# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

# REDISEÑO DE UN HMI DEL TERMINAL DE GLP UBICADO EN OYAMBARO PERTENECIENTE A EP PETROECUADOR

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**HENRY DANIEL CHILIQUINGA RIVAS**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS RIVERA**

**Quito, Mayo 2016**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016
Reservados todos los derechos de reproducción

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO | |
|---|---|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 172464936-1 |
| APELLIDO Y NOMBRES: | Chiliquinga Henry Daniel |
| DIRECCIÓN: | Vía colectora 9 "El Garrochal" S57-142 |
| EMAIL: | henryantcrist@hotmail.com |
| TELÉFONO FIJO: | 022692654 |
| TELÉFONO MOVIL: | 09844665044 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|---|---|
| TITULO: | REDISEÑO DE UN HMI DEL TERMINAL DE GLP UBICADO EN OYAMBARO PERTENECIENTE A EP PETROECUADOR |
| AUTOR O AUTORES: | Henry Daniel Chiliquinga Rivas |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 31-05-2016 |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | Ing. Juan Carlos Rivera |
| PROGRAMA | PREGRADO [x] POSGRADO [ ] |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero Mecatrónico |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras | El actual trabajo describe el proceso de rediseño de un HMI (Human Machine Interface) que se define como una interfaz hombre - máquina. A medida que los sistemas van creciendo en complejidad, los sistemas de control deben estar en la capacidad de responder eficientemente a esos cambios; considerando que es de suma importancia las actualizaciones de instrumentación, infraestructura obtenida en campo, actualizaciones desarrolladas en el diseño de sistemas de control a nivel de normalización, para obtener un lenguaje internacional que permita reconocer símbolos, procesos, instrumentos, |

| | |
|---|---|
| | elementos mecánicos y otorgar así una comunicación estándar.<br>Es por ello que se ha propuesto el rediseño de la interfaz permitiendo una mayor interacción con el operador, mediante una visualización completa de la estación que habilita el acceso a cada elemento de control que esta posee, a través del uso de pantallas exclusivas para la operación, visualización del proceso, alarmas, históricos, guías de procesos, etc. Esta interfaz cumple satisfactoriamente los requisitos preestablecidos por los usuarios tanto en funcionamiento, lectura de datos, modos de operación y niveles de acceso dentro de la estación. Muestra además las distintas áreas que la estación posee permitiendo el monitoreo y control de los procesos de recepción desde el poliducto Shushufindi-Quito hasta le estación de GLP en Oyambaro; también permite, el almacenamiento del GLP en las distintas esferas presurizadas al igual que la transferencia del GLP entre esferas.<br>La interfaz está en la capacidad de permitir el control del despacho del GLP hacia las distintas comercializadoras y auto tanques, además de la re-licuefacción del GLP. El monitoreo y control se los ejecuta ya sea individualmente o a la par mediante un panel principal, el cual permite visualizar conjuntamente estas operaciones. El rediseño de esta interfaz muestra un avance en cuanto al diseño de los sistemas de monitoreo y control. |
| PALABRAS CLAVES: | HMI |

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

| | |
|---|---|
| | PETROECUADOR<br>GLP |
| ABSTRACT: | The present work describes the redesigning process of a HMI (Human Machine Interface) which is defined as a man - machine interface. As the systems grow in complexity, the control systems must be able to respond effectively to these changes. That is why, it is important to update the tools, the infrastructure build in the field, and the updates about the design control according to a standardization level, in order to get an international language that allows people to recognize, processes, tools, mechanical parts. These changes must be able to provide a standard communication.<br>For this reason, it has been proposed the redesign of the interface allowing a high interaction with the operator through a complete display of the station that enables access to each element of control that this has, through the use of exclusive screens for operation, process visualization, alarms, historical, process guides, etc. This interface satisfactorily fulfill the requirements preestablished by the users during the running of the system, reading data, operating modes and levels of access within the station. It also shows the different areas that owns the station, letting visualizing and monitoring the control processes reception from the Shushufindi-Quito pipeline until Oyambaro LPG station. It also allows to storage of LPG in various |

| | |
|---|---|
| | pressurized spheres or even to transfer it between them.<br>This interface will be able to control the process to dispatch the LPG to different trading places or tank trucks, even it will control the re-liquefaction process of LPG. The monitoring and control are executed individually or at the same time by a main panel, which allows display these operations together. The redesign of the interface shows a progress in the design of monitoring and control systems. |
| KEYWORDS | HMI<br>PETROECUADOR<br>GLP |

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:_____

CHILIQUINGA RIVAS HENRY DANIEL

172464936-1

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Chiliquinga Rivas Henry Daniel,** CI 172464936-1 autor del proyecto titulado: **Rediseño de un HMI del terminal de GLP ubicado en Oyambaro perteneciente a EP PETROECUADOR** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Mecatrónica** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito,31 de mayo de 2016

f:_____

CHILIQUINGA RIVAS HENRY DANIEL

172464936-1

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

Quito,31 de Mayo del 2016

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Andrade Moreano Francisco Javier** con cédula de identidad N.- 171488075-2 en calidad de Supervisor de Mantenimiento Eléctrico de EP PETROECUADOR, autorizo a **Henry Daniel Chiliquinga Rivas,** realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación "REDISEÑO DE UN HMI DEL TERMINAL DE GLP UBICADO EN OYAMBARO PERTENECIENTE A EP PETROECUADOR.", basada en la información proporcionada por la compañía.

EMPRESA PUBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR
EP PETROECUADOR
INTENDENCIA DE TERMINALES Y DEPOSITOS NORTE
MANTENIMIENTO DE TERMINALES

f:_____

ANDRADE MOREANO FRANCISCO JAVIER

171488075-2

# DECLARACIÓN

Yo Henry Daniel Chiliquinga Rivas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Henry Chiliquinga.

C.C. 172464936-1

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Rediseño de un HMI del terminal de GLP ubicado en Oyambaro perteneciente a EP PETROECUADOR.”, para aspirar al título de Ingeniero Mecatrónico fue desarrollado por Henry Chiliquinga, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

Ing. Juan Carlos Rivera

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.C. 050137382-3

Quito, 29 de Mayo del 2016

# CERTIFICADO

Por medio del presente certifico que el Sr. **Henry Daniel Chiliquinga Rivas**, portador de la cédula de identidad número 172464936-1, estudiante de la Universidad Tecnológica Equinoccial de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, culminó el proyecto con el tema de titulación: **"REDISEÑO DE UN HMI DEL TERMINAL DE GLP UBICADO EN OYAMBARO PERTENECIENTE A EP PETROECUADOR",** el mismo que cumple con los requerimientos y alcances establecidos.

El señor puede hacer uso de este certificado para los fines que considere pertinentes.

Atentamente

EMPRESA PÚBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR
EP PETROECUADOR
INTENDENCIA DE TERMINALES Y DEPOSITOS NORTE
MANTENIMIENTO DE TERMINALES

Ing. Francisco Andrade

Supervisor de Terminal Beaterio

# DEDICATORIA

A las personas que me apoyan incondicionalmente.

# AGRADECIMEINTO

A mis padres, amigos y familiares por darme la oportunidad de ser cada día mejor.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

**PÁGINA**

**RESUMEN** ..... viii

**ABSTRACT** ..... ix

**1. INTRODUCCIÓN** ..... 1

**2. MARCO TEÓRICO**

2.1 ESTACIÓN DE GLP OYAMBARO ..... 3
2.2 SISTEMAS DE CONTROL ..... 5
2.2.1 PLANTA ..... 6
2.2.2 PROCESOS ..... 6
2.3 INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA (HMI) ..... 6
2.3.1 ENTORNO NORMATIVO ..... 7
2.3.1.1 Norma ISA 5.2 documentación de sistemas de control aplicado a símbolos e instrumentación industrial ..... 8
2.3.2 FUNCIONES DE UN INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA ..... 9
2.4 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA HMI ..... 9
2.4.1 SENTIDO DE LA VISTA ..... 9
2.4.2 LOS COLORES ..... 11
2.4.3 POLARIDAD ..... 12
2.4.4 DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AMIGABLE ..... 12
2.4.5 DESCRIPCIÓN DE ALARMAS Y EVENTOS ..... 13
2.4.5.1 Clasificación de alarmas ..... 14
2.4.6 ELEMENTOS GRÁFICOS ..... 15
2.4.7 PANTALLAS DE SUPERVISIÓN ..... 15
2.4.8 UBICACIÓN DE SÍMBOLOS ..... 16
2.4.8.1 Proximidad ..... 17
2.4.8.2 Similitud ..... 17
2.4.9 SIMULACIONES ..... 18
2.4.10 REPRESENTACIÓN DE VALORES ..... 18
2.5 REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL ..... 19
2.5.1 PFD ..... 19
2.5.2 P&ID ..... 20
2.6 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL ..... 20
2.6.1 RANGO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN ..... 21
2.6.2 SPAN ..... 21
2.6.3 ERROR ..... 21
2.6.4 INCERTIDUMBRE ..... 21

2.6.5 PRECISIÓN ..... 21
2.6.6 EXACTITUD ..... 22
2.6.7 SENSIBILIDAD ..... 22
2.6.8 HISTÉRESIS ..... 22
2.6.9 CLASES DE INSTRUMENTOS ..... 23
2.6.9.1 Clasificación en función del instrumento ..... 23
2.6.9.2 Clase de instrumentos de medición en función de la variable de proceso ..... 25
2.6.10 MAGNITUDES ANALÓGICAS Y DIGITALES ..... 26
2.6.10.1 Mágnitud analógica ..... 26
2.6.10.2 Mágnitud digital ..... 26
2.6.11 REDES DE COMUNICACIÓN ..... 27
2.6.11.1 Clasificación de las redes industriales ..... 27
2.6.11.2 Comunicación serial RS-232 ..... 29
2.6.11.3 Comunicación serial RS-485 ..... 30
2.6.11.4 Buses de campo ..... 31
2.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE ..... 32
2.7.1 MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA ..... 33
2.7.2 ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES ..... 33
2.7.3 ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS ..... 34
2.8 SOFTWARE DE SUPERVISIÓN, MONITOREO Y CONTROL WONDERWARE INVENSYS INTOUCH ..... 34
2.8.1 WINDOWMAKER ..... 34
2.8.1.1 Tipos de ventanas ..... 35
2.8.1.2 Definición del tagname ..... 36
2.8.1.3 Asignación de tags indirectos ..... 38
2.8.2 WINDOWVIEWER ..... 39
2.8.3 ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOL ..... 39

**3. METODOLOGÍA**

3.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO ..... 41
3.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA ..... 41

**4. DISEÑO**

4.1. PLANOS P&ID ..... 44
4.1.1. CONFIGURACIÓN DE ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOL ..... 45
4.1.2. NIVEL DE RED ..... 47
4.1.3. ÁREAS DE LA ESTACIÓN DE GLP OYAMBARO ..... 48
4.1.3.1. Entrada del poliducto Shushufindi-Quito a Oyambaro ..... 48
4.1.3.2. Reductora de presión ..... 51
4.1.3.3. Válvulas de distribución ..... 55

4.1.3.4. Tanque bala ..... 58
4.1.3.5. Área de relicuefacción ..... 60
4.1.3.6. Patio de bombas ..... 64
4.1.3.7. Esferas de almacenamiento ..... 67
4.1.3.8. Tanque de almacenamiento de gasolina base ..... 70
4.1.3.9. Islas de carga ..... 72
4.1.3.10. Gasoductos ..... 75
4.1.3.11. Unidad API ..... 77
4.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA ..... 78
4.2.1. BANCO DE PRUEBAS ..... 79
4.2.2. TRÁFICO DE DATOