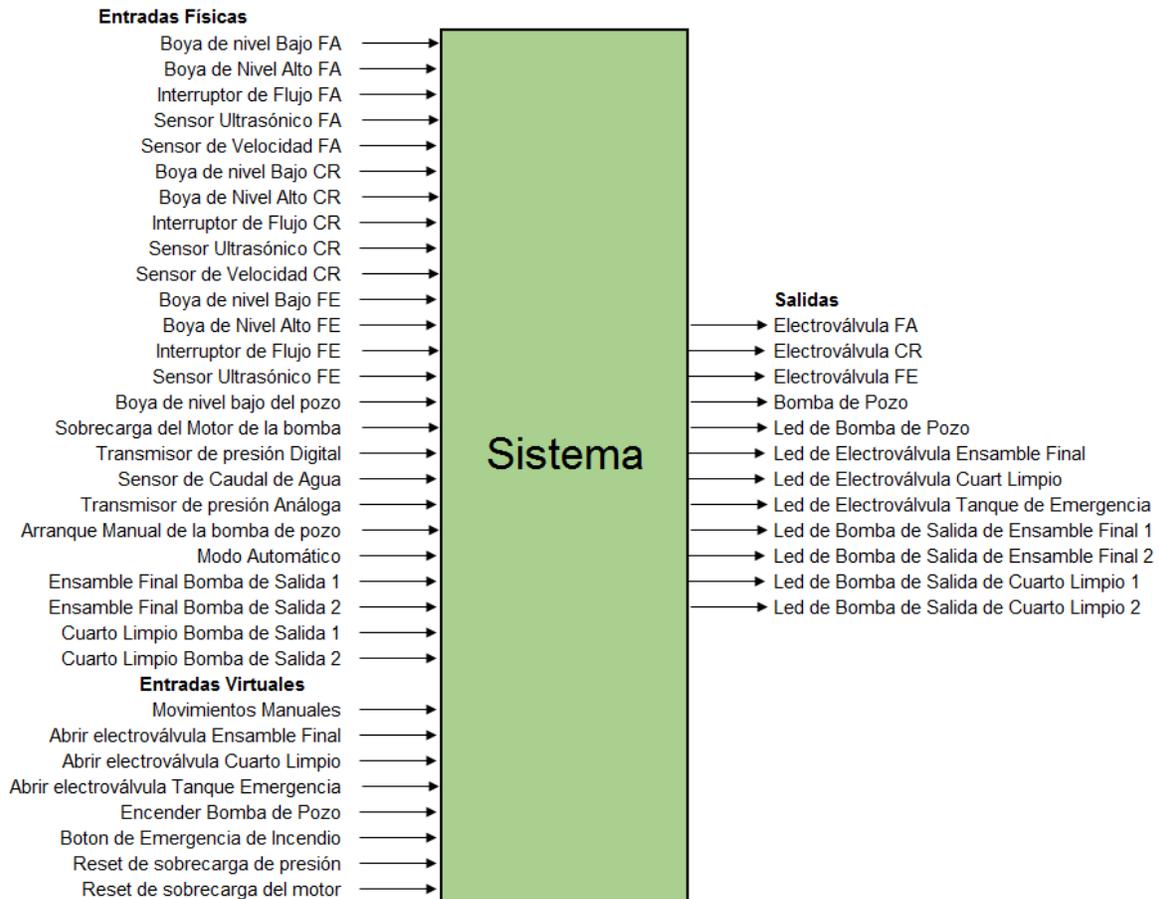
**Tabla 4.5. Especificaciones técnicas de la fuente de 24 VDC**

<b>Especificaciones</b>	
Marca	Omron
Modelo	S8VK-G12024
Potencia	120 W
Voltaje de entrada	100 a 240 VAC
Voltaje de salida	24 VDC
Grado de protección	IP 20
Montaje	DIN Rail

Fuente: Elaboración propia en Excel

#### **4.4 Diagrama de entradas y salidas**

Para desarrollar la mejora del sistema se establecen todas las variables con las que hay que trabajar. De esta forma se garantiza que cada una de las variables se tomará en cuenta a la hora de desarrollar la programación del control del sistema así como de la interfaz de usuario.



**Figura 4.7. Diagrama de entradas y salidas del sistema**

Debido a que se tienen tres tanques con sistemas similares. A continuación se da una descripción general de cada una de las entradas y salidas del sistema:

- **Boyas de nivel alto:** Las boyas de nivel alto se encuentran a un nivel más alto que el configurado como máximo del sensor ultrasónico, esto debido a que la instalación de boyas se utiliza como protección redundante en caso de que se dañe el sensor ultrasónico del tanque, tal y como ya ha pasado en ocasiones anteriores. Estos son alimentados con 24 VDC ya que las entradas del PLC se encuentra configurada para PNP
- **Boyas de nivel bajo:** Al igual que las boyas de nivel alto estas van representar una entrada digital de 24 VDC, estas también se utilizan a un nivel más bajo del configurado como mínimo en el sensor ultrasónico.

- Interruptores de flujo: estos tienen salida PNP de 24 VDC y ayudan a conocer el estado de las electroválvulas, si estas abrieron o no cuando la instrucción de que se abran está dada. Se tienen 3 sensores de este tipo, uno en la tubería de entrada a cada uno de los tanques.
- Sensores ultrasónicos: estos son utilizados tanto para monitoreo como en la secuencia. Con estos se puede conocer el nivel real de los niveles de cada uno de los tanques. Estos son los que dan la señal de llenar o detener el llenado de los tanques lo que depende del horario de cobro del CNFL.
- Sensores de velocidad del flujo: Estos dispositivos ayudan a conocer la velocidad de salida de agua de cada uno de los tanques de proceso. Conociendo la velocidad de salida y el diámetro interno de la tubería se calcula el caudal de salida de los tanques.
- Sobrecarga de la bomba: La sobrecarga de la bomba activa una señal que deja el sistema fuera por un tiempo y vuelve a intentar el arranque. Si la sobrecarga se da una repetida cantidad de veces el sistema queda fuera hasta que alguien lo reinicie, ya sea con el selector o desde la interfaz
- Transmisor de presión (digital y análoga): el selector de presión tiene dos salidas, una digital y una analógica. La salida digital funciona como presostato, por lo que si esta entrada se activa el sistema se apaga durante un tiempo definido y vuelve a hacer el intento. Programa tiene un contador de veces que se da la alarma, si esta se repite un número definido de veces el sistema se desactiva hasta que alguien lo reinicie manualmente.
- Arranque manual de la bomba de pozo: no es viable tener el control manual de la bomba de pozo únicamente en la aplicación, por lo que se decide utilizar un selector en el panel de control en donde se pueda realizar en encendido de la bomba. Esto debido a que los técnicos del departamento de facilidades no siempre tienen una computadora a mano, además de que para hacer pruebas en campo es más simple utilizar esta alternativa
- Sistema Automático: Este enciende la marcha general del modo automático, por lo que para que el sistema sea controlado por la secuencia programada, este debe estar en automático.

- Confirmación de encendido de las bombas. Estas entradas son principalmente utilizadas para el monitoreo de las salidas de los pozos en la aplicación, ya que no aportan a la secuencia del control automático.

Se tienen algunas entradas virtuales, estas entradas se refieren a las que son enviadas desde la aplicación o interfaz de usuario desarrollada en LabVIEW. Estas son:

- Movimientos Manuales: este es un bit interno del PLC que detiene la secuencia de automático y permite activar los actuadores remotamente desde la aplicación creada en LabVIEW
- Abrir electroválvula de Ensemble Final: Este bit activa la salida de la electroválvula de la tubería del tanque de ensemble final remotamente desde la aplicación.
- Abrir electroválvula de Cuarto Limpio: Este bit activa la salida de la electroválvula de la tubería de alimentación del tanque del cuarto limpio remotamente desde la aplicación.
- Abrir electroválvula de Tanque de Emergencia: Este bit activa la salida de la electroválvula de la tubería de alimentación del tanque de emergencias remotamente desde la aplicación en LabVIEW.
- Encender Bomba de Pozo: se enciende un bit el cual permite que se active la salida que cierre el contacto que alimenta la bobina del contactor que arranca la bomba de pozo.
- Botón de emergencia de incendio: este botón de la interfaz activa un bit en el PLC, que activa la salida de la electroválvula del tanque de emergencias y arranca la bomba un tiempo después, esto para desviar el flujo de agua hacia el tanque de emergencias en caso de incendio.
- Reinicio de la sobrecarga del motor: Este Bit hace que el contador de la sobrecarga del motor reinicie en 0 y la secuencia pueda continuar.
- Reinicio de la sobrecarga de presión Este Bit hace que el contador de la sobrecarga de presión reinicie en 0 y permita que se dé la secuencia.

A continuación se detalla cada una de las salidas del sistema:

- Electroválvula de Ensamble Final: esta es la salida que alimenta el solenoide de la electroválvula que permite el paso de agua hacia el tanque de ensamble final.
- Electroválvula de Cuarto Limpio: esta salida alimenta el solenoide de la electroválvula que permite la alimentación de agua del tanque de cuarto limpio.
- Electroválvula de Tanque de Emergencias esta salida alimenta la bobina del solenoide de la electroválvula que permite la alimentación de agua del tanque de emergencias de la empresa.
- Encendido de la bomba de pozo: cuando se activa esta salida se alimenta un relé de 24 VDC, el cual permita que pasen 120 VAC para alimentar la bobina del contactor de la bomba y se cierre el circuito de potencia arrancando la bomba de pozo profundo.
- Leds indicadores de encendido: En el panel se pusieron 8 leds los cuales también permiten un monitoreo en campo del estado de las bombas y las electroválvulas que conforman el sistema de suministro de agua la planta este de TRIMPOT ELECTRÓNICAS, Ltda.

Antes de iniciar con el desarrollo de la programación del PLC se debió realizar un mapeo de entradas y salidas, con las memorias que le corresponderían a cada uno de estas, a continuación el mapeo de entradas del sistema:

**Tabla 4.6. Mapeo de entradas del Sistema**

Entradas					
Tipo	Canal	Dirección	Entrada asociada	Área	
Digitales	0	0,00	Boya de nivel alto	Ensamble Final	
		0,01	Boya de Nivel bajo		
		0,02	Confirmación de flujo en la entrada		
		0,03	Boya de nivel alto	Cuarto Limpio	
		0,04	Boya de Nivel bajo		
		0,05	Confirmación de flujo en la entrada		
		0,06	Boya de nivel alto	Tanque de Emergencias	
		0,07	Boya de Nivel bajo		
		0,08	Confirmación de flujo en la entrada		
		0,09	Nivel bajo del Pozo	Pozo	
		0,10	Sobrecarga del motor		
	0,11	Transmisor de presión PNP			
	1	1,00	1,00	Encender bomba manual (selector)	Panel
			1,01	Sistema Fuera (selector)	
1,02			Modo automático (selector)		
1,03		1,03	Confirmación de bomba 1 Ensamble Final	Ensamble Final	
		1,04	Confirmación de bomba 2 Ensamble Final		
		1,05	Confirmación de bomba 1 Cuarto Limpio	Cuarto Limpio	
1,06	Confirmación de bomba 2 Cuarto Limpio				
Analógicas	2	N/A	Sensor ultrasónico	Ensamble Final	
	3	N/A	Sensor ultrasónico	Cuarto Limpio	
	4	N/A	Sensor ultrasónico	Tanque de Emergencias	
	5	N/A	Sensor de velocidad	Ensamble Final	
	6	N/A	Sensor de velocidad Cuarto Limpio	Cuarto Limpio	
	7	N/A	Sensor de caudal	Tubería Principal	
	8	N/A	Transmisor de Presión	Tubería Principal	
Virtuales	11	11,00	Set Control Remoto	Aplicación de LabVIEW	
	12	12,00	Abrir EV FA		
	13	13,00	Abrir EV CL		
	14	14,00	Abrir EV ET		
	15	15,00	Arrancar bomba de pozo		
	16	16,00	Emergencia de incendio Set		
	17	17,00	Desenclavar protección de presión		
	18	18,00	Desenclavar protección de sobrecarga		

Fuente: Elaboración propia

Es importante también conocer a qué canal se encuentran conectadas las salidas, por lo que a continuación también se muestra el mapeo de salidas:

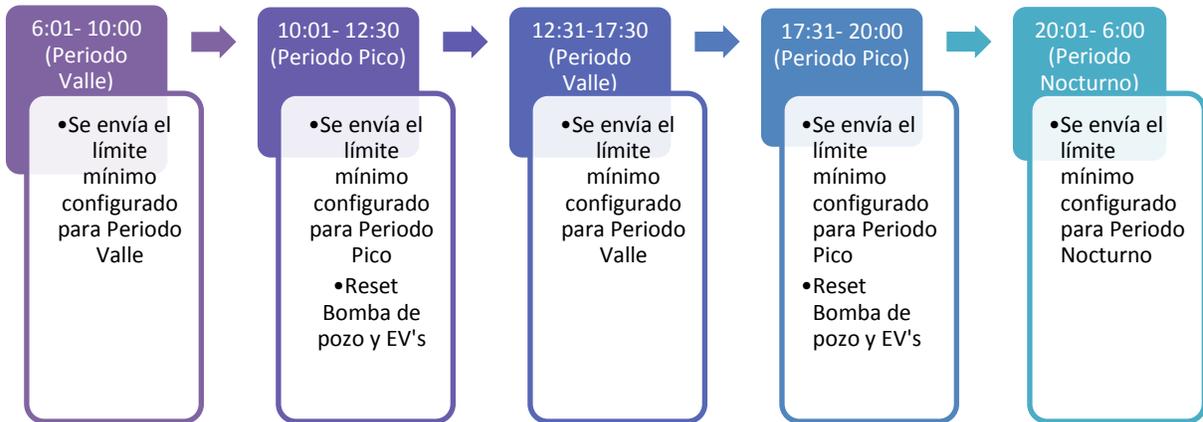
**Tabla 4.7. Mapeo de salidas del Sistema**

<b>Salidas</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Canal</b>	<b>Dirección</b>	<b>Salida asociada</b>
Digitales	100	100,04	Electroválvula de Ensamble Final
		100,05	Electroválvula de Cuarto Limpio
		100,06	Electroválvula del Tanque de Emergencias
		100,07	Bomba de Pozo
	101	101,00	Led de Electroválvula de Ensamble Final
		101,01	Led de Electroválvula de Cuarto Limpio
		101,02	Led de Electroválvula del Tanque de Emergencias
		101,03	Led de Bomba de Pozo
		101,04	Led de encendido de Bomba 1 Ensamble Final
		101,05	Led de encendido de Bomba 2 Ensamble Final
		101,06	Led de encendido de Bomba 1 Cuarto Limpio
	101,07	Led de encendido de Bomba 2 Cuarto Limpio	

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.5 Desarrollo del algoritmo de programación del PLC**

La programación del PLC tiene diferentes varios parámetros para tomar en cuenta, ya que cuenta con diferentes formas de interactuar con el usuario, además de esto cuenta con una secuencia automática la cual depende de los horarios de cobro del CNFL para disminuir la probabilidad de que la bomba de pozo arranque durante el periodo pico, y que se aproveche el periodo nocturno para mantener los tanques llenos. A continuación se muestra como un flujo-grama de las instrucciones que varía dependiendo del período de cobro:



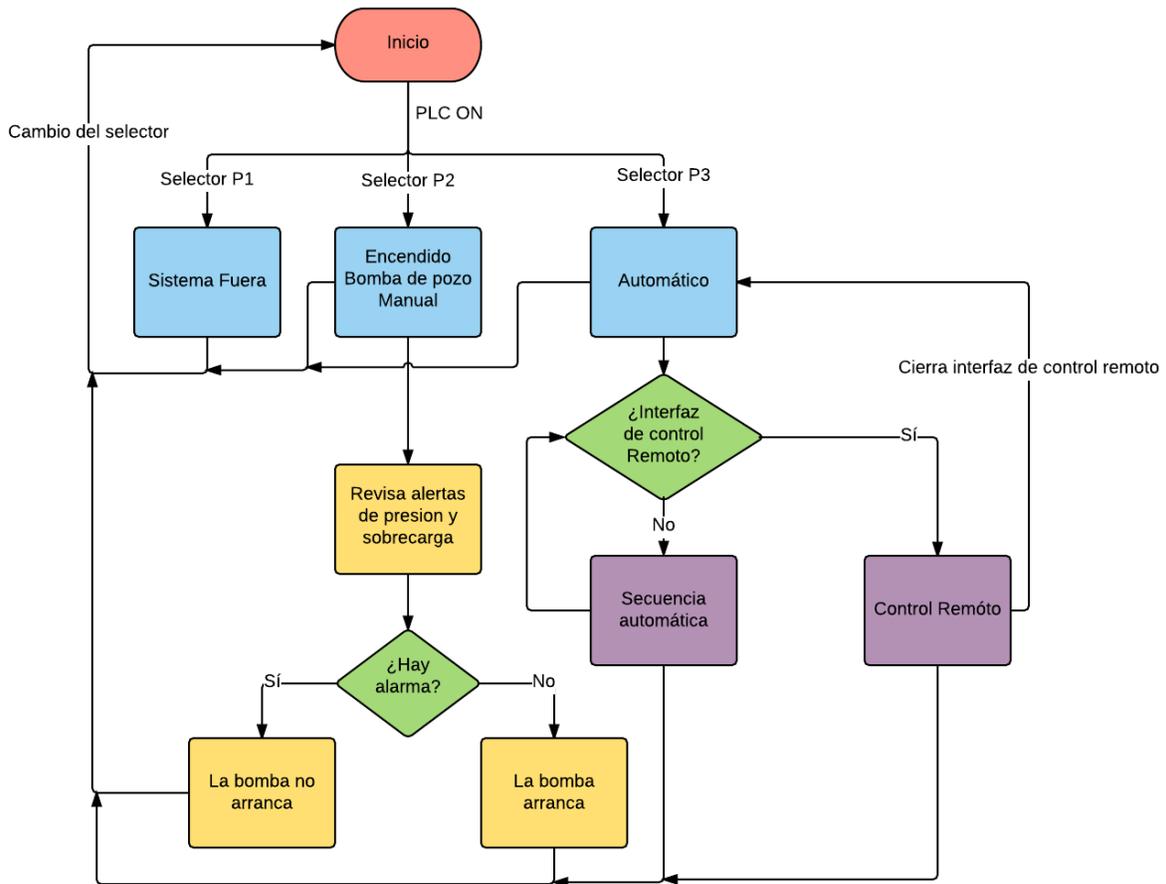
**Figura 4.8. Flujograma de instrucciones de acuerdo al período de operaciones**

Fuente: Elaboración propia

El límite mínimo configurado para el período pico es menor que el configurado para el período valle, y este es menor que el configurado por el período nocturno, esto se realiza para aumentar la probabilidad de que los tanques se llenen durante el período nocturno y disminuir la probabilidad de que se llenen durante el período pico, también se establece que si los tanques se están llenando y se hace el cambio de período valle a pico, se apaguen las electroválvulas y la bomba y solo enciendan si vuelven a llegar a nivel mínimo configurado. Estos niveles pueden configurarse desde la aplicación creada para monitorización y control.

De acuerdo con el Artículo 6.47 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias de Costa Rica el control automático de los niveles de los tanques de almacenamiento agua debe arrancar la bomba cuando el nivel del tanque descienda hasta la mitad, por lo que se recomienda que el nivel mínimo en cualquiera de los periodos no sea menor al 50 %.

A continuación, en la Figura 4.9 se muestra un flujo-grama que representa la operación general del programa del PLC



**Figura 4.9. Flujograma de la secuencia general del PLC**

Fuente: Elaboración propia en Lucid Chart

Tal y como se muestra en la figura anterior existen varias formas mediante las que el usuario interactúa con la máquina. Una es con un selector en el cual se elige si se desea detener el sistema, encender únicamente la bomba de pozo o si se quiere que el proceso se controle automáticamente por la secuencia programada.

También el sistema recibe señales enviadas por el usuario desde la interfaz de control remoto creada en LabVIEW. Para poder realizar acciones desde esta aplicación se requiere que el selector se encuentre en la posición de automático. Seguidamente en la Figura 4.10 se muestran un diagrama de flujo en donde se muestran las acciones que pueden realizarse desde la interfaz de control y monitoreo de la aplicación desarrollada.

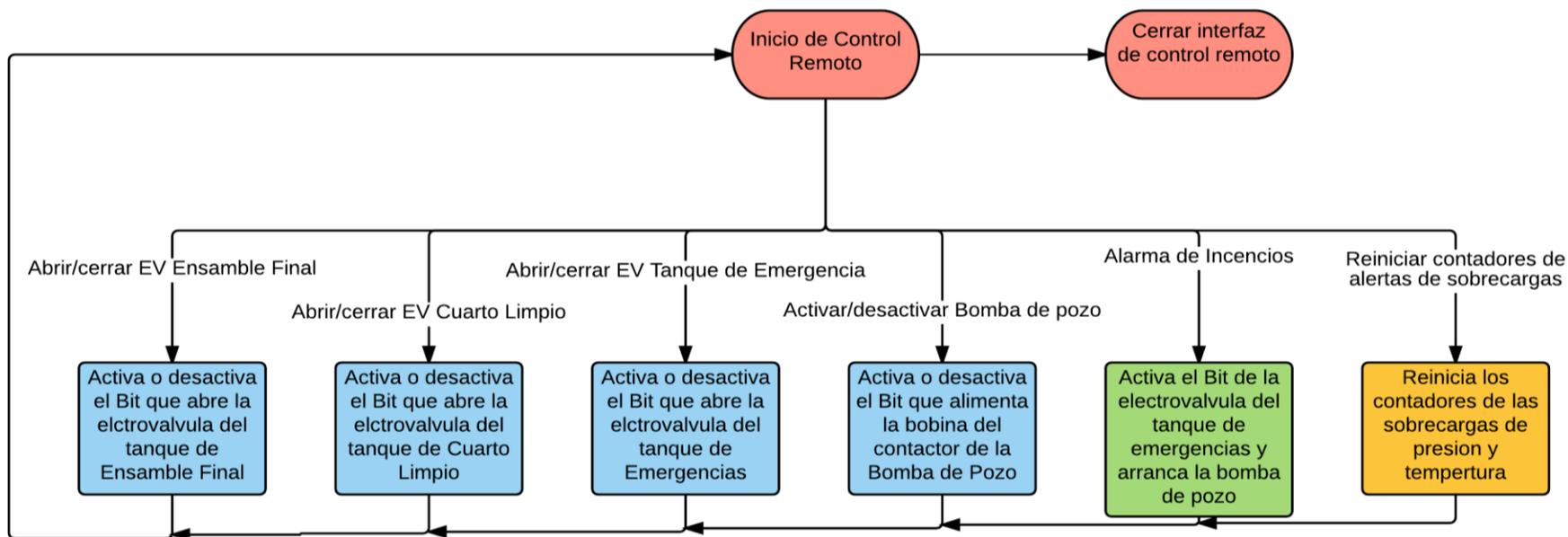


Figura 4.10. Flujograma del Funcionamiento del Control Remoto en el PLC

Fuente: Elaboración propia en Lucid Chart

La secuencia automática depende de muchas variables, por lo que a continuación se procede a describirla.

- Se envían los valores de las configuraciones de los niveles de los tanques a las memorias del PLC utilizadas en los comparadores que definen si el nivel está alto o bajo.
- Se hacen las comparaciones y se define en qué rango está cada uno de los tanques, alto, medio o bajo.
- Si alguno de los tanques de proceso está en nivel bajo se energiza la salida de la bomba así como la salida de la electroválvula del tanque que tiene el nivel bajo.
- Si los dos tanques de proceso se encuentran en nivel bajo se abren las dos electroválvulas.
- Sí alguno de los tanques supera en un porcentaje definido por el usuario (inicialmente se utiliza 5% y cambia a 20% cuando los tanques superan el límite mínimo) se cierra el que tiene un nivel más alto para enviar todo el flujo de la bomba al tanque que más lo requiere y cuando el nivel del tanque que tenía menos agua supere al otro se abren las dos electroválvulas. Y esto se repite hasta que se alcancen los niveles máximos.
- La secuencia vuelve a iniciar cuando uno de los tanques de proceso llegue al mínimo.
- Si el tanque de emergencias llega al nivel mínimo configurado, está en período nocturno y no se están llenando los tanques de proceso se procede a llenar el tanque de emergencias hasta su máximo nivel configurado.
- Si se activa alguna protección, ya sea la sobrecarga de presión, o sobrecarga térmica de la bomba, el sistema se detiene, espera un tiempo definido por el usuario y realiza el intento de continuar nuevamente. Si el problema persiste una cantidad definida de veces el reinicio se deba realizar manual. Ya sea desde el selector o desde la interfaz de control remoto de la aplicación.

#### 4.6 Desarrollo de la aplicación de monitoreo, control y adquisición de datos

Tal y como se menciona, la aplicación debe cumplir con diferentes requisitos, entre los cuales se tienen, poder adquirir los datos del estado de las entradas y salidas del PLC y mostrarlas en una interfaz amigable e intuitiva para el usuario. Controlar de una manera segura el sistema de suministro de agua a los tanques de agua contemplados en la automatización, los cuales son Ensamble Final, Cuarto Limpio y Tanque de Emergencias, en esta interfaz es importante también realizar la monitorización del sistema para conocer si las instrucciones enviadas desde la interfaz de usuario fueron ejecutadas correctamente por el controlador. Si se da alguno de los problemas o fallas identificadas durante el transcurso del proyecto se despliega un mensaje, el cual indica la falla detectada. Por último el software debe generar el historial de las variables medidas con los sensores, escalados a unidades relacionadas a las variables.

Primeramente se desarrolla el método de envío y adquisición remota de datos realizada en el programa LabVIEW en una computadora. A continuación se muestra un diagrama general del método utilizado para la adquisición desde el PLC utilizando el protocolo FINS/UDP de Omron.

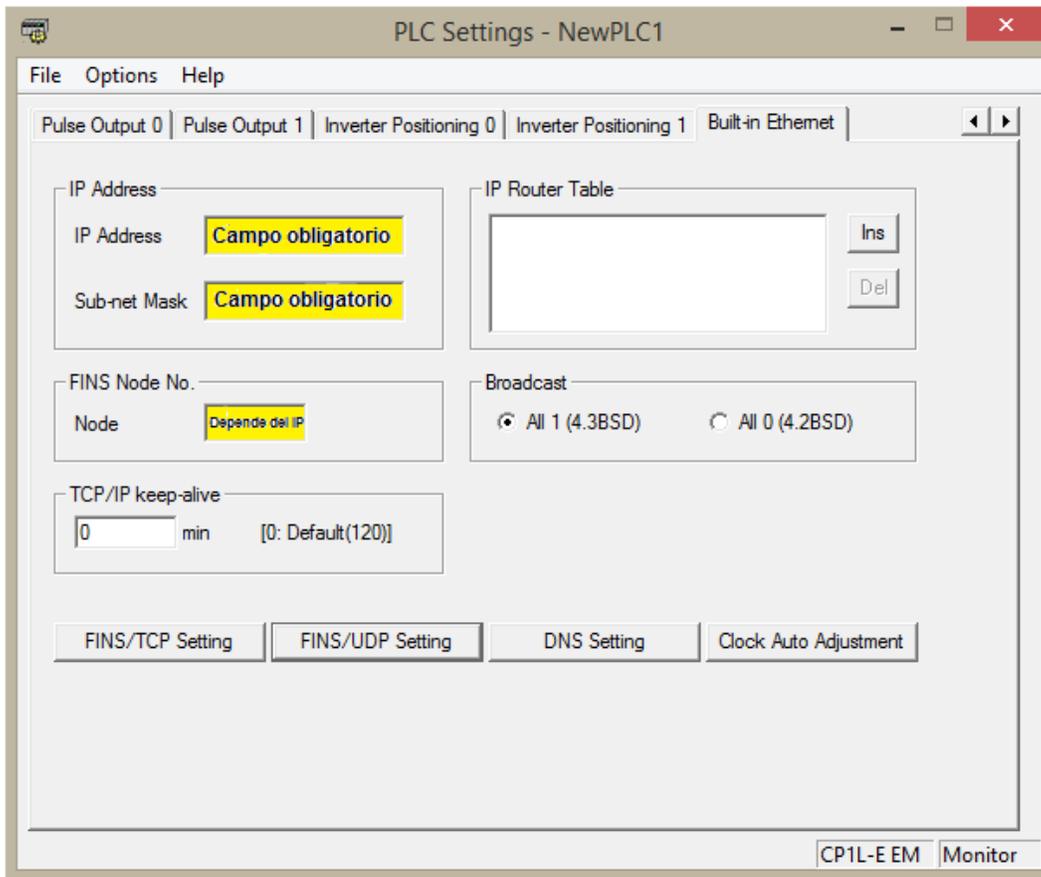
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.11. Método de adquisición de datos entre PC y PLC

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

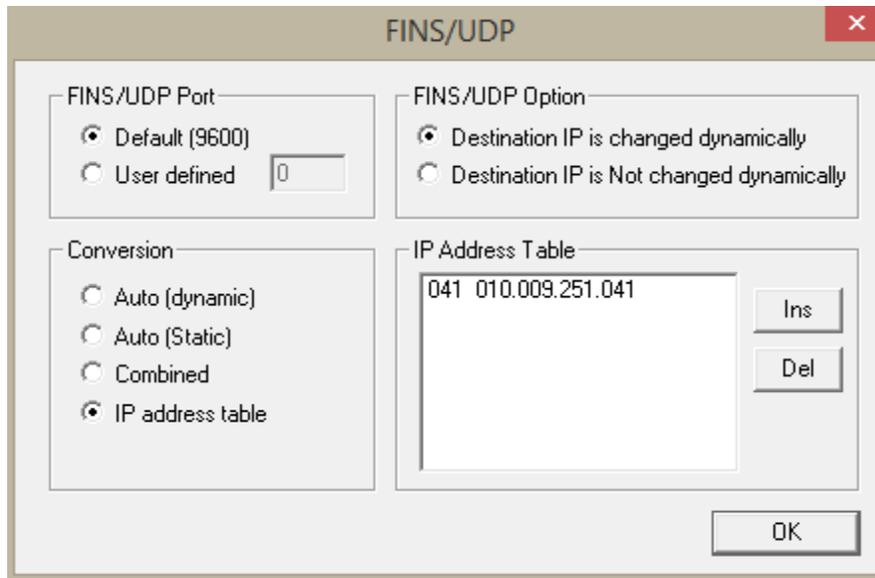
Para poder establecer comunicación con el PLC vía Ethernet, se tienen que realizar las configuraciones necesarias a nivel de PLC tales como asignar una dirección de IP fija con la máscara de sub-red utilizada por el Departamento de Tecnología de Información de la empresa a este para que los comandos sean enviados siempre al mismo destino. A continuación, en la Figura 4.12 se pueden observar los espacios que requieren ser completados en el PLC Omron, de la serie CP1L- EM.



**Figura 4.12. Configuraciones de red IP y mascara de Sub-red del PLC**

Fuente: CX-Programmer

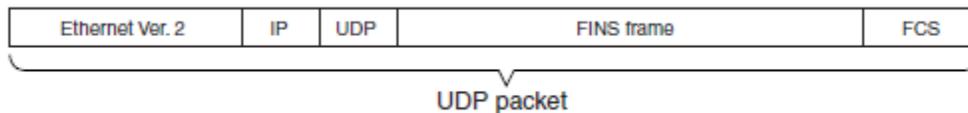
En la configuración específica para utilizar el puerto de comunicación FINS/UDP para este proyecto se utilizó el puerto determinado de fábrica que es el 9600, se selecciona que la dirección IP del servidor cambiará dinámicamente y se crea el nodo la dirección del nodo del PLC.



**Figura 4.13. Configuraciones del protocolo FINS/UDP**

Fuente: CX-Programmer

Luego de realizar las configuraciones mostradas anteriormente se utilizaron los VI's de las librerías de comunicación de LabVIEW para establecer la conexión con el PLC. Primeramente se tiene la información de los comandos del protocolo Ethernet, en donde se identifican las direcciones Mac de la fuente y el punto de destinación así como la versión de protocolo utilizado. Luego de esto se tiene información de los IP's de los equipos, seguidamente se tienen los datos del protocolo UDP y finalmente se tienen los datos del protocolo FINS de Omron.



**Figura 4.14. Estructura para envío de datos con el protocolo FINS/UDP en una red Ethernet**

Fuente: (Omron, 2014)

En la Figura 4.15 se puede observar el código utilizado para enviar datos desde la PC utilizando LabVIEW hasta el PLC con la dirección IP mostrada.

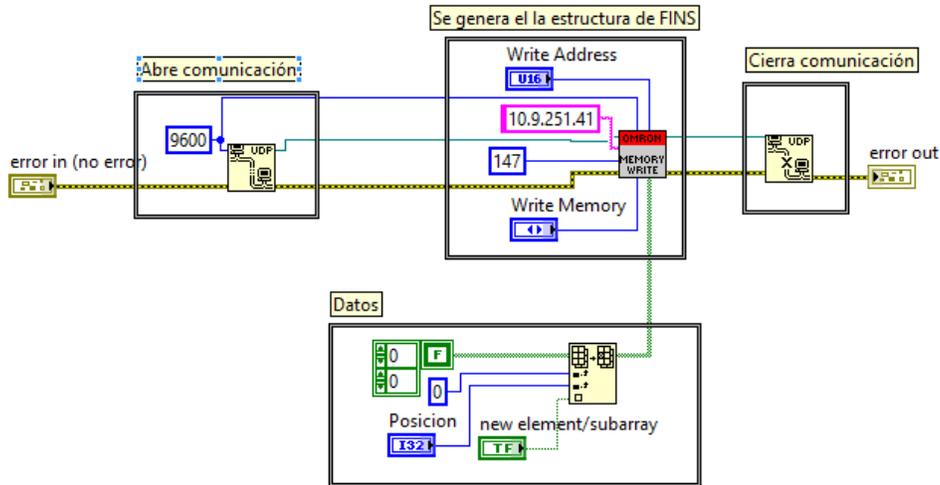


Figura 4.15. Envío de datos a las memorias del PLC

Fuente: (LabVIEW 2014)

Lo que hace este código es enviar un paquete de datos desde la PC hasta el PLC con un formato el cual puede ser interpretado por el PLC y realizar una acción definida dependiendo del paquete de datos.

Por ejemplo, seguidamente se muestra el paquete completo de datos al enviar un comando desde la PC hasta el PLC en grupos de bytes. En amarillo se resaltan los datos necesarios para que el PLC pueda interpretar los datos, ya que esta es la estructura de FINS/UDP:

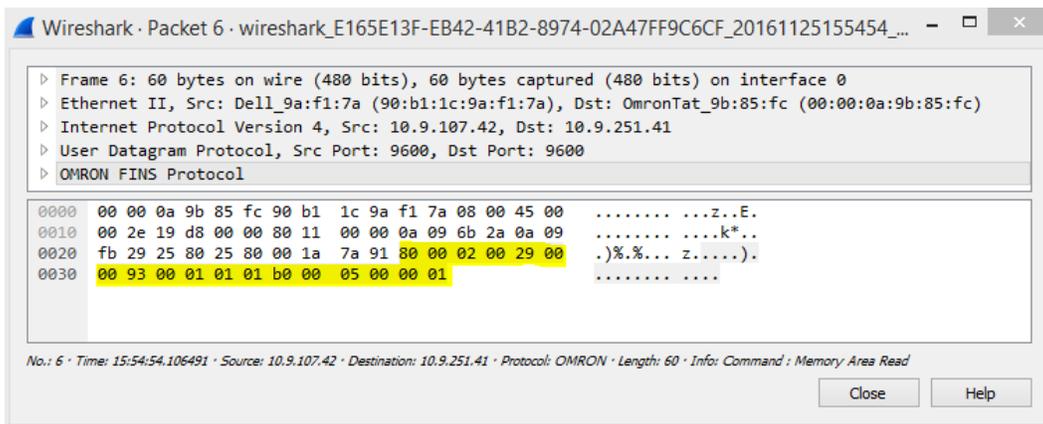


Figura 4.16. Captura de los datos enviados desde la PC al PLC con el protocolo FINS/UDP.

(Wireshark, s.f.)

Tal y como se aprecia en la Figura 4.16 el comando enviado es para leer un área de memoria, por lo que este debe de tener una respuesta del PLC la cual es leída por el programa de LabVIEW, a continuación se muestra el paquete de datos de respuesta del PLC:

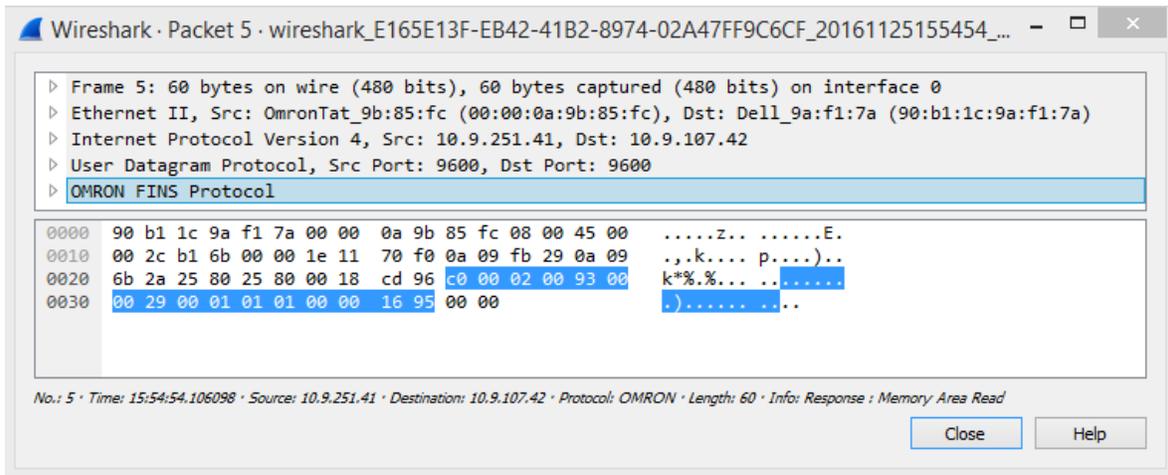


Figura 4.17. Captura de datos de la respuesta del PLC a la PC vía FINS/UDP

Fuente: (Wireshark, s.f.)

El código de LabVIEW que lee estos datos debe identificar hasta donde llega la estructura del protocolo y en que formato se encuentra la estructura de datos. Seguidamente se muestra un ejemplo del código de lectura de datos en LabVIEW:

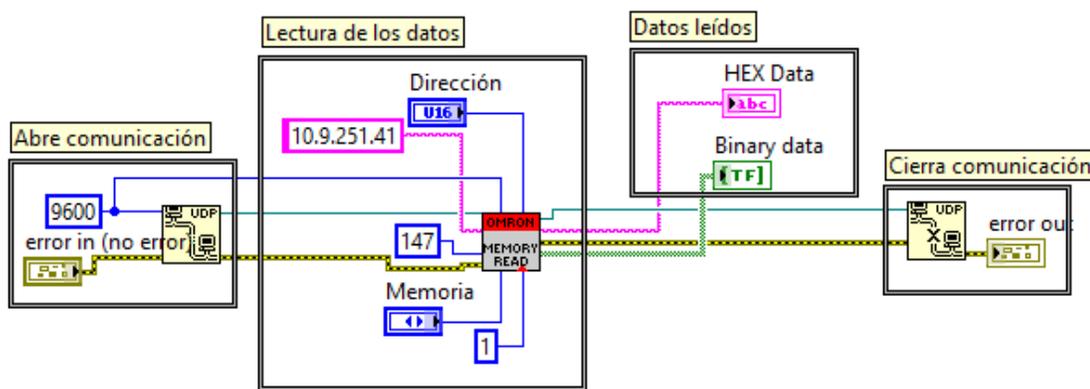


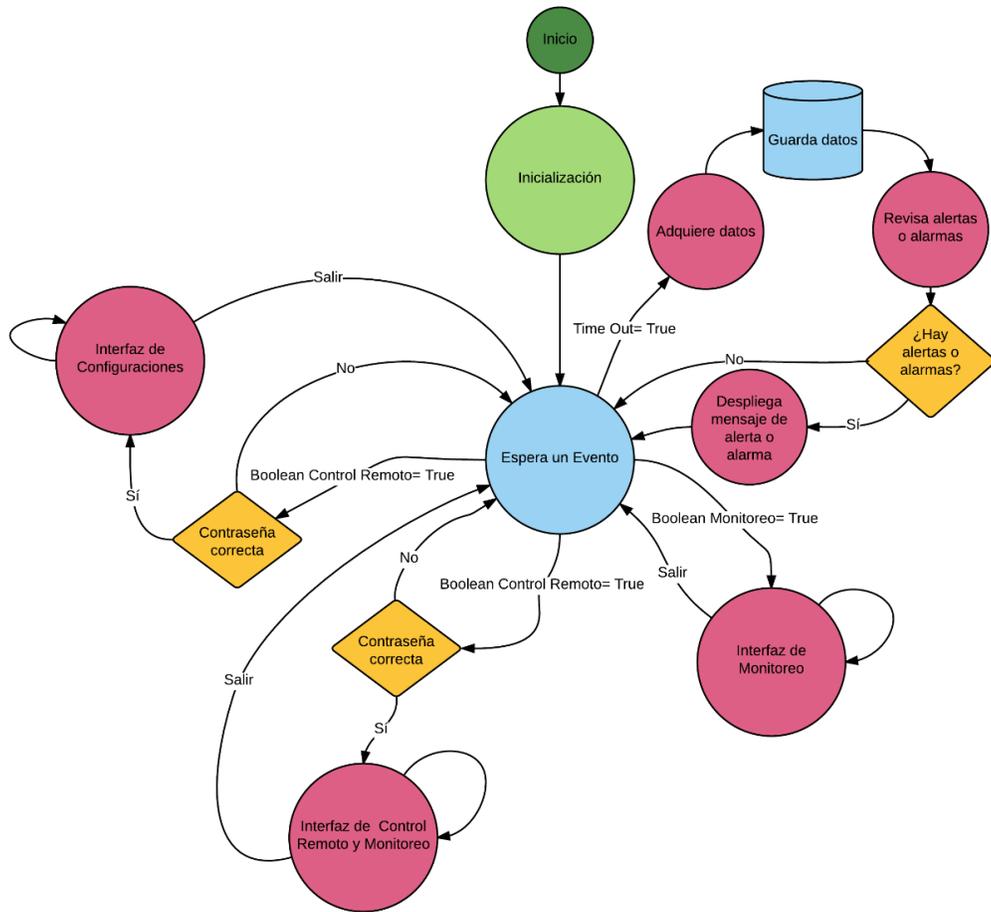
Figura 4.18. Código de lectura de datos vía FINS/UDP

Fuente: (LabVIEW 2014)

Tal y como se puede apreciar en la Figura 4.18 con el Sub-VI creado para lectura de datos se pueden adquirir datos, tanto en formato hexadecimal como binario, por lo que en los casos de las lecturas de los sensores analógicos se trabaja con los valores hexadecimales y la lectura de sensores digitales se utiliza el formato binario.

Una vez que se logra la comunicación se desarrollan las estructuras con las cuales en las cuales se diseñan los VI's (interfaces virtuales) para lograr una adquisición de datos controlada en todo momento, ya que estos valores deben guardarse en la base de datos para llevar el historial del sistema. Y además debe permitir realizar todas las otras funciones ya mencionadas. Para esto se utiliza una estructura de eventos, la cual es muy utilizada en interfaces de usuario porque le da prioridad al evento que se desea realizar para luego continuar con la secuencia.

A continuación se muestra la estructura de eventos del menú principal de la aplicación desarrollada en LabVIEW:



**Figura 4.19. Diagrama de estados del software implementado**

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

Tal y como se puede observar en el diagrama de estados mostrado en la Figura 4.19, primeramente cuando abre la aplicación se reinician las variables, tanto del PLC como de la interfaz de usuario, y se entra a un menú en donde se puede seleccionar abrir la interfaz de monitoreo, la interfaz de control remoto del sistema o la interfaz de configuraciones.

Para poder acceder a las interfaces de control remota del sistema y la interfaz de configuraciones se debe conocer la contraseña, ya que si son utilizadas por personas sin conocimiento de la aplicación, pueden causar daños en el sistema.

Si pasa un tiempo determinado y no se da ningún evento se entra a la fase llamada "Time Out", en esta se realiza la adquisición de datos para enviarlos a la base de datos, y además se identifican si se detectaron alarmas o alertas para que se despliegue en pantalla un mensaje que muestre la alarma identificada. A continuación se muestra más detalladamente cómo se realiza la adquisición de datos en el menú principal:

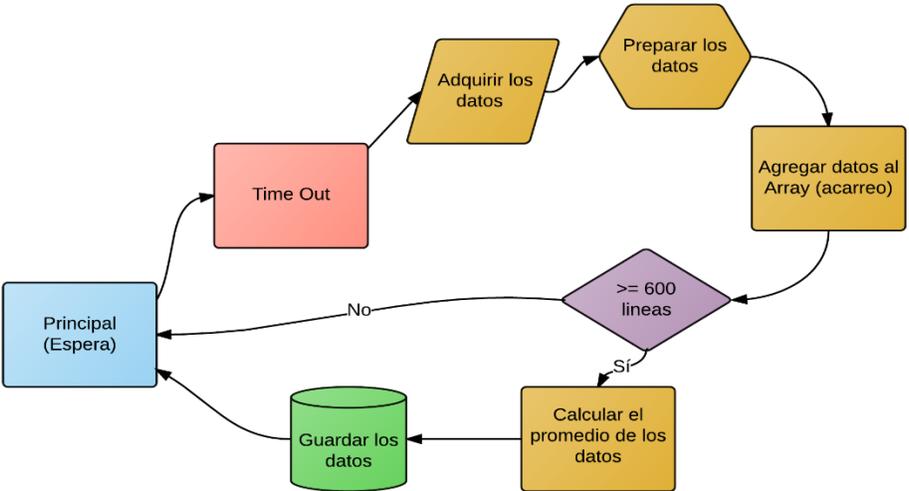


Figura 4.20. Diagrama de flujo de almacenamiento de datos

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

En la interfaz de Monitoreo se muestran los datos tales como presión en la tubería principal, caudal en la tubería principal, volumen totalizado de extracción de agua del pozo, nivel y volumen de cada uno de los tanques, estado (abierto/cerrado) de las electroválvulas, entre otros valores importantes. A continuación se muestra el diagrama de estados de la interfaz de monitoreo:

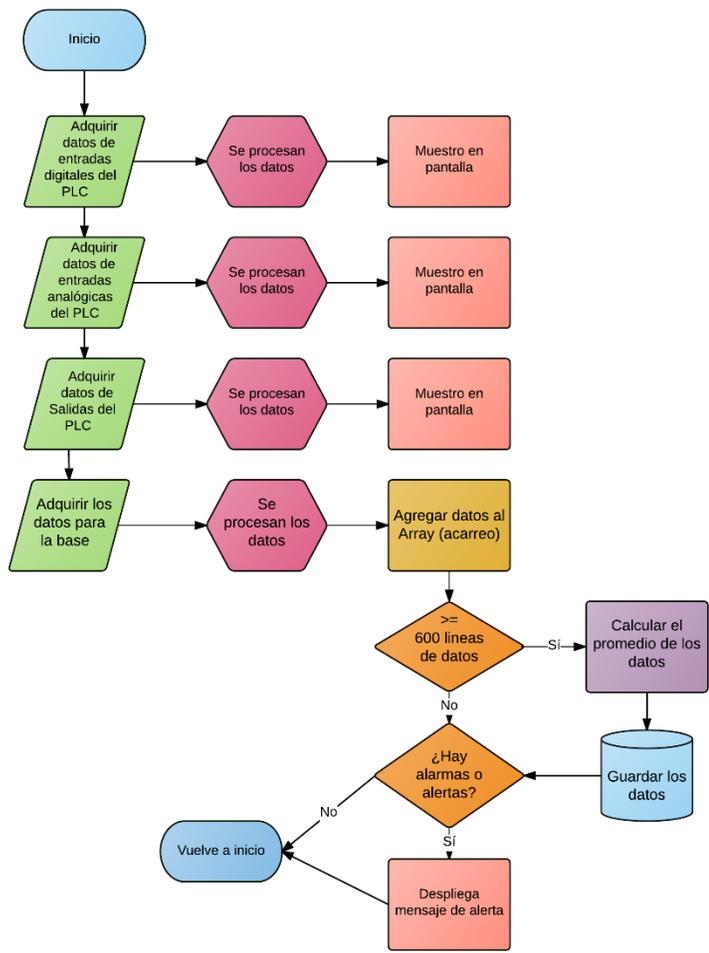
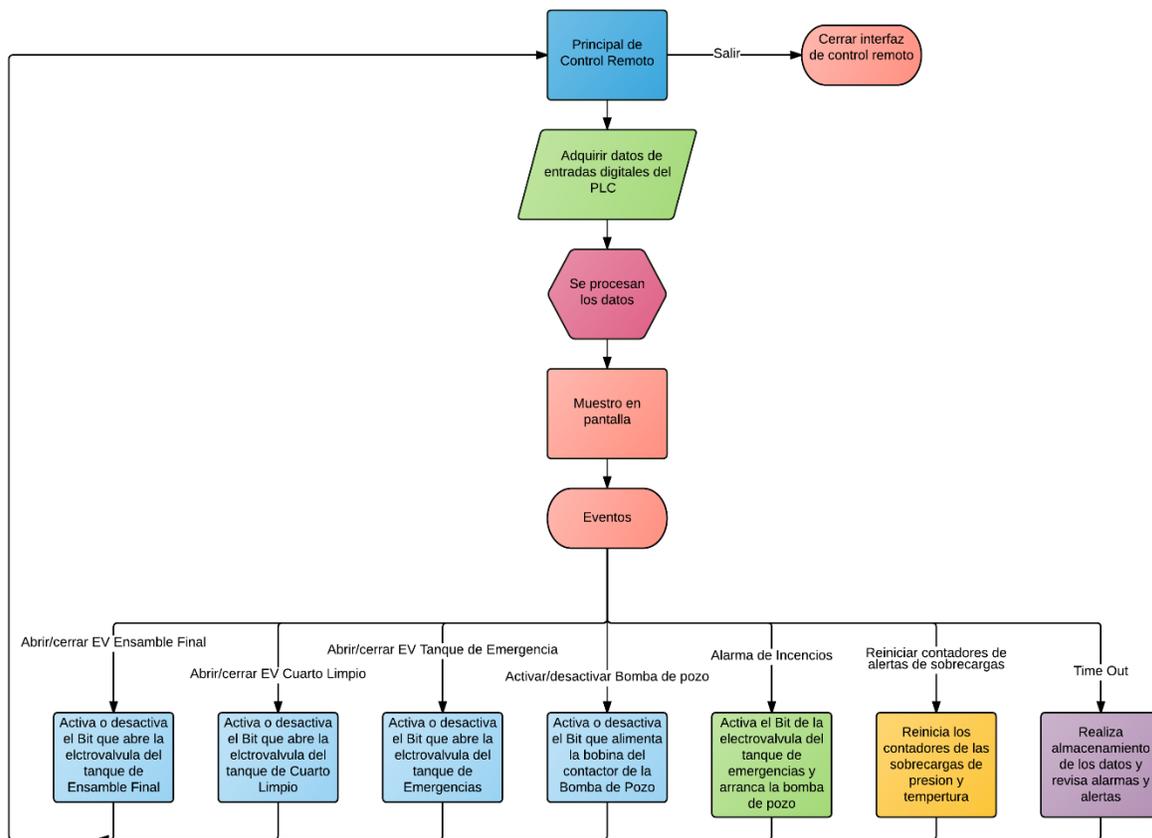


Figura 4.21. Flujo-grama de la interfaz de monitoreo de la aplicación en LabVIEW

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

Tal y como se puede observar en la Figura 4.21 el refrescamiento de los datos se realiza cada ciclo el cual dura aproximadamente 100 milisegundos. Para salir de este ciclo sólo se debe presionar el botón de salir, el cual no está en el flujo-grama ya que tiene prioridad y puede detener el ciclo en cualquier punto.

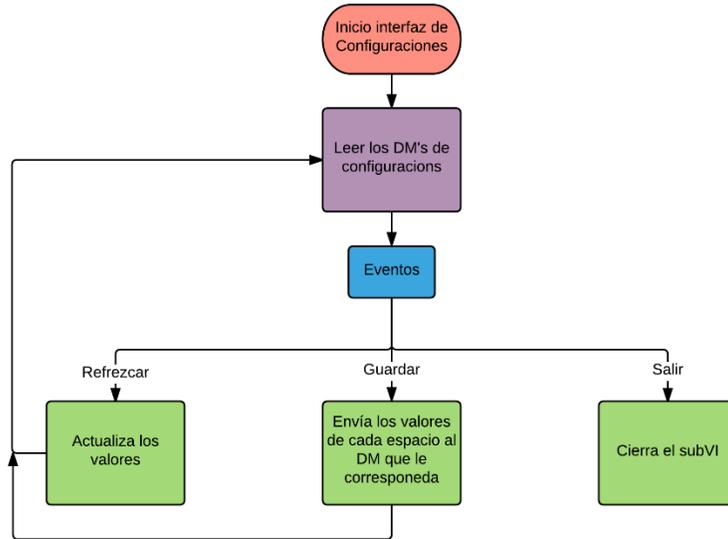
En el caso de la interfaz de control remoto y monitoreo se tienen que enviar paquetes de datos dependiendo del evento que haya seleccionado el usuario de la interfaz, a continuación se muestra el diagrama de flujo utilizado para el desarrollo de este VI.



**Figura 4.22. Diagrama de flujo del algoritmo de la interfaz de Control Remota y Monitoreo**

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

La interfaz de configuraciones es diferente a las realizadas para monitoreo y control, ya que estas están relacionadas a memorias de entradas y salidas del PLC, mientras que la interfaz de configuraciones se relaciona más con las memorias de datos (DM's). Estas pueden ser modificadas mientras que el programa del PLC está en RUN sin generar errores. A continuación se muestra el diagrama de flujo utilizado en la programación de la interfaz de Configuraciones del Sistema:



**Figura 4.23. Diagrama de flujo utilizado para la interfaz de configuraciones**

Fuente: Elaboración propia en LucidChart

Para hacer la identificación de alarmas se utilizan 2 estructuras diferentes, la primera es de detección de sensores. Esta se realiza detectando el código que envía el módulo de entradas a la memoria del PLC a la que se encuentra asociado cuando no hay conexión. Cuando se detecta este código se envía al indicador de monitoreo un mensaje de error en el sensor. Y también, en el momento que se detecta la alarma se despliega un mensaje en pantalla que le indica al usuario el problema identificado. La segunda se realiza identificando el canal de alarmas el cual fue destinado para alarmas del PLC.

#### **4.7 Alarmas, alertas y protecciones del sistema**

A nivel de programación del PLC se dividieron las alarmas en 2 categorías diferentes las que protegen al sistema y sus componentes de no ser dañados y las que avisa que se está presentando una situación no deseada. Primeramente se describen las protecciones programadas:

- Protección contra sobre presión: Esta protección des-energiza la bomba en caso de que se sobrepase la presión configurada en el sistema.

- Protección contra presión de vacío: Esta protección se activa si el transmisor de presión detecta presión negativa por un breve período de tiempo. Por lo que se energiza que una electroválvula del sistema se abra para evitar que la presión negativa dañe los componentes de en las tuberías
- Protección de sobrecarga: Esta protección apaga la bomba en caso de que se presente una sobrecarga en la bomba.

A continuación también se describen las alarmas que se programaron a nivel de PLC para identificar situaciones no deseadas.

- Nivel más alto de lo debido en tanque de Ensamble Final: Esta alarma detecta si el nivel sobrepasa el nivel configurado por el operador del sistema en 2% durante un tiempo específico que depende del tiempo de apertura de la electroválvula.
- Nivel más bajo de lo debido en tanque de Ensamble Final: esta alarma se activa si el nivel se encuentra por debajo en 4 % al nivel mínimo configurado en el período pico (el cual según el algoritmo del programa del Controlador se supone que es el configurado más bajo).
- Nivel más alto de lo debido en tanque de Cuarto Limpio: Esta alarma detecta si el nivel sobrepasa el nivel configurado por el operador del sistema en 2% durante un tiempo específico que depende del tiempo de apertura de la electroválvula.
- Nivel más bajo de lo debido en tanque de Cuarto Limpio: esta alarma se activa si el nivel se encuentra por debajo en 4 % al nivel mínimo configurado en el período pico.
- Nivel más alto de lo debido en tanque de Emergencia Contra Incendios: Esta alarma detecta si el nivel sobrepasa el nivel configurado por el operador del sistema en 2% durante un tiempo específico que depende del tiempo de apertura de la electroválvula.
- Nivel más bajo de lo debido en tanque de Emergencia Contra Incendios: esta alarma se activa si el nivel se encuentra por debajo en 4 % al nivel mínimo configurado en el periodo pico.

- Electroválvula de la tubería hacia el tanque de Ensamble Final no abre: Para detectar esta alarma se utiliza switch de flujo de la tubería. si la bomba y la electroválvula están en alto, debería de haber flujo en la tubería por lo que si no hay la electroválvula debe estar fallando.
- Electroválvula de la tubería hacia el tanque de Cuarto Limpio no abre: esta alarma se activa si el nivel se encuentra por debajo en 4 % al nivel mínimo configurado en el período pico (el cual según el algoritmo del programa del controlador se supone que es el configurado más bajo)
- Electroválvula de la tubería hacia el tanque de Emergencia Contra Incendios no abre: esta alarma se activa si el nivel se encuentra por debajo en 4 % al nivel mínimo configurado en el período pico (el cual según el algoritmo del programa del controlador se supone que es el configurado más bajo)
- Flujo de agua en la tubería principal menos de lo esperado: Sí la bomba está encendida y hay flujo en las tuberías pero es más bajo del que debería entregar la bomba de acuerdo con los datos de placa se activa esta alarma
- Flujo de agua en la tubería principal por encima al debido: Esta alarma se activa si el sensor envía el dato de un flujo mayor al de capacidad de la bomba, lo que indicaría que algo anda mal en la calibración del sensor

Luego de esto se procedió a identificar las fallas a nivel de la programación de la aplicación en LabVIEW. Esta lee las alarmas del PLC y las procesa para que se puedan observar indicadores ubicados en las interfaces tanto de monitorización como de control y monitorización. Además de alertar al usuario por medio de ventana emergente en caso de detectarse una falla.

Tal y como se mencionó anteriormente existen dos estructuras para la detección de fallas. La primera es detectar si los sensores analógicos se encuentran conectados. Y la segunda es leer las entradas y salidas del PLC, así como el canal de alarmas para identificar cada una de las situaciones indeseables y generar alertas. En la Figura 4.24 se puede observar un extracto del Sub-VI de detección de sensores creado para la aplicación.

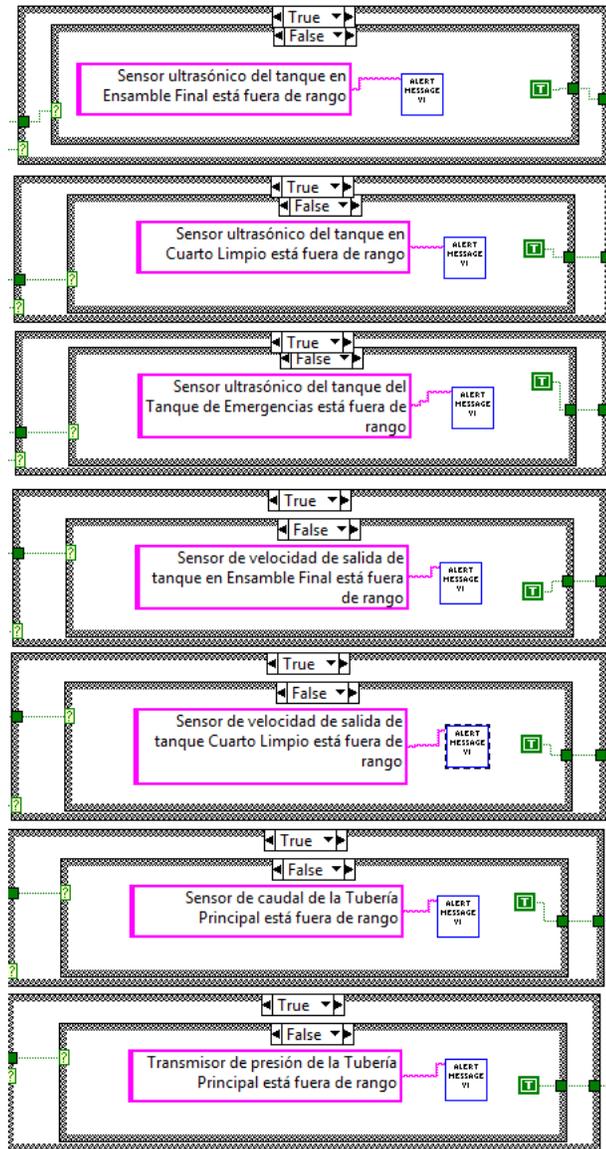


Figura 4.24. Mensajes de detección de sensores

Fuente: (LabVIEW 2014)

A nivel de programación de LabVIEW se muestran las alertas del canal de alarmas del PLC. En la Figura 4.25 se pueden observar cuales son las alertas para las situaciones indeseables detectadas:

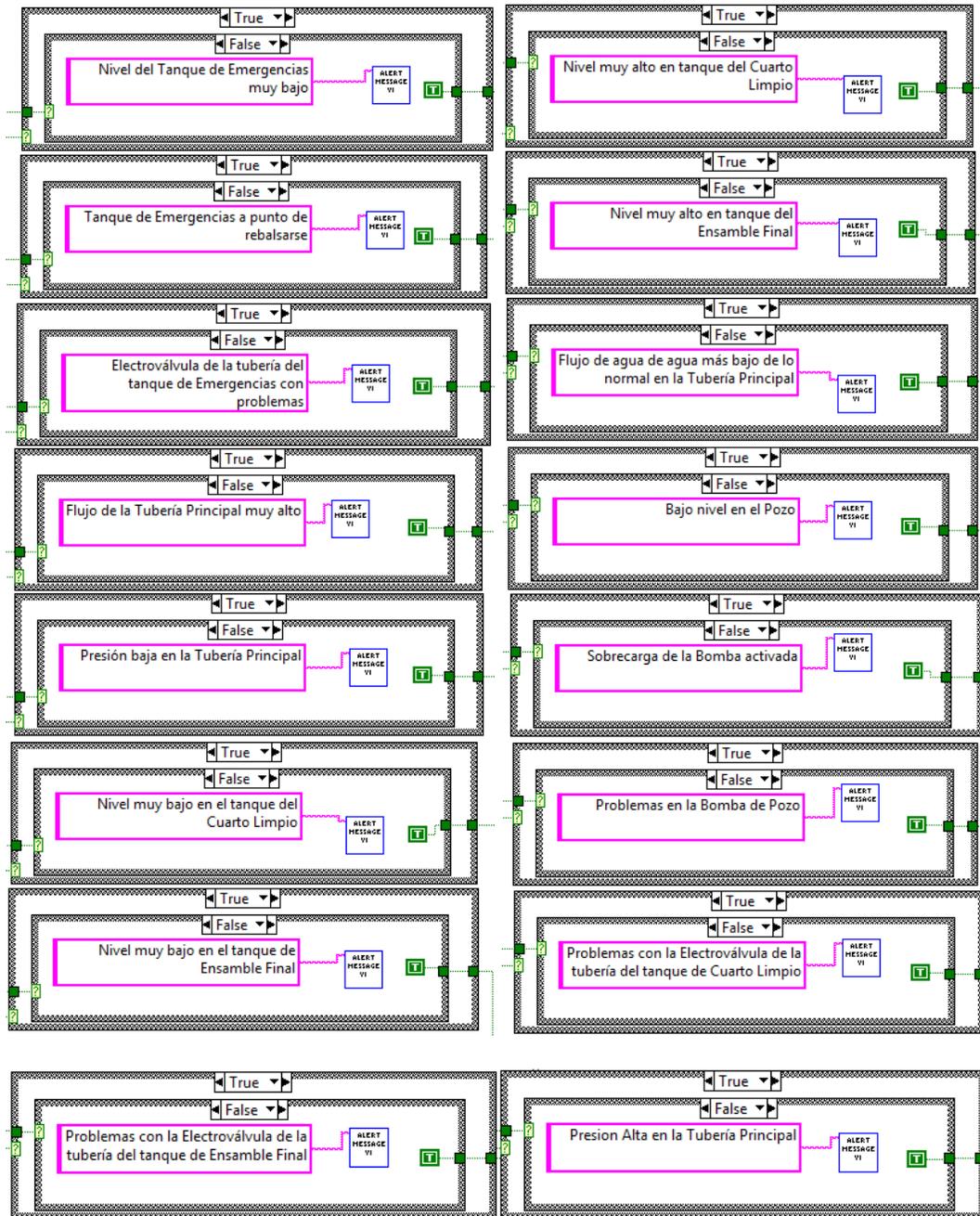


Figura 4.25. Mensajes de lectura del canal de alarmas del PLC

Fuente: (LabVIEW 2014)

#### 4.8 Almacenamiento de los datos

Para este proyecto se generó una base de datos en Microsoft Access 2002 en la cual se almacenará el historial de las variables medidas del sistema, entre las cuales se tienen:

- ID: es el número de dato tomado, este es un número secuencial que va creciendo cada vez que se agrega un dato nuevo a la base de datos.
- Fecha: En esta columna se tiene la fecha en la que se agregó el dato a la base.
- Caudal de salida de la bomba: en esta columna se tienen los promedios de caudal de salida de la bomba en metros cúbicos por segundo en el tiempo transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el que se está almacenando.
- Volumen total: Este dato almacena la cantidad de agua en metros cúbicos que se ha sacado del pozo en el tiempo de funcionamiento del sistema.
- Presión de la tubería principal: En esta columna se almacena el promedio de la presión de la tubería principal en libras por pulgada cuadrada en el tiempo transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.
- Volumen del Tanque de Ensamble Final: se almacena el promedio del volumen que hay en el Tanque de Ensamble Final en el tiempo transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.
- Volumen del Tanque de Cuarto Limpio: se almacena el promedio del volumen que hay en el Tanque de Cuarto Limpio en el tiempo transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.
- Volumen del Tanque de Emergencias: se almacena el promedio del volumen que hay en el Tanque de emergencias en el tiempo transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.
- Salida del tanque de ensamble final: en esta columna se almacenan los promedios de caudal de salida del tanque de Ensamble Final en metros cúbicos por segundo, en el tiempo que transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.

- Salida del tanque de cuarto limpio: en esta columna se almacenan los promedios de caudal de salida del tanque de Cuarto Limpio, en metros cúbicos por segundo, en el tiempo que transcurrido entre el almacenamiento del dato anterior y el actual.
- En la Figura 4.26 se puede observar el Sub-VI encargado de realizar el almacenamiento de los datos mencionados anteriormente:

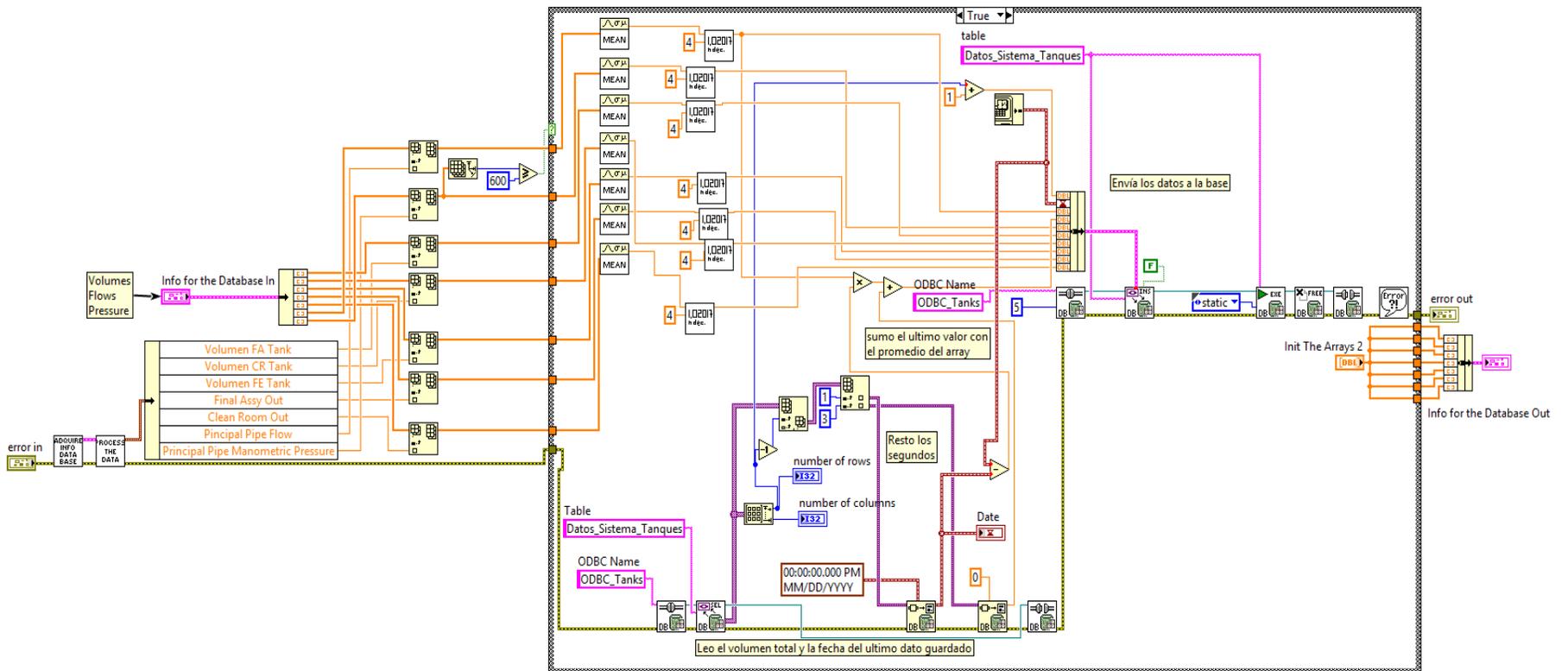


Figura 4.26. VI de almacenamiento de datos

## 5 Implementación y resultados

### 5.1 Cableado Eléctrico

Para la implementación del proyecto se requirió que se tuvieran los medios necesarios para poder hacer llegar las señales, tanto de los sensores al PLC como la alimentación a cada uno de los sensores y de esta forma realizar las conexiones necesarias. El cableado que se realizó durante el transcurso del proyecto fue:

Área de la Tubería principal:

- 1 cable de 5 líneas para el sensor de caudal.
- 1 cable de 4 líneas para el Transmisor de presión.
- 2 cables de 4 líneas para los interruptores de flujo de la tubería de ensamble final y la tubería de cuarto limpio.
- 3 cables de 2 líneas para la alimentación de las electroválvulas.

Área de Ensamble Final:

- 1 cable de 5 líneas para el sensor ultrasónico.
- 2 cables de 2 líneas para las boyas de nivel.
- 2 cables de 2 líneas para indicadores del encendido de las bombas de salida del tanque.
- 1 de 4 líneas para el sensor de velocidad de la salida del tanque.
- 1 cable de 2 líneas para la bobina del contactor de la bomba.
- 1 cable de 2 líneas para la señal de la sobrecarga de la bomba.

Área de Cuarto Limpio:

- 1 cable de 5 líneas para el sensor ultrasónico.
- 2 cables de 2 líneas para las boyas de nivel.
- 2 cables de 2 líneas para indicadores del encendido de las bombas de salida del tanque.
- 1 de 4 líneas para el sensor de velocidad de la salida del tanque.

Área de Tanque de emergencias:

- 1 cable de 5 líneas para el sensor ultrasónico
- 1 cable de 4 líneas para el interruptor de flujo de la tubería del Tanque de Emergencias

## 5.2 Cambio en las tuberías

Durante el transcurso de tiempo de práctica profesional se tuvieron que programar paros programados del sistema que estaba instalado anteriormente Esto para realizar los cambios en las tuberías necesarios para la instalación de los componentes del proyecto. Principalmente se realizó previendo la instalación de los sensores de flujo, ya que estos requerían de una longitud específica de tubería lisa antes y después de la posición de estos.

Los cambios en las tuberías se realizaron domingos, ya que hay menos demanda de agua y se garantizaba que no se dejaría la planta sin agua. Estos cambios fueron asistidos por técnicos del departamento de Facilidades de la empresa, así como practicantes de colegios técnicos vocacionales.



**Figura 5.1. Área de Tubería Principal**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Instalación de sensores

#### 5.3.1 Sensor de caudal

En el caso del sensor de flujo se tenía que dejar dos diámetros de tubería antes y 1 después para que el flujo se mantenga estable y no se genere turbulencia que pueda generar errores en la medición del sensor.

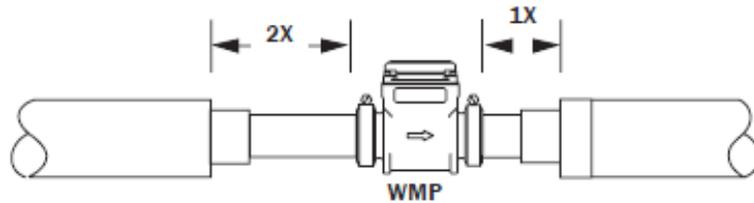


Figura 5.2. Montaje recomendado de los sensores WMP

Fuente: (Seametrics, 2016)



Figura 5.3. Sensor Seametrics WMP instalado en la planta

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Sensores de velocidad e interruptores de flujo

Los sensores de velocidad y los interruptores de flujo son de la misma serie de sensores Allen-Bradley, su diferencia radica en el tipo de salida (PNP/ Analógica) y el precio.

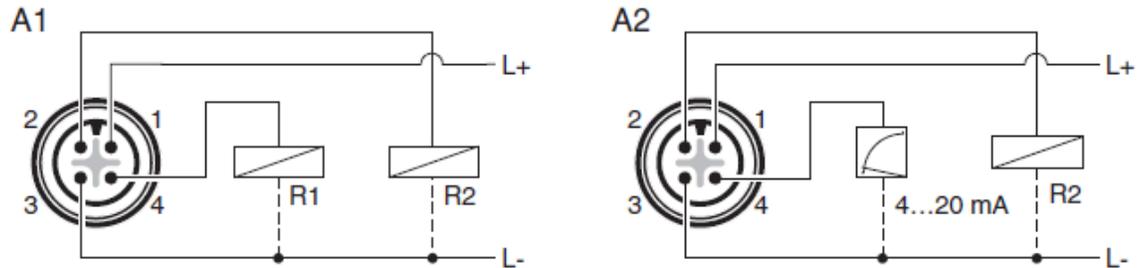


Figura 5.4. Salidas de los interruptores de flujo y los sensores de velocidad

Fuente: (Rockwell Automation, 2012)

Estos requieren que la espiga se encuentre inmersa al menos 10 mm en el fluido, que en este caso es agua. También se recomienda que se instalen en dirección perpendicular a la gravedad, esto debido a que si la tubería no va completamente llena la espiga del sensor no quede descubierta.

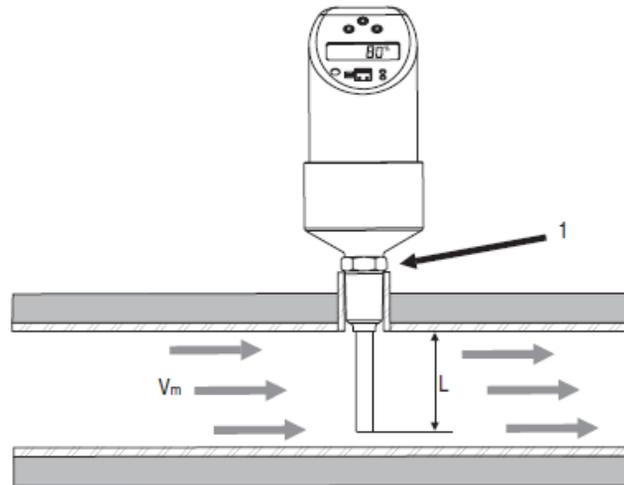


Figura 5.5. Montaje de los sensores de velocidad e interruptores de flujo



**Figura 5.6. Interruptores de flujo instalados en la planta**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.7. Sensores de velocidad instalados en la planta**

Fuente: Elaboración propia

### **5.3.3 Transmisor de presión**

El transmisor de presión se ubicó en el centro de la tubería principal, antes de todas las derivaciones de cada uno de los tanques.



**Figura 5.8. Montaje del transmisor de presión en la tubería principal**

Fuente: Elaboración propia

### **5.3.4 Sensores ultrasónicos**

Para la instalación de los sensores ultrasónicos se debió tomar en cuenta que la base debe estar en dirección perpendicular a la superficie del agua y el ángulo de inclinación es crítico para la recolección correcta de datos.



**Figura 5.9. Montaje de los sensores de los tanques de proceso**

Fuente: Elaboración propia

## 5.4 Instalación del gabinete de control

El panel construido en este proyecto se ubicó cerca de donde se encontraba el panel de control viejo. Esto es específicamente en unos de los cuartos donde se encuentran los equipos de facilidades, tales como chillers, sistemas de aires comprimido y paneles de media tensión. Por ser un sistema de control se ubicó lo más lejos posible de los cables de potencia. El panel tiene un grado de protección IP65 para proteger los componentes que se encuentran en su interior.



Figura 5.10. Imagen frontal del Panel de Control

Fuente: Elaboración propia

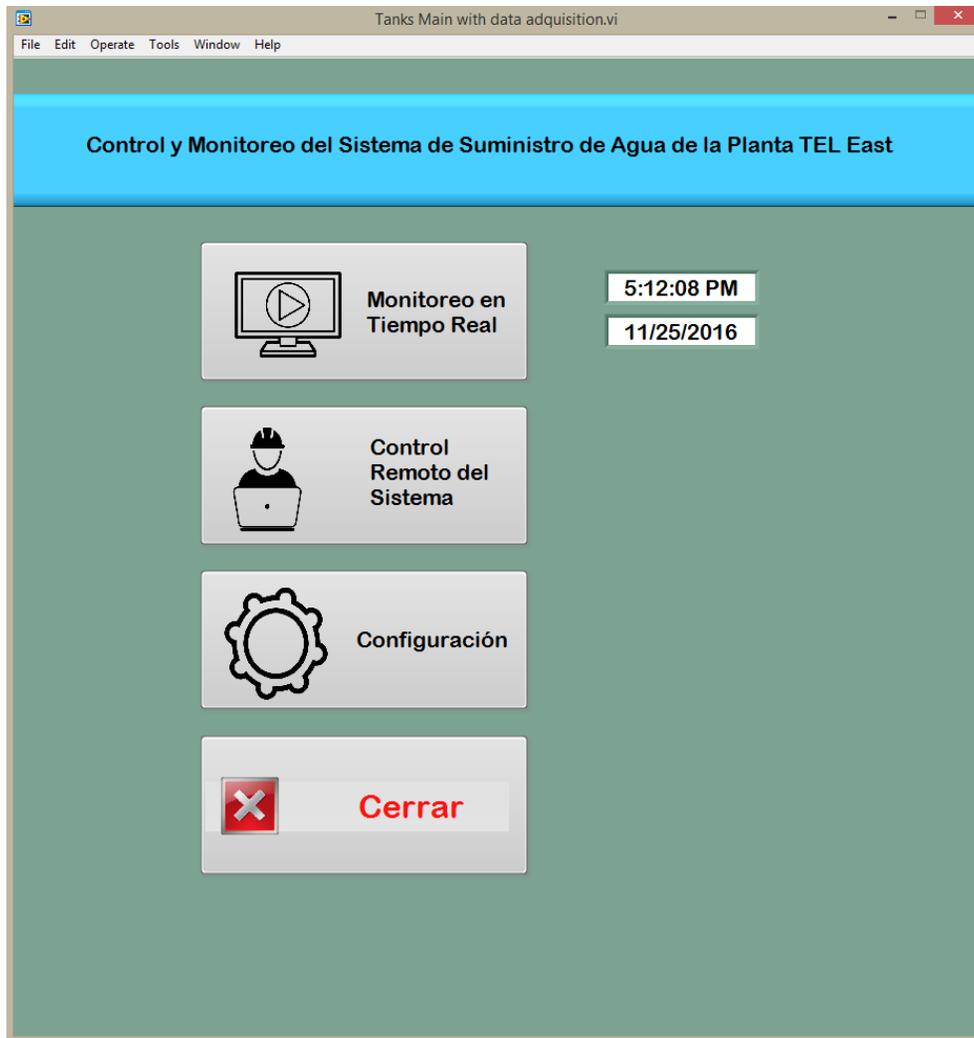


**Figura 5.11. Fotografía del interior del panel de control**

Fuente: Elaboración propia

## **5.5 Aplicación de Monitoreo, Control y Adquisición de datos**

Para el prototipo del programa de Monitoreo, Control y Adquisición de Datos del Sistema el programa se instaló en una computadora la cual se encuentra dentro de la red de la empresa. Se logra establecer comunicación con el PLC desde la aplicación desarrollada en LabVIEW. Seguidamente, en la Figura 5.12 se muestra el menú principal de la aplicación. Cuando el programa se encuentra en esta interfaz internamente se encuentra adquiriendo datos para enviarlos a la base de datos creada para el sistema. Y si fuese el caso de que ocurriese una falla, se despliega una ventana emergente indicando cual falla se está dando.



**Figura 5.12. Menú Principal de la aplicación creada**

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

Cuando se hace clic en el botón de monitoreo en tiempo real se entra a la ventana mostrada en la Figura 5.13. En esta interfaz únicamente se puede monitorear el sistema, y además al permanecer en esta también se adquieren los datos que son enviados cada cierto tiempo a la base de datos. En esta interfaz de monitoreo se pueden visualizar remotamente el estado de las diferentes variables del sistema.

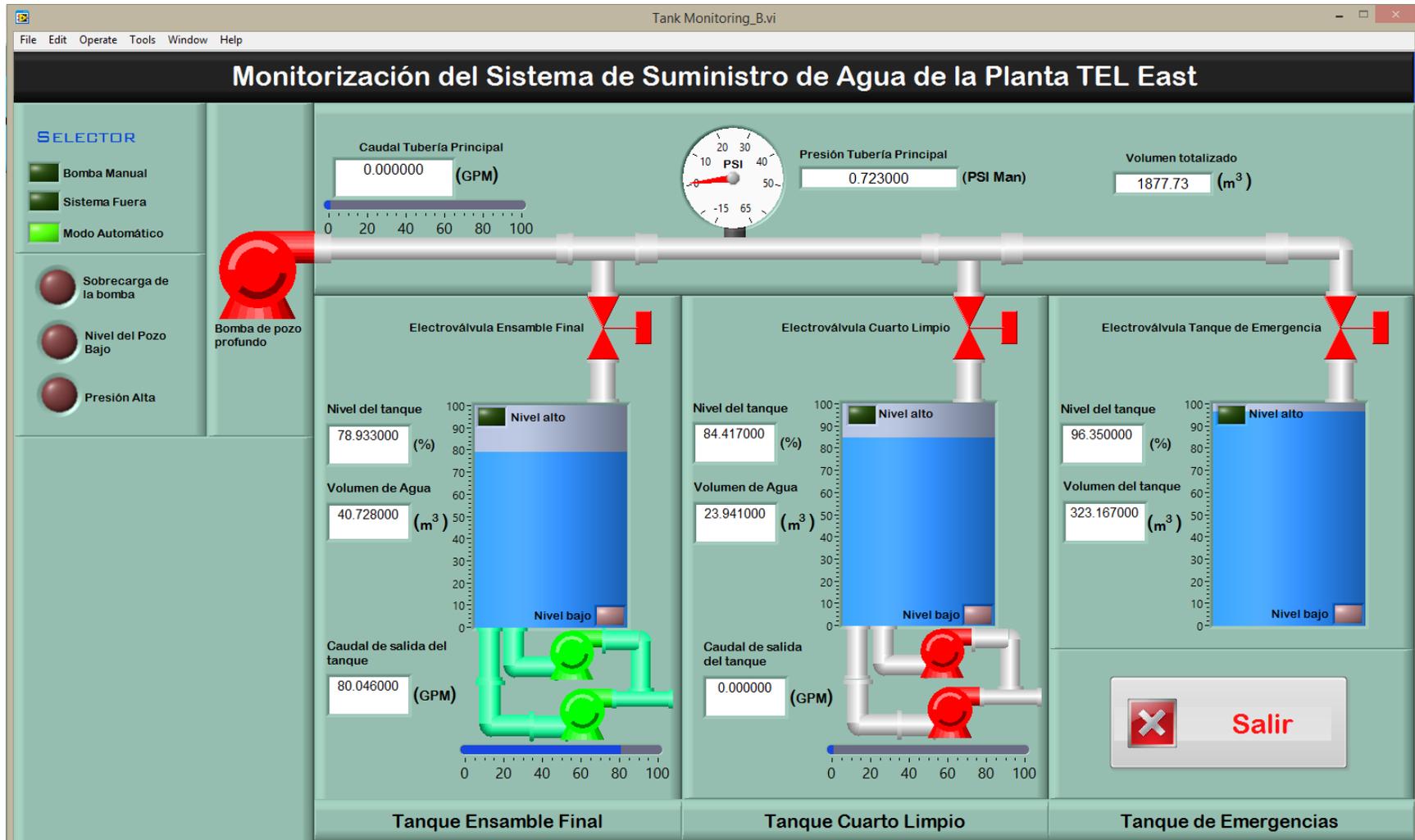


Figura 5.13. Interfaz de Monitoreo del Sistema de Suministro de Agua TEL East

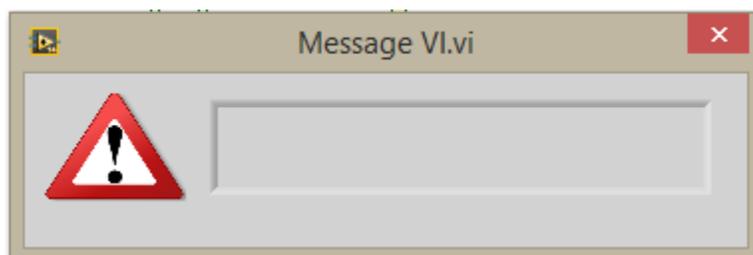
Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

Para salir de la interfaz de monitorización simplemente se hace clic en el botón Salir y el programa vuelve al menú principal de la aplicación.

La interfaz de monitoreo y control es un poco más compleja que la anterior en cuanto a programación, pero sigue siendo amigable para el usuario. Desde esta se pueden realizar funciones como:

- Reiniciar la alerta de la sobrecarga de presión
- Reiniciar la alerta de la protección de sobrecarga del motor de la bomba
- Arrancar la bomba de pozo
- Abrir la electroválvula de alimentación del Tanque de Ensemble Final
- Abrir la electroválvula de alimentación del Tanque de Cuarto Limpio
- Abrir la electroválvula de alimentación del Tanque de Emergencias
- Se habilitar la opción de emergencia de incendio, la cual envía todo el caudal de agua hacia el tanque de emergencias

Al igual que la anterior, se realiza la adquisición de los datos que son enviados a la base de datos cada cierto tiempo. Y si se presenta alguna alerta, alarma o problema de los identificados en la programación aparece en pantalla una ventana emergente como la de la Figura 5.14 con el texto dentro, el cual depende de la alerta detectada, estos son los mostrados en la Figura 4.24 y la Figura 4.25.



**Figura 5.14. Mensaje de alerta cuando se detectan fallas**

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW

En la Figura 5.15 se muestra la interfaz de Monitoreo, Control y Adquisición de datos del sistema de suministro de agua de la planta Tel East. Es importante mencionar que cuando se entra en esta interfaz se desactiva el modo automático.

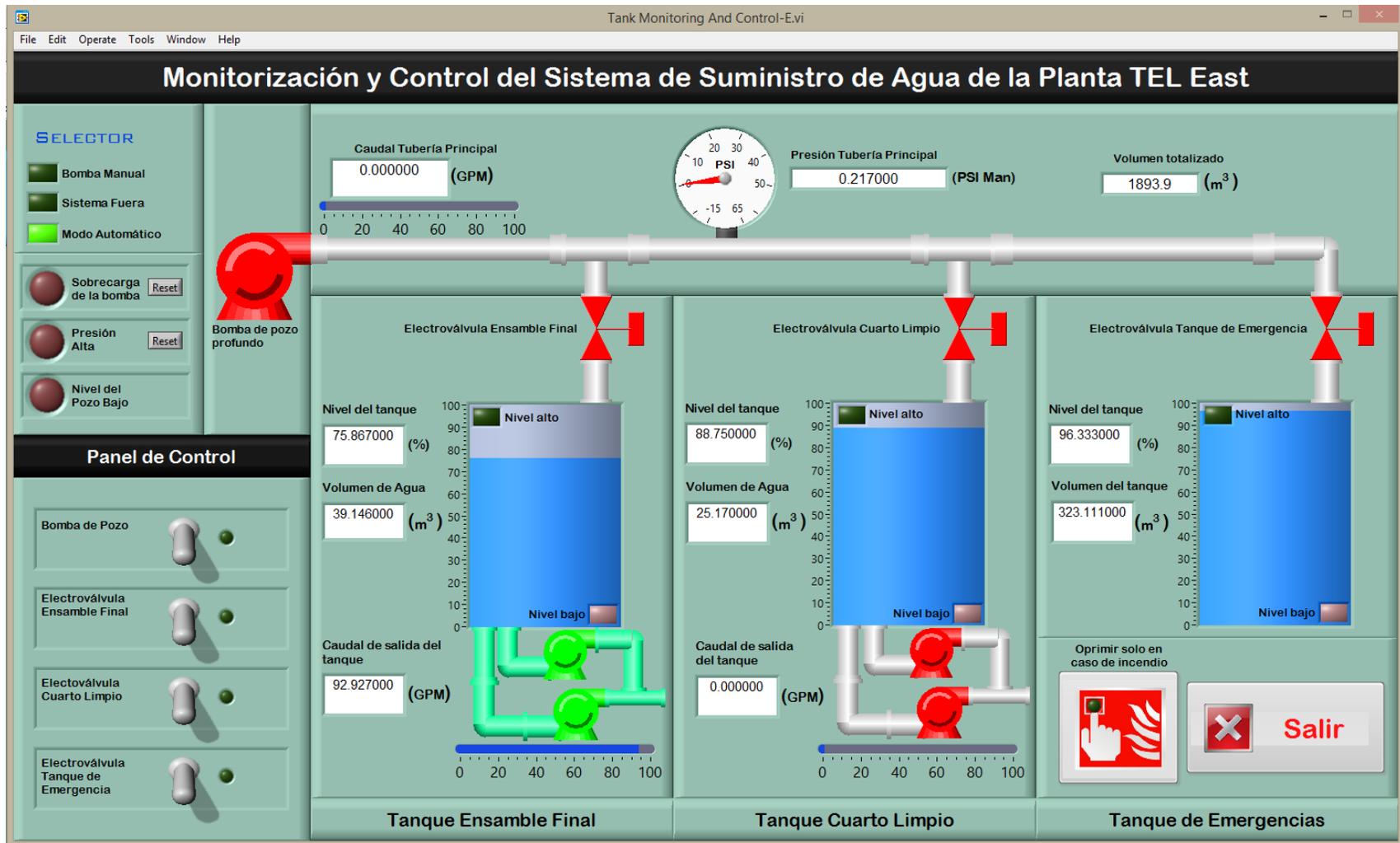


Figura 5.15. Interfaz de Monitoreo y Control Remoto del Sistema

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

También se creó una interfaz de configuraciones del sistema, en esta se pueden configurar algunos parámetros de la programación del PLC. A continuación se detalla cada una de las configuraciones que se pueden realizar desde esta ventana de la aplicación desarrollada en LabVIEW, primeramente las configuraciones generales del sistema:

- Diferencia de nivel en periodo pico: se configura la diferencia máxima entre niveles para que ambos tanques se llenen simultáneamente en período pico
- Diferencia de nivel en periodo valle: se configura la diferencia máxima entre niveles para que se permita que ambos tanques se llenen simultáneamente en período valle
- Diferencia de niveles en período nocturno: se configura la diferencia máxima entre niveles para que se permita que ambos tanques se llenen simultáneamente en período nocturno
- Diferencia de niveles bajo el nivel mínimo: se configura la diferencia máxima entre niveles para que se permita que ambos tanques se llenen simultáneamente, si alguno de los dos tanque de proceso se encuentra por debajo del límite mínimo.
- Contador de alarma de presión alta: Es la cantidad de veces que se debe activar la protección de presión alta para dejar el sistema fuera hasta que se reinicie manualmente la sobrecarga. Esta acción se puede hacer desde la ventana de monitoreo y control de la aplicación. También se puede realizar reiniciando el panel.
- Contador de alarma de sobrecarga del motor: Es la cantidad de veces que se debe activar la protección de sobrecarga del motor de la bomba para dejar el sistema fuera hasta que se reinicie manualmente. Esta acción se puede realizar desde la ventana de monitoreo y control de la aplicación. También se puede realizar reiniciando el panel.
- Límite de presión máximo: Este es el límite máximo de presión absoluta en PSI que causa que se desactive la salida que mantiene encendida la bomba de pozo.

- Limite de presión mínimo: Este es el límite de presión que causa que se de la alerta de que la válvula check está en mal estado, así como la activación de la válvula del tanque de emergencias para evitar presión negativa en la tubería.

Tambien se crearon una serie de configuraciones para cada uno de los tanques de proceso, estas se detallan a continuación:

- Nivel máximo: es el nivel que cierra las electroválvulas y apaga la bomba cuando se estan llenando los tanques
- Nivel mínimo en periodo nocturno: es en nivel que indica que se tiene que comenzar a llenar el tanque en período nocturno
- Nivel minimo en periodo valle: es en nivel que indica que se tiene que comenzar a llenar el tanque en período valle
- Nivel mínimo en período pico: es en nivel que indica que se tiene que comenzar a llenar el tanque en período pico

Las configuraciones del tanque de emergencias son diferentes a las de los tanques de proceso por lo que se exponen a continuación:

- Nivel maximo: es el nivel que indica que cuando se debe detener el llenado del tanque
- Nivel mínimo: es el nivel que indica cuando debe comenzar a llenarse el tanque, en este caso sólo se llena si no se está requiriendo llenar los otros tanques.
- Temporizador de encendido de la bomba: debido a que esta válvula es lenta para abrir por completo se le asocia un temporizador para evitar sobrecargar la bomba.

Segudamente en la Figura 5.16 se puede observar la interfaz de configuraciones desarrollada en LabVIEW:

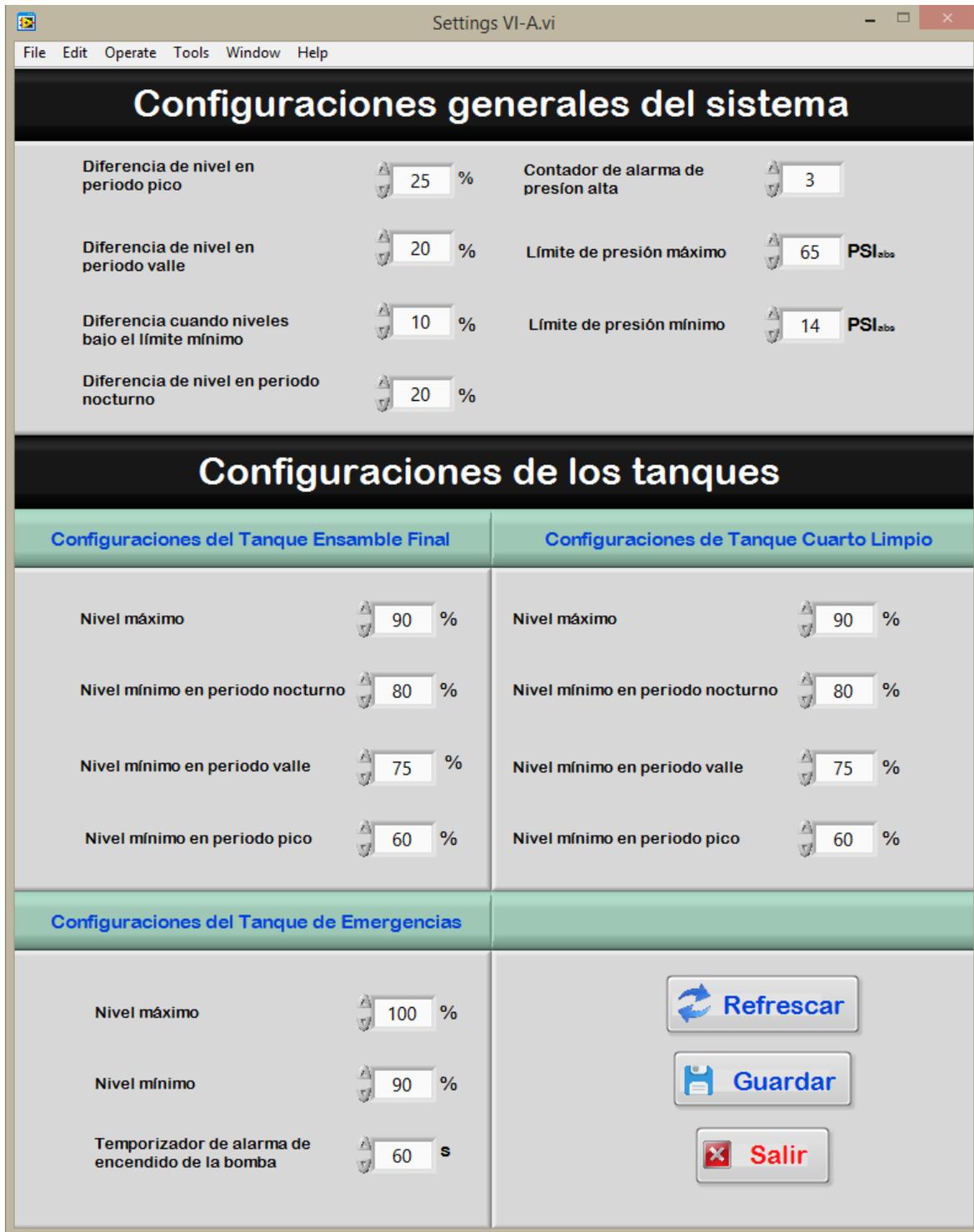


Figura 5.16. Interfaz de configuraciones del Sistema

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

Debido a la criticidad de las interfaces de monitoreo y control y la interfaz de configuraciones se requirió implementar un sistema de seguridad, esto para que no cualquiera que estuviera conectado a la red interna de la empresa y no conociera del funcionamiento del sistema, pudiese accederlas. La interfaz de registro de usuario se muestra en la Figura 5.17

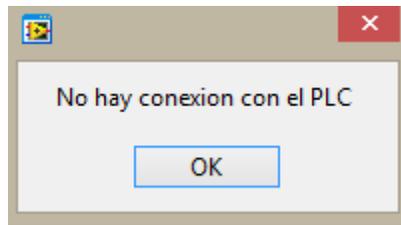


**Figura 5.17. Interfaz de registro de usuario**

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

Tal y como se observa en la figura anterior en caso de que no se realice la operación en 90 segundos la ventana se cierra automáticamente, esto debido a que en este Sub-VI no adquieren datos para el historial de la base de datos.

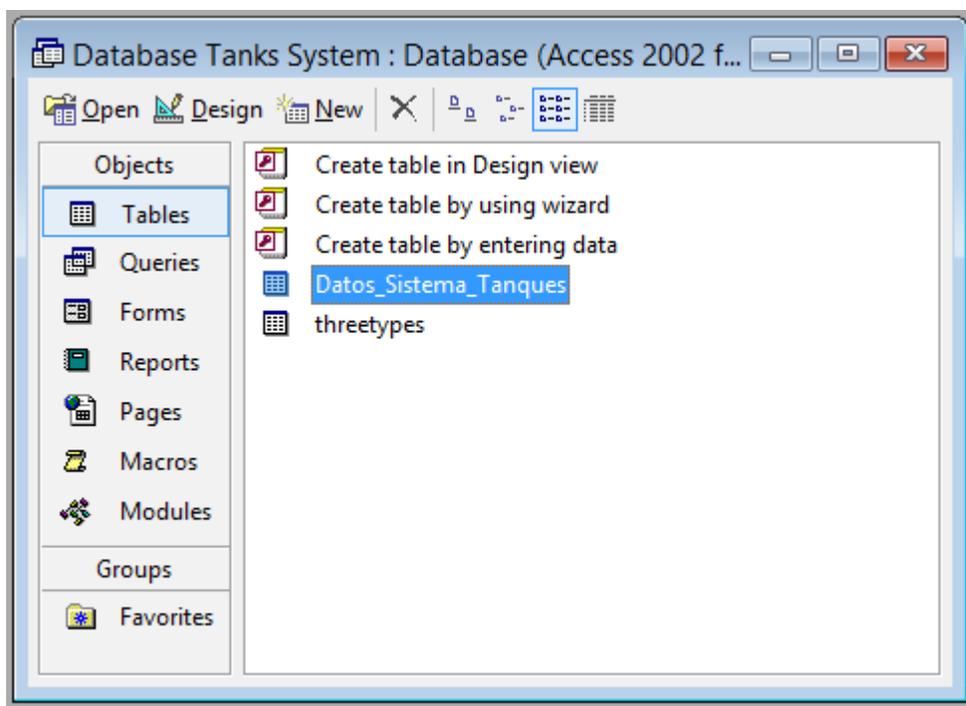
Un detalle importante es que si en algún momento se llegara a perder la conexión con el PLC se programó que apareciera una ventana emergente, la cual se puede observar en la Figura 5.18.



**Figura 5.18. Alarma de fallo en la conexión con el PLC**

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW 2014

Finalmente se Muestra la base de datos implementada para la recolección de datos del sistema:



**Figura 5.19. Base de datos implementada para la adquisición de parámetros del sistema**

Fuente: Elaboración propia en LabVIEW

## 6 Análisis de costos

Durante el desarrollo del proyecto se utilizaron muchos recursos de la empresa, tanto parte de recurso humano como ingenieros, técnicos, y compradores, como recursos materiales para trabajo y los materiales propiamente del proyecto.

En la primera etapa del proyecto, principalmente se estuvo en investigación, fue crítico la colaboración y el apoyo tanto de los ingenieros y técnicos de proyectos, como de facilidades, para conocer a fondo el problema a resolver con el proyecto. En cuanto a los recursos materiales de la primera etapa fue vital el acceso a Internet y a una computadora dentro de la red de la empresa.

Otra etapa importante fue cuando se estuvo en el proceso de compras, en donde se tenía que seleccionar componentes que cumplieran con los requisitos necesarios para la aplicación y además fueran de bajo costo, con tiempo de entrega de corta duración. Para esta etapa también se requirió de ayuda del personal de compras de la empresa, quienes son los que realizan todos los movimientos de dinero y transacciones para la compra de componentes.

La implementación de un sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos brinda información del estado al cual se le aplicó. El uso de manejo de información de manera remota en conjunto con comunicación brinda significado a la reducción de los costos operativos y de mantenimiento del sistema en cuestión.

A continuación se muestra la tabla de costos totales del proyecto, en cuanto a los costos de recursos humanos sólo serán tomados en cuenta de los viáticos al estudiante y los costos de las horas de los técnicos debido a que son las más críticas y esenciales para lograr la implementación.

En esta se puede observar que para tratarse de un proyecto de tan alta complejidad el costo total es bajo, y las ventajas que le traen a la empresa son significativas.

**Tabla 6.1. Costos totales del proyecto**

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Controlador y 2 de módulos de entradas analógicas	1	\$1.360,41	\$1.360,41
Sensor ultrasónico con cables de conexión	2	\$595,00	\$1.190,00
Interruptor de flujo	3	\$418,93	\$1.256,79
Electroválvula para tanque de emergencia	1	\$518,00	\$518,00
Sensor de flujo de tubería principal	1	\$1.372,00	\$1.372,00
Transmisor de presión de tubería principal	1	\$378,59	\$378,59
Sensor de velocidad de salida de tanques	2	\$537,97	\$1.075,94
Fuente de 24 VDC	1	\$93,13	\$93,13
Gabinete	1	\$155,09	\$155,09
Leds	8	\$3,97	\$31,79
Selector	1	\$5,54	\$5,54
Boyas de nivel	4	\$42,18	\$168,72
Componentes mecánicos( Tuberías, uniones silletas, etc.)	1	\$148,36	\$148,36
Cable de control 4 x18 (m)	150	\$0,63	\$95,10
Cable de control 5 x18 (m)	100	\$2,77	\$276,81
Botón de paro de emergencia	1	\$30,00	\$30,00
Relés 24 VDC/120 VDC	3	\$15,00	\$45,00
Relé de activación de la bomba	1	\$15,60	\$15,60
<b>Subtotal</b>		<b>\$8.216,87</b>	
Viáticos del Estudiante \$/mes	5	\$400,00	\$2.000,00
Horas Técnico	50	\$10,00	\$500,00
<b>Total</b>		<b>\$10.716,87</b>	

Fuente: Elaboración propia en Excel

## 7 Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- Se identificó mediante una lista los problemas del sistema de control y del sistema mecánico instalados anteriormente en la planta. Se establecieron los parámetros medibles para cuando estos problemas, fallas, faltas o averías se presentaban y se incluyó en la aplicación creada la identificación de estos problemas.
- Se justificó la selección de cada uno de los equipos y sensores que se utilizaron en el sistema de control y monitorización de suministro de agua de la empresa, relacionando cada uno de estos a una causa de falla, logrando identificar gran cantidad de fallas con estos.
- Se realizó el diseño del programa de control de los niveles de los tanques en un controlador lógico programable marca Omron, procurando evitar sufrir problemas en el sistema.
- Se creó una aplicación en LabVIEW que permite realizar la adquisición de datos, la monitorización y el control remoto de los componentes instalados desde una computadora con acceso a la red interna de la empresa.
- Se programaron alertas y protecciones en la programación del controlador así como en la interfaz para identificar las fallas, falta o averías.
- Se realizó un análisis de los costos de las diferentes alternativas planteadas para el proyecto.

## 7.2 Recomendaciones

Se recomienda la implementación de los indicadores de mantenimiento de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad poder tener un punto de comparación cuando se implementan nuevos proyectos y demostrar con estos la mejora lograda con la inversión, ya que el objetivo del mantenimiento debería ser evitar al máximo las pérdidas de tiempo por actividades de mantenimiento no planeadas. Teniendo un historial de las variables del sistema en una base de datos se vuelve más sencillo la implementación de la parte de los indicadores de mantenimiento.

Se recomienda que cuando se realice el mantenimiento de la bomba de pozo profundo se instale un sensor de presión a la salida de está, para así poder monitorear la columna de agua en la tubería ascendente que va desde el pozo hasta el área identificada en este proyecto como Tubería Principal.

Se recomienda pasar el circuito de potencia de la bomba de pozo más cerca de esta, ya que este se tiene en el cuarto de Ensamble Final el cual se encuentra muy lejos de la bomba de pozo lo que cause caídas de tensión, desbalances entre las fases y entre otros problemas que se pueden evitar, una alternativa es ubicarlo en el cuarto de máquinas de Cuarto Limpio el cual se encuentra mucho más cerca. Otra ventaja que les traería este cambio es que el circuito de potencia de la bomba quedaría cerca del circuito de control.

Se recomienda evaluar el cambio de la bomba de pozo por el modelo inmediatamente superior en cuanto a la capacidad, esto porque con la bomba instalada actualmente no se cumple con la demanda máxima de consumo real de la empresa. Esto fue observado en el comportamiento de la bomba con el sistema de monitorización instalado para este proyecto.

Se recomienda implementar este tipo de sistemas de monitoreo, control y adquisición de datos en más equipos de facilidades de la empresa para así lograr tener un control total de toda la planta desde una computadora.

## Bibliografía

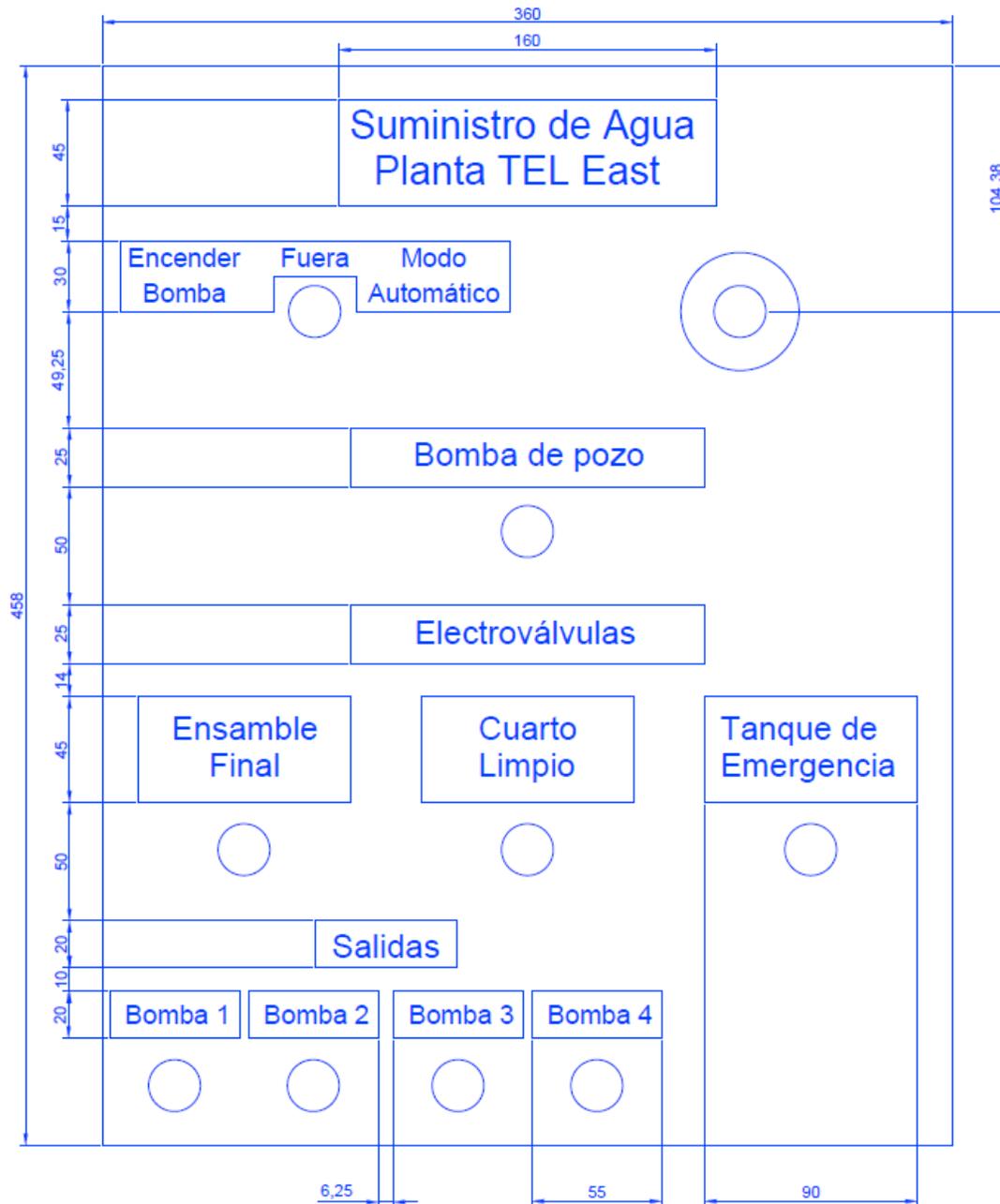
- Banner Engineering. (2016). *U-GAGE QT50LB Series Sensors with Analog Output*. Banner Engineering Corp. Retrieved from [www.bannerengineering.com](http://www.bannerengineering.com)
- Bourns, Inc. (2016). *Global Locations*. Retrieved from Bourns, Inc. Web Site: <http://www.bourns.com/support/about-us/global-locations>
- Bourns, Inc. (2016). *Markets Served*. Retrieved Julio 30, 2016, from Bourns, Inc. Web Site: <http://www.bourns.com/markets>
- Chanto J, L. F., Mora M., D., Morales R., Á., Vargas B., L., Zamora, P., & Jiménez R., O. (1996). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones*. Curridabat, San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- Date, C. (2001). *Introducción a los sistemas de bases de datos*. Naucalpan, Juárez, Mexico: Pearson Educación de México, S.A.
- Dieter, G., & Schmidt, L. (2009). *Engineering Design*. New York: McGraw-Hill.
- Durman Esquivel S.A. (2014, Febrero 5). *La Lista Durman*. Retrieved Setiembre 19, 2016, from Durman: [http://www.durman.com/descargables/la\\_lista\\_durman\\_costa\\_rica.pdf](http://www.durman.com/descargables/la_lista_durman_costa_rica.pdf)
- Goulds Pumps. (2006). *Goulds 70L, 90L, 150L, 200L, 300L Stainless Steel 6" Submersible Pumps*.
- Heimbach, G. (2016). *Creating Quality UIs with LabVIEW*. Retrieved from IEEE Web site: [https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/creating\\_quality\\_uis\\_with\\_labview.pdf](https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/creating_quality_uis_with_labview.pdf)
- InfoPLC. (2014, Febrero 23). *InfoPLC.net*. Retrieved from InfoPLC: [://www.infoplac.net/blogs-automatizacion/item/101740-diferencias-pnp-vs-npn-sensores-cableado-automata](http://www.infoplac.net/blogs-automatizacion/item/101740-diferencias-pnp-vs-npn-sensores-cableado-automata)
- Kosow, I. L. (2006). *Control de máquinas eléctricas*. Barcelona, España: Editorial Recerté, S.A.

- Mesa, G., Ortiz, Y., & Pinzón, M. (2006, Mayo 30). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*.
- Micro Automación. (2016). *Catalogo de Automatización y control*. Retrieved from Micro automación: <http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacinycontrol.pdf>
- Microsoft. (2016). *Microsoft Open Database Connectivity (ODBC)*. Retrieved from Microsoft Web site: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252(v=vs.85).aspx)
- Morales Rincón, J., & Arias, J. (n.d.). Desarrollo de un Sistema Scada Utilizando Labview y el Módulo DSC para una Planta Controlada Por un Simatic S7-300 de Siemens. Colombia. Retrieved Noviembre 20, 2016, from <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11559#prettyPhoto>
- National Instrument Corporation. (2014). *LabVIEW Core 1 Participant Guide*. Austin, Texas, United States: National Instruments.
- National Instruments. (2015, Octubre 7). Patrones de diseño de aplicaciones: Productor/ Consumidor. Retrieved Setiembre 18, 2016, from <http://www.ni.com/white-paper/3023/es/>
- National Instruments Corporation. (2013). *LabVIEW Connectivity Course Manual*. Austin, Texas, United States: National Instruments.
- Omron. (2014, Octubre). Operation Manual. *EtherNet/IP Units*.
- Omron. (2016). *Networks*. Retrieved from Omron Industrial Automation: <https://www.ia.omron.com/support/guide/23/introduction.html>
- Real Academia Española. (2016, Noviembre 1). Diccionario de la lengua española. Madrid, España.
- Rockwell Automation. (2012). *Solid-State Flow Sensors User Manual 839E*. Milwaukee, United States: Rockwell Automation. Retrieved from [www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com)

- Rutherford, D. (2012, Marzo). Ethernet for SCADA Systems. *White Paper*, 1-10.  
Retrieved Julio 26, 2016
- Seametrics. (2016). *Blind Analog Transmitter Instructions "AO55"*. Kent, Washington, United States: Seametrics. Retrieved from seametrics.com
- Seametrics. (2016). *WMP-Series*. Kent, Washington, United States: Seametrics Incorporated. Retrieved from www.seametrics.com
- Turck. (2016). *Instruction Manual*. Witzlebenstrabe, Mulheim an der ruhr, Germany: Hans Turck GmbH & Co.KG. Retrieved from www.turck.com

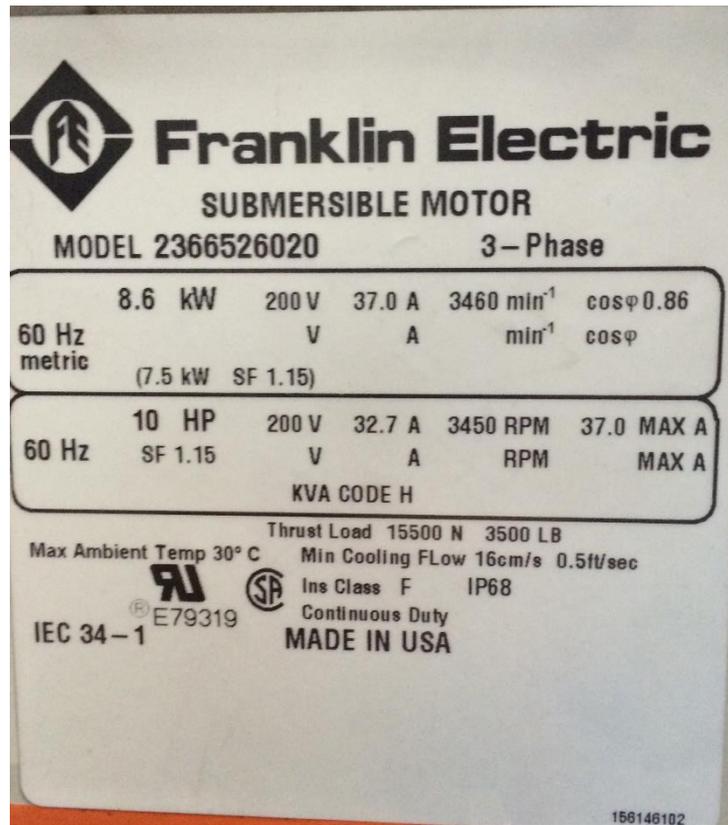
# Apéndices

## Apéndice 1. Diseño para la tapa frontal del Panel



Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

Apéndice 2. Datos de placa del Motor de la Bomba de Pozo Profundo



Fuente: Elaboración propia

# Anexos

## Anexo 1. Tabla para conocer el caudal de la bomba

### Model 90L

#### SELECTION CHART

Horsepower Range 5 – 30, Recommended Range 40 – 130 GPM, 60 Hz, 3450 RPM

Pump Model	Depth to Water in Feet/Ratings in GPM (Gallons per Minute)																											
	HP	PSI	25	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	800	900	1000	1100				
90L05 3 Stages	5	0		125	115	100	87	67																				
		20	115	102	90	75																						
		30	102	90	74																							
		40	91	73																								
		50	73																									
		60																										
90L07 5 Stages	7.5	0			125	117	112	105	97	90	68																	
		20	127	116	113	107	98	91	80	69																		
		30	119	113	107	98	91	80	69	50																		
		40	115	107	100	92	81	70	50																			
		50	107	100	92	81	70	50																				
		60	100	93	82	70	50																					
90L10 7 Stages	10	0				127	123	118	113	109	98	87	70															
		20		128	125	119	114	110	104	97	88	74																
		30	128	125	119	114	110	104	97	93	81	62																
		40	126	120	115	111	105	99	93	89	75	50																
		50	120	115	112	105	100	94	89	82	63																	
		60	115	112	106	100	94	89	82	75	50																	
90L15 11 Stages	15	0					130	127	125	123	117	112	105	98	91	82	70	50										
		20					127	125	124	120	118	112	106	99	91	82	73	55										
		30			127	125	124	120	118	115	108	103	95	87	78	65												
		40		128	126	124	120	118	115	113	107	99	91	83	73	57												
		50	128	127	124	121	118	116	113	109	103	95	87	78	67													
		60	127	124	121	118	116	113	109	107	100	92	83	73	57													
90L20 15 Stages	20	0						130	128	124	121	117	112	108	103	102	97	92	85	77	51							
		20						129	127	124	121	117	113	108	103	98	93	86	78	70								
		30					129	127	125	123	118	115	110	106	101	95	87	83	75	62								
		40				129	127	125	123	121	117	113	108	103	98	93	86	79	71	56								
		50			129	127	126	123	121	119	115	110	106	102	95	89	83	75	63									
		60		129	127	126	123	121	119	117	113	108	103	98	93	86	79	71	56									
90L25 19 Stages	25	0									128	126	123	120	117	113	110	106	102	98	88	77	55					
		20								128	127	124	121	117	113	111	107	103	99	94	84	67						
		30							128	125	122	118	116	112	108	104	102	97	92	80	62							
		40					129	127	126	123	121	117	113	111	107	103	99	94	90	77	57							
		50				129	127	126	125	122	119	116	112	108	104	102	97	92	87	75								
		60			129	128	126	125	123	121	117	113	110	107	103	99	94	90	84	68								
90L30 22 Stages	30	0									128	126	123	120	118	115	112	109	105	98	92	82	68					
		20								129	126	123	121	118	115	112	109	106	103	95	87	76	57					
		30							130	127	124	122	119	116	113	110	107	104	101	93	84	72	52					
		40						130	129	126	123	121	118	115	112	109	106	103	99	92	83	68						
		50					130	129	127	125	122	119	117	114	110	107	104	101	98	90	80	65						
		60				130	129	127	126	123	121	118	115	112	109	106	103	99	96	87	77	59						

Fuente: (Goulds Pumps, 2006)

**Anexo 2. Especificaciones del motor de la bomba de pozo**

**Franklin Electric Motors**

Single Phase Motors – Dimensions and Weights					
Motor Order No.	HP	Motor Dia.	Volts	Length (inches)	Weight (lbs)
S09940	3	4"	230	19.1	41
S09940HT	3	4"	230	22.2	55
S10940	5	4"	230	28.2	70
S11970	7.5	6"	230	28.0	125
S12970	10	6"	230	30.6	143
S13970	15	6"	230	33.1	156

Fuente: (Goulds Pumps, 2006)

**Anexo 3. Especificaciones del PLC Omron CP1L-EM**

CPU Unit	Specifications					Model	Standards
	CPU type	Power supply	Output method	Inputs	Outputs		
CP1L-EM CPU Units with 40 Points 	Memory capacity: 10K steps High-speed counters: 100 kHz, 4 axes Pulse outputs: 100 kHz, 2 axes (Models with transistor outputs only)	DC power supply	Relay output	24	16	CP1L-EM40DR-D	UC1, N, L, CE
			Transistor output (sinking)			CP1L-EM40DT-D	
			Transistor output (sourcing)			CP1L-EM40DT1-D	

Fuente: (Omron, 2014)

**Anexo 4. Especificaciones de los módulos de entradas analógicas de PLC's Omron**

Product name	Inputs	Outputs	Output type	Model	Standards	
Analog Input Unit 	4CH	--	Input range: 0 to 5 V, 1 to 5 V, 0 to 10 V, ±10 V, 0 to 20 mA, or 4 to 20 mA.	Resolution: 1/6000	CP1W-AD041	UC1, N, L, CE, KC
				Resolution: 1/12000	CP1W-AD042	

Fuente: (Omron, 2014)

## Anexo 5. Especificaciones del sensor ultrasónico Banner

### Specifications

#### Supply Voltage and Current

10 to 30 V dc (10% maximum ripple)  
100 mA max at 10 V, 40 mA max at 30 V (exclusive of load)

#### Sensing Range

200 mm to 8 m (8 inches to 26 feet)

#### Ultrasonic Frequency

75 kHz burst, rep. rate 96 ms

#### Supply Protection Circuitry

Protected against reverse polarity and transient overvoltages

#### Output Protection

Protected against short circuit conditions

#### Delay at Power-up

1.5 seconds

#### Analog Output Configuration (Voltage Sourcing: 0 to 10 V dc)

Minimum Load Resistance = 500 ohms  
Minimum Required Supply Voltage for Full 0-10 V Output Span =  
(1000/RLoad + 13) V dc

#### Analog Output Configuration (Current Sourcing: 4 to 20 mA)

Maximum Load Resistance = 1 k $\Omega$  or ( Vsupply/0.02 - 5) ohms,  
whichever is lower  
Minimum required supply voltage for full 4-20 mA output span = 10 V  
dc or [(RLoad  $\times$  0.02) + 5] V dc, whichever is greater.  
4 to 20 mA output calibrated at 25 °C with a 250  $\Omega$  load.

#### Temperature Effect

Uncompensated: 0.2% of distance/°C  
Compensated: 0.02% of distance/°C

#### Linearity

+/- 0.2% of span from 200 to 8000 mm  
+/- 0.1% of span from 500 to 8000 mm (1 mm minimum)

#### Resolution

1.0 mm

#### Output Response Time

100 ms to 2300 ms  
See DIP Switches 5 and 6

#### Minimum Window Size

20 mm

#### Adjustments

Sensing window limits: TEACH-Mode programming of near and far window limits may be set using the push buttons or remotely via TEACH input.

#### Indicators

Green Power On LED: Indicates power is ON  
Red Signal LED: Indicates target is within sensing range, and the condition of the received signal  
Teach/Output indicator (bicolor Amber/Red): Amber - Target is within taught limits; Flashing Amber - Target is outside taught window limits; Red - Sensor is in TEACH mode

#### Remote TEACH

To Teach: Connect gray or yellow wire to 0 to 2 V dc; impedance 12 k $\Omega$

#### Construction

Transducer: Ceramic/Epoxy composite  
Housing: ABS/Polycarbonate  
Membrane Switch: Polyester  
Lightpipes: Acrylic

#### Operating Conditions

Temperature: -20 °C to 70 °C (-4 °F to 158 °F)  
Maximum relative humidity: 100%

#### Connections

2 m (6.5 ft) or 9 m (30 ft) shielded 5-conductor (with drain) PVC jacketed attached cable or 5-pin Euro-style quick-disconnect or 5-pin Mini-style quick-disconnect

#### Environmental Rating

Leakproof design is rated IEC IP67; NEMA 6P

#### Vibration and Mechanical Shock

All models meet Mil Std. 202F requirements. Method 201A (vibration: 10 to 60Hz max., double amplitude 0.06", maximum acceleration 10G). Also meets IEC 947-5-2 requirements: 30G 11 ms duration, half sine wave

#### Temperature Warmup Drift

Less than 0.8% of sensing distance upon power-up with Temperature Compensation enabled (see Temperature Compensation)

#### Application Notes

Objects passing inside the specified near limit (200 mm) may produce a false response.

#### Certifications



Fuente: (Banner Engineering, 2016)

## Anexo 6. Especificaciones protocolos de comunicación FINS/UDP y FINS/TCP

Item	Specifications	
Number of nodes	254	
Message length	2,012 bytes max.	
Number of buffers	192	
Protocol name	FINS/UDP method	FINS/TCP method
Protocol used	UDP/IP	TCP/IP
Number of connections	---	16
Port number	9600 (default) Can be changed.	9600 (default) Can be changed.
Protection	No	Yes (Specification of client IP addresses when Unit is used as a server)
Other	Items set for each UDP port <ul style="list-style-type: none"> <li>• Broadcast</li> <li>• IP Address Conversion</li> </ul>	Items set for each connection <ul style="list-style-type: none"> <li>• Server/client specification</li> <li>• Remote IP address specification               <ul style="list-style-type: none"> <li>When client: Specify the IP address of the remote Unit (server).</li> <li>When server: Specify IP addresses of clients permitted to connect.</li> </ul> </li> <li>• Automatic FINS node address allocation:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Specify automatic allocation of client FINS node addresses.</li> </ul> </li> <li>• Keep-alive:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Specify whether remote node keep-alive is to be used.</li> </ul> </li> </ul> TCP/IP Setting <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remote node keep-alive time</li> </ul>
Internal table	This a table of correspondences for remote FINS node addresses, remote IP addresses, TCP/UDP, and remote port numbers. It is created automatically when power is turned ON to the PLC or when the Ethernet Unit is restarted, and it is automatically changed when a connection is established by means of the FINS/TCP method or when a FINS command received. <p>The following functions are enabled by using this table.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IP address conversion using the FINS/UDP method</li> <li>• Automatic FINS node address conversion after a connection is established using the FINS/TCP method</li> <li>• Automatic client FINS node address allocation using the FINS/TCP method</li> <li>• Simultaneous connection of multiple FINS applications</li> </ul>	

Fuente: (Omron, 2016)

## Anexo 7. Códigos de comandos FINS utilizados en la interfaz

Type	Command code		Name	Function
	MR	SR		
I/O memory area access	01	01	MEMORY AREA READ	Reads the contents of consecutive I/O memory area words.
	01	02	MEMORY AREA WRITE (See note.)	Writes the contents of consecutive I/O memory area words.
	01	03	MEMORY AREA FILL (See note.)	Writes the same data to the specified range of I/O memory area words.
	01	04	MULTIPLE MEMORY AREA READ	Reads the contents of specified non-consecutive I/O memory area words.
	01	05	MEMORY AREA TRANSFER (See note.)	Copies the contents of consecutive I/O memory area words to another I/O memory area.
Parameter area access	02	01	PARAMETER AREA READ	Reads the contents of consecutive parameter area words.
	02	02	PARAMETER AREA WRITE (See note.)	Writes the contents of consecutive parameter area words.
	02	03	PARAMETER AREA FILL (CLEAR) (See note.)	Clears the specified range of parameter area words.
Program area access	03	06	PROGRAM AREA READ	Reads the UM (User Memory) area.
	03	07	PROGRAM AREA WRITE (See note.)	Writes to the UM (User Memory) area.
	03	08	PROGRAM AREA CLEAR (See note.)	Clears a specified range of the UM (User Memory) area.
Operating mode changes	04	01	RUN (See note.)	Changes the CPU Unit's operating mode to RUN or MONITOR.
	04	02	STOP (See note.)	Changes the CPU Unit's operating mode to PROGRAM.
Machine configuration reading	05	01	CPU UNIT DATA READ	Reads CPU Unit data.
	05	02	CONNECTION DATA READ	Reads the model numbers of the device corresponding to addresses.
Status reading	06	01	CPU UNIT STATUS READ	Reads the status of the CPU Unit.
	06	20	CYCLE TIME READ	Reads the maximum, minimum, and average cycle time.
Time data access	07	01	CLOCK READ	Reads the present year, month, date, minute, second, and day of the week.
	07	02	CLOCK WRITE (See note.)	Changes the present year, month, date, minute, second, or day of the week.

Fuente: (Omron, 2016)

## Anexo 8. Tipos de datos numéricos utilizados en LabVIEW

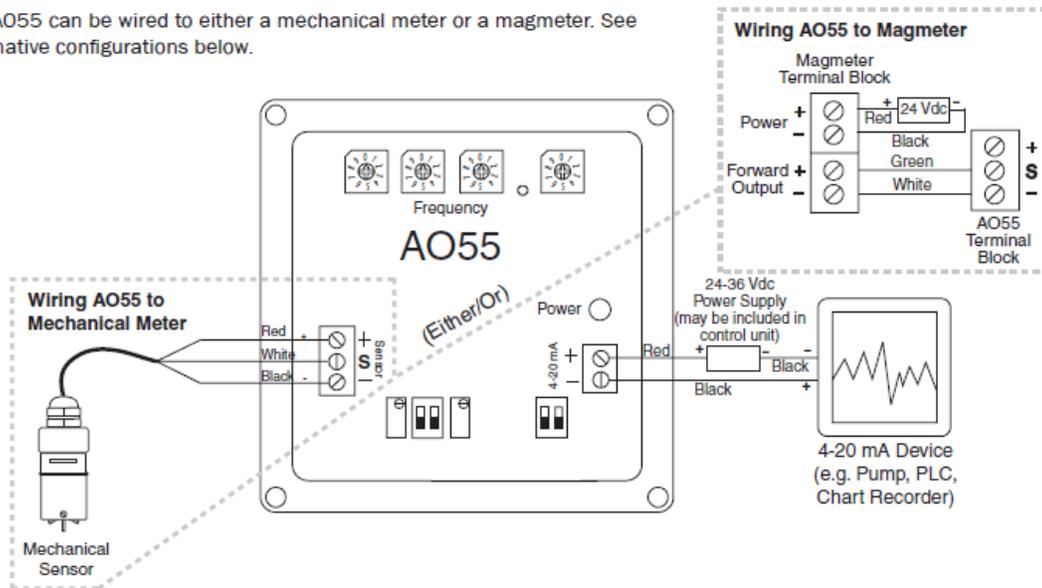
Terminal	Numeric Data Type	Bits of Storage on Disk	Approximate Number of Decimal Digits	Approximate Range
	Single-precision, floating-point	32	6	Minimum positive number: 1.40e-45 Maximum positive number: 3.40e+38 Minimum negative number: -1.40e-45 Maximum negative number: -3.40e+38
	Double-precision, floating-point	64	15	Minimum positive number: 4.94e-324 Maximum positive number: 1.79e+308 Minimum negative number: -4.94e-324 Maximum negative number: -1.79e+308
	Extended-precision, floating-point	128	varies from 15 to 20 by platform	Minimum positive number: 6.48e-4966 Maximum positive number: 1.19e+4932 Minimum negative number: -6.48e-4966 Maximum negative number: -1.19e+4932
	Complex single-precision, floating-point	64	6	Same as single-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Complex double-precision, floating-point	128	15	Same as double-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Complex extended-precision, floating-point	256	varies from 15 to 20 by platform	Same as extended-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Fixed-point	64, or 72 if you include an overflow status	varies by user configuration	varies by user configuration
	Byte signed integer	8	2	-128 to 127
	Word signed integer	16	4	-32,768 to 32,767
	Long signed integer	32	9	-2,147,483,648 to 2,147,483,647
	Quad signed integer	64	18	-1e19 to 1e19
	Byte unsigned integer	8	2	0 to 255
	Word unsigned integer	16	4	0 to 65,535
	Long unsigned integer	32	9	0 to 4,294,967,295
	Quad unsigned integer	64	19	0 to 2e19
	128-bit time stamp	128	19	Minimum time: 01/01/1600 00:00:00 UTC maximum time: 01/01/3001 00:00:00 UTC

Fuente: (National Instrument Corporation, 2014)

## Anexo 9. Diagrama de conexión del sensor de flujo al convertidor de pulsos

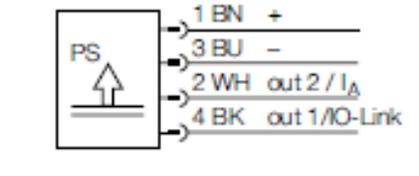
### CONNECTIONS

The AO55 can be wired to either a mechanical meter or a magmeter. See alternative configurations below.



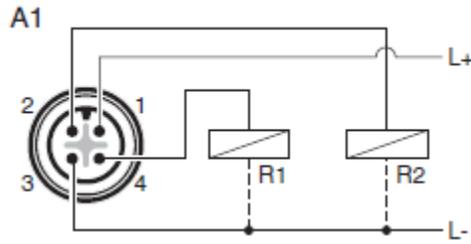
Fuente: (Seametrics, 2016)

## Anexo 10. Diagrama de conexión del transmisor de presión marca Turck



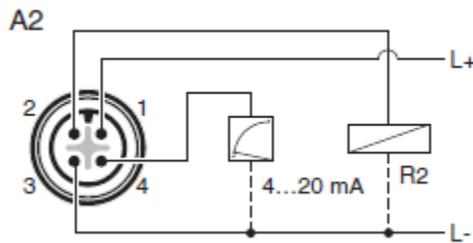
Fuente: (Turck, 2016)

**Anexo 11. Diagrama de conexión del switch de flujo marca Allen- Bradley**



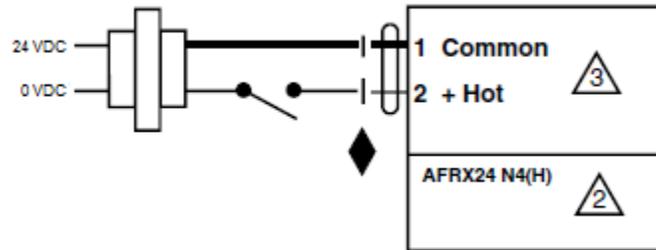
Fuente: (Rockwell Automation, 2012)

**Anexo 12. Diagrama de conexión del sensor de velocidad marca Allen-Bradley**



Fuente: (Rockwell Automation, 2012)

**Anexo 13. Diagrama de conexión de la electroválvula marca Béliimo**



Fuente: (Béliimo, 2016)

## Anexo 14. Cotización del PLC Omron




[Enlarge](#)

Images are for reference only  
See Product Specifications

**Mouser Part #:** 653-CP1LEM40DRD

**Manufacturer Part #:** CP1L-EM40DR-D

**Manufacturer:** [Omron Automation and Safety](#)

**Description:** Controllers CP1L-E CPU 24 In 16 Out DC Ethernet

[CP1L-EM40DR-D Datasheet](#)

**Real Time Availability**

**Stock:** 1 Can Ship Immediately

**On Order:** 0

**Factory Lead-Time:** 2 Weeks

[Add to Compare List](#)

[Share](#) | [f](#) | [G+](#) | [0](#)

**Specifications**

**Documents (1)**

**My Notes**

<b>Product Category:</b>	Controllers	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Manufacturer:</b>	Omron	<input type="checkbox"/>
<b>RoHS:</b>	No	
<b>Type:</b>	Programmable Relays - CPU Unit	<input type="checkbox"/>
<b>Display Type:</b>	LCD	<input type="checkbox"/>
<b>Operating Supply Voltage:</b>	24 VDC	<input type="checkbox"/>
<b>Mounting:</b>	DIN Rail	<input type="checkbox"/>
<b>Size:</b>	150 mm x 90 mm x 85 mm	<input type="checkbox"/>
<b>Brand:</b>	Omron Automation and Safety	
<b>Features:</b>	With embedded ethernet port	
<b>Number of Inputs:</b>	24	
<b>Number of Outputs:</b>	16	
<b>Output Type:</b>	Relay	
<b>Packaging:</b>	Bulk	
<b>Factory Pack Quantity:</b>	1	

**Enter Quantity:**

[Buy](#) Minimum: 1 Multiples: 1

**Pricing (USD)**

1: \$835.78

5: \$827.92

10: \$815.47

25: [Quote](#)

To add to a project, please [Log In](#).

## Anexo 15. Cotización de los módulos de entradas analógicas Omron



**Mouser Part #:**

**Manufacturer Part #:**

**Manufacturer:**

**Description:**

653-CP1W-AD041

CP1W-AD041

Omron Automation and Safety

Controllers 4 Pt A/D CP1 Exp.

[Enlarge](#)

Images are for reference only  
See Product Specifications

**Real Time Availability**

<b>Stock:</b>	2 Can Ship Immediately
<b>On Order:</b>	0
<b>Factory Lead-Time:</b>	2 Weeks

[Add to Compare List](#)

[Share](#) | [Email](#) | [Facebook](#) | [Google+](#) | [0](#)

**Specifications**

**My Notes**

<b>Product Category:</b>	Controllers	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Manufacturer:</b>	Omron	<input type="checkbox"/>
<b>RoHS:</b>	 <a href="#">Details</a>	
<b>Analog / Digital:</b>	Analog	<input type="checkbox"/>
<b>Type:</b>	Expansion Module	<input type="checkbox"/>
<b>Operating Supply Voltage:</b>	10 V	<input type="checkbox"/>
<b>Mounting:</b>	DIN Rail	<input type="checkbox"/>
<b>Size:</b>	90 mm x 86 mm x 50 mm	<input type="checkbox"/>
<b>Brand:</b>	Omron Automation and Safety	
<b>Number of Inputs:</b>	4	
<b>Packaging:</b>	Bulk	
<b>Factory Pack Quantity:</b>	1	

[Show Similar](#)

**Enter Quantity:**

Buy

Minimum: 1

Multiples: 1

**Pricing (USD)**

1:	\$493.50
5:	\$487.12
10:	\$480.75
25:	\$474.75
50:	<a href="#">Quote</a>

To add to a project, please [Log In](#).

**Anexo 16. Cotización del sensor convertidor de salida de flujo marca Seametrics**

**SAUBER**

Bodegas Terrum, N°62  
 Costado Este del  
 Hampton Inn & Suites  
 Río Segundo, Alajuela 20109  
 CR  
 (506) 4000-0625  
 info@thinksauber.com  
 http://www.thinksauber.com  
 I.V. Registration No.: 3-101-635353



SOLUCIONES DE INGENIERÍA EVOMECH S.A.  
 CÉDULA JURÍDICA: 3-101-635353

**ESTIMATE**

**ADDRESS**

Timprot (USD)  
 Trimpot Electronicas Ltda.  
 (USD)  
 239, San Antonio de Belen  
 40701, Costa Rica  
 Tax Registration No. 3-102-  
 038603

**ESTIMATE NO. 1827**

**DATE 08/08/2016**

ACTIVITY	QTY	RATE	TAX	AMOUNT
<b>Ventas Gravadas</b> WMP101-300 Plastic Bodied In-Line Magmeter, DC Powered, 3"	2	1,185.00	I.V.	2,370.00
<b>Ventas Gravadas</b> Plastic Bodied In-Line Magmeter, DC Powered, 2"	1	982.00	I.V.	982.00
<b>Ventas Gravadas</b> Blind 4-20 mA Converter, Analog Transmitter, Wall Mount	3	390.00	I.V.	1,170.00

Contacto:  
 info@thinksauber.com / +(506) 4000-0625  
 Para transferencias de fondos SCOTIABANK COSTA RICA  
 Soluciones de Ingeniería EvoMech S.A.  
 C.C. 12300130005065001 (colones)  
 C.C. 12300130005065018 (dólares)

<b>SUBTOTAL</b>	4,522.00
<b>TAX</b>	587.86
<b>TOTAL</b>	<b>USD 5,109.86</b>

**TAX SUMMARY**

RATE	USD TAX	CRC TAX	CRC NET
I.V. @ 13%	587.86	322,300.12	2,479,231.72

## Anexo 17. Cotización del sensor ultrasónico marca Banner

### Banner Engineering QT50ULBQ6

Products > Sensors, Switches & Relays > Sensors > Photoelectric Sensors > QT50ULBQ6  
 View More [Banner Engineering Sensors >>](#)



View larger image

Image may be a representation.  
 See specs for product details.



SENSOR, SENSOR, M&I, QT50U ANALOG SERIES, PROXIMTY  
 MODE, RANGE 200MM

Mfr. Part#: QT50ULBQ6  
 Allied Stock#: 70168549

RoHS Compliant Part

Quantity

Add to Cart



#### Resources

- Datasheet
- Catalog Page #505

[View More from Banner Engineering >>](#)

#### Pricing (USD) & Availability

##### Standard Pricing

**\$600.95** (Each)  
 1 \$600.950

##### Availability

0 can ship immediately.

[Request Lead Time](#)

Minimum Quantity: 1 | Multiples Of: 1

### Specifications

Alternate Mfr Part Number	: 02728
Brand/Series	: QT50U Series
Primary Type	: Photoelectric Sensor

## Anexo 18. Cotización de las boyas de nivel

### DISTRIBUIDORA TECNICA S.A.

Ced. 3-101-038605-05  
 CARRETERA INTERAMERICANA  
 ENTRADA A CARTAGO, B. LA LIMA  
 2573-5757, FAX:2573-7800  
 e-mail: info@ditesacr.com  
 www.ditesacr.com

COTIZACION 13PE7183

09/11/2016



Cliente: T022 TRIMPOT ELECTRONICA LTDA

Tel: 298-3800

Plazo 30 Días INTERRUPTOR FLOTADOR

Codigo	Cantidad	UN	Descripcion	Precio Un	Total
0024022	2.00	UN	INTERRUPTOR FLOTADOR MT10 CABLE 5MTS	21.09	42.18

**\*\*Nota: Precios sujetos a cambios sin previo aviso. Validez de la oferta 8 Días. Descuentos se aplican por pagos en efectivo.**

**No se aceptan devoluciones por cable cortado y de articulos contra pedido.**

Banco Nacional Cta: 100-01-075-005300-9 CC: 15107510010053001

Observaciones: **\*\*ENTREGA INMEDIATA\*\***

Subtotal: \$ 42.18

I.V. \$ 0.00

**TOTAL \$ 42.18**

Vendedor 116 CESAR BRENES - URUCA



## Anexo 19. Cotización del Transmisor de presión marca Turck


THINK ALLIED™



Cart (2)

All Products ▾ Manufacturers My Account ▾ Quick Order ▾ Orders ▾

### TURCK PS010V-301-LI2UPN8X-H1141

Products > Sensors, Switches & Relays > PS010V-301-LI2UPN8X-H1141

NEW AT ALLIED

Image may be a representation.  
See specs for product details.

**Sensor, Pressure Transmitter, -1 to 10 bar rel, 10-30VDC, G1/4", M6833304**

Mfr. Part#: PS010V-301-LI2UPN8X-H1141  
Allied Stock#: 70927664

RoHS Compliant Part

Quantity

Add to Cart

Resources

[View More from TURCK >>](#)

Pricing (USD) & Availability

Standard Pricing

**\$405.99** (Each)

1      \$405.990

Availability

0 can ship immediately.

[Request Lead Time](#)

Minimum Quantity: 1 | Multiples Of: 1

## Anexo 20. Cotización del interruptor de flujo marca Allen-Bradley

400m Norte de RapiFRENO,  
La Uruca, San José, Costa Rica  
Cedula Jurídica: 3-101-020826  
Tel (506) 2242 9900  
Fax (506) 2520 0697  
www.elvatron.com

Cotización: **P10-9B16R1**    Versión: **1**

**09/08/2016**

Asunto:    **SENSOR DE FLUJO (OPCION NPN)**

Cliente:    **TRIMPOT ELECTRONICAS LTDA**

Dirección:    **San Antonio de Belén.**

Condición de pago:    **Crédito a 30 días**

Válido Hasta:    **17/08/2016 12:00:00a.m.**

Contacto:    **Grettel Cordero Navarro**

Teléfono:    **506 2298-3863**

E-mail:    **grettel.cordero@bourns.com**

Vendedor:    **Lorena Carranza**

Teléfono:    **22429943**      Celular:    **ND**

E-mail:    **lorena.carranza@elvatron.com**      Fax:    **25200697**

Lin.	Artículo	Descripción	Cant.	T. Entrega	Precio Uni.	Total Línea
1	839EDA1BA2A3D4	SOLID STATE FLOW SWITCH	1	2-3 SEMANAS	\$ 394.32	\$ 394.32
2	889DF4AC8	889D DCMICRO CORDSET/PATCHCORD	1	2-3 SEMANAS	\$ 24.61	\$ 24.61

Sub Total:      **\$ 418.93**

Imp. Venta:      **\$ 54.46**

Total:      **\$ 473.39**

Importante: Nos reservamos el derecho de venta previa. Los precios cotizados son los vigentes a la fecha y están sujetos a cambios sin previo aviso. La oferta se limita a proveer el producto listado, no a los usos que se le de al mismo o beneficios deseados. Todo crédito está sujeto a aceptación expresa de la jefatura del Departamento de Contabilidad de Elvatron S.A. Los precios ofertados son considerados EXW Bodega ELVATRON S.A. 400 Norte de Rapi Freno, en la Uruca, San José, Costa Rica. Las garantías están sujetas a las políticas del fabricante, ver políticas de cambios y devoluciones en [www.elvatron.com](http://www.elvatron.com)

Ila

## Anexo 21.Cotización del sensor de velocidad marca Allen Bradley

	400m Norte de Rapifreno, La Uruca, San José, Costa Rica Cedula Juridica: 3-101-020826 Tel (506) 2242 9900 Fax (506) 2520 0697 www.elvatron.com	Cotización: <b>P10-9B14A0</b> Versión: <b>1</b>																					
	<b>09/08/2016</b>																						
Asunto: <b>SENSOR DE FLUJO (OPCION 1 SALIDA 4..20MA)</b> Cliente: <b>TRIMPOT ELECTRONICAS LTDA</b> Dirección: <b>San Antonio de Belén.</b>																							
Condición de pago: <b>Crédito a 30 días</b>	Válido Hasta: <b>17/08/2016 12:00:00a.m.</b>																						
Contacto: <b>Grettel Cordero Navarro</b> Teléfono: <b>506 2298-3863</b> E-mail: <b>grettel.cordero@bourns.com</b>	Vendedor: <b>Lorena Carranza</b> Teléfono: <b>22429943</b> Celular: <b>ND</b> E-mail: <b>lorena.carranza@elvatron.com</b> Fax: <b>25200697</b>																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lin.</th> <th>Articulo</th> <th>Descripción</th> <th>Cant.</th> <th>T. Entrega</th> <th>Precio Uni.</th> <th>Total Linea</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>839EDC1BA2A3D4</td> <td>SOLID STATE FLOW TRANSMITTER</td> <td>1</td> <td>2-3 SEMANAS</td> <td>\$ 513.36</td> <td>\$ 513.36</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>889DF4AC8</td> <td>889D DCMICRO CORDSET/PATCHCORD</td> <td>1</td> <td>2-3 SEMANAS</td> <td>\$ 24.61</td> <td>\$ 24.61</td> </tr> </tbody> </table>			Lin.	Articulo	Descripción	Cant.	T. Entrega	Precio Uni.	Total Linea	1	839EDC1BA2A3D4	SOLID STATE FLOW TRANSMITTER	1	2-3 SEMANAS	\$ 513.36	\$ 513.36	2	889DF4AC8	889D DCMICRO CORDSET/PATCHCORD	1	2-3 SEMANAS	\$ 24.61	\$ 24.61
Lin.	Articulo	Descripción	Cant.	T. Entrega	Precio Uni.	Total Linea																	
1	839EDC1BA2A3D4	SOLID STATE FLOW TRANSMITTER	1	2-3 SEMANAS	\$ 513.36	\$ 513.36																	
2	889DF4AC8	889D DCMICRO CORDSET/PATCHCORD	1	2-3 SEMANAS	\$ 24.61	\$ 24.61																	
					Sub Total:	\$ 537.97																	
					Imp. Venta:	\$ 69.94																	
					Total:	\$ 607.91																	

Importante: Nos reservamos el derecho de venta previa. Los precios cotizados son los vigentes a la fecha y estan sujetos a cambios sin previo aviso. La oferta se limita a proveer el producto listado, no a los usos que se le de al mismo o beneficios deseados. Todo crédito está sujeto a aceptación expresa de la jefatura del Departamento de Contabilidad de Elvatron S.A. Los precios ofertados son considerados EXW Bodega ELVATRON S.A, 400 Norte de Rapi Freno, en la Uruca, San José, Costa Rica. Las garantías estan sujetas a las políticas del fabricante, ver políticas de cambios y devoluciones en [www.elvatron.com](http://www.elvatron.com)

Anexo 22.Cotización de la electroválvula Bélimo



☎ (506)2589-5050 ☎ (506)2293-0058 ☐ www.sica.co.cr  
 San Rafael de Alajuela, Ofibodegas Milano (Bodega #5)

FECHA 19-Aug-2016  
 COTIZACION NO. 52574-A

Atención: **Cristopher González**  
 Compañía: **Trimpot Electronicas LTDA**  
 Proyecto: **Válvula de control**

Fabricante: **Belimo**  
 Asesor: **Gabriel Chaves**  
 País: **Costa Rica**  
 Término de entrega: **FOB Miami**  
 Tiempo de entrega: **1.5-2 Semanas**

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
1	Válvula de control, modelo <b>B249</b> , de 2 vías de 2", con actuador tipo ON/OFF modelo <b>AFRX24 N4</b> , 24 V, NEMA 4, Spring Return, CV=46, NC.	\$518.00	\$518.00
<p><b>Nota:</b>                      Precios válidos por cantidades especificadas.</p>			
		Sub-total	\$518.00

\*\*\*  
 Notas:

**Total** \$518.00

Anexo 23. Cotización de la fuente de 24 VDC marca Omron

**DISTRIBUIDORA TECNICA S.A.**

Ced. 3-101-038605-05  
 CARRETERA INTERAMERICANA  
 ENTRADA A CARTAGO, B. LA LIMA  
 2573-5757, FAX:2573-7800  
 e-mail: info@ditesacr.com  
 www.ditesacr.com

**COTIZACION 13PE7002**

**27/10/2016**



**Cliente: T022 TRIMPOT ELECTRONICA LTDA**

Tel: 298-3800

Plazo	Código	Cantidad	UN	Descripción	Precio Un	Total
30 Días	1S8VKG12024	1.00	UN	FUENTE PODER, 100-240VAC/24VDC, 120W, 5A, S8VKG12024	93.13	93.13

**\*\*Nota: Precios sujetos a cambios sin previo aviso. Validez de la oferta 8 Días. Descuentos se aplican por pagos en efectivo.**

**No se aceptan devoluciones por cable cortado y de artículos contra pedido.**

Banco Nacional Cta: 100-01-075-005300-9 CC: 15107510010053001

Observaciones: **\*\*ENTREGA INMEDIATA\*\***

		Subtotal:	\$ 93.13
		I.V.	\$ 0.00
Vendedor 116	CESAR BRENES - URUCA	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 93.13</b>



## Anexo 24. Cotización de relé con bobina de 24 VDC

OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION G2R-2-SND 24DC Relevador de Potencia, Serie G2RS, DPDT, 24 VDC, 5 A, Hembra, Sin Enclavamiento

★★★★★ [Escriba Una Reseña](#) [Hacer Una Pregunta](#)



La imagen solo tiene fines ilustrativos. Consulte la descripción del producto.



Technical Data Sheet (820.16KB) EN  
[Ver todos los documentos técnicos](#)

**OMRON**

Fabricante: OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION  
No. Parte Newark: 1430623  
No. Parte Fabricante: G2R-2-SND 24DC

**169 en stock**

169 en stock para envío el mismo día

[vea los plazos de pedido](#) [Consulte existencias y plazos de entrega...](#)

**\$15.60**

[Comparte esta página](#)

Precio para: Each

Cantidad mínima de orden: 1

Pedir cantidades múltiples: 1

Cantidad

[Comprar](#)

Resumen del producto

## Anexo 25. Cotización de las tuberías y elementos mecánicos



**FACTURA PROFORMA # 72550**

**Cliete:** TRIMPOT ELECTRONICA LTDA

**Dirección:** RIO SEGUNDO ALAJUELA

**Telefono:**

**Vendedor:** WILBERTH MAYORG

**Fecha:** Viernes 4 de Noviembre de 2016

**Atencion:**

**Envio:**

**Direccion:**

Cant.	Codigo	Descripcion	Disc.	Precio	Total
1.0	PVC-1111-005	TUBO PVC 50MM SDR 17 (250PSI) 2"x6MTS VERDE	E	13,524.84	13,524.84
4.0	PVC-1159-006	UNION LISA PVC 50MM 2" PRESION	E	599.88	2,399.52
2.0	PVC-1189-006	TEE LISA PVC 50MM 2" PRESION	E	1,261.26	2,522.52
4.0	PVC-1155-013	REDUCCION LISA PVC 50X25MM (2X1) D-E	E	913.06	3,652.24
2.0	PVC-1167-006	ADAPTADOR MACHO PVC 50MM (2)	E	639.21	1,278.42
4.0	PVC-1177-003	CODO LISO PVC 25MM 1X90°	E	333.91	1,335.64
4.0	PVC-1159-003	UNION LISA PVC 25MM 1"	E	225.94	903.76
4.0	PVC-1189-003	TEE LISA PVC 25MM 1"	E	415.42	1,661.68
4.0	PVC-1197-101	LLAVE BOLA PVC LISA 25MM 1" DURMAN	E	1,656.25	6,625.00
7.0	PVC-1187-006	SILLETA C/ROSCA PVC 75X12MM (3-1/2)	E	5,950.00	41,650.00
1.0	PVC-1245-010	PEGAMENTO PVC WET DRY LANCO 1/4 SM248-S	E	7,521.95	7,521.95

**SubTotal 83,075.57**

**Descuento 0.00**

**Impuesto 0.00**

**Total 83,075.57**

(Precios sujetos a cambio sin previo aviso)

**Observaciones:**

04/11/2016 09:10:20

CUALQUIER CONSULTA EN PRECIOS Y/O ARTICULOS NO DUDE EN COMUNICARSE CON NOSOTROS.  
GRACIAS POR PREFERIRNOS.

Anexo 26. Cotización de placas de aluminio anodizado para el panel



29 Septiembre 2016

Señor:  
de Trimpot Electrónicas Ltda.  
Correo: [cristophergn21@gmail.com](mailto:cristophergn21@gmail.com)

**PROFORMA C 212-16**

Presente  
Estimado señor:  
Le saludo y a la vez le cotizo.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	TOTAL
2	Placas de metal sublimada color plateada con letras negras de 45mm*160 mm y 1 de 30 * 160con adhesivo.	€3.500	€7.000
2	Placa de metal sublimada en color plateada con letras negras de 25 mm*160 mm con adhesivo.	€2.350	€4.700
3	Placa de metal sublimada en color plateada con letras negras de 45 mm*90 mm con adhesivo.	€2.000	€6.000
5	1 Placa de metal sublimada en color plateada con letras negras de 25 mm* 70 mm, y 4 de 20 * 55 mm, con adhesivo	€1.800	€9.000

**TOTAL GENERAL € 26.700**

**PRECIOS SIN IMPUESTOS, FAVOR MANDAR CARTA DE EXONERACION.**

Validez de la Oferta: 15 días hábiles.

Formas de pago: 50% por adelanto y 50% contra entrega.

Tiempo de entrega: 3 días hábiles una vez aprobados los artes.

Para pagos por transferencia: BCR: Cuenta corriente en colones 001-195941-7, Cuenta cliente: 15201001019594171 (17 dígitos).

Cinthy Mata Campos  
Repsell Internacional.  
2290-43-90// 8815-3741





# CERTIFICATE

**TUV USA Inc.**

hereby certifies that

**Seattle Metrics, Inc. dba Seametrics, Inc.**

**19026 72<sup>nd</sup> Ave South  
Kent, WA 98032 USA**

has established and applies a quality system for

**Designing and Manufacturing (including Contract Manufacturing)  
Fluid Flow Metering Instruments and Water Quality and Level  
Measurement Instruments including Accessories.**

Proof has been furnished that the requirements according to

**ISO 9001:2008**

are fulfilled.

Further clarifications regarding the scope of this certificate and the applicability of ISO 9001:2008 requirements may be obtained by consulting the organization.

**Certificate Registration No.**

**15-1755**

**Effective: October 20, 2015**

**Expires: October 19, 2018**

**Date of Issue: August 7, 2015**

  
Quality Systems Division  
215 Main Street, Suite 3  
Salem, NH 03079 USA



Fuente: (Seametrics, 2016)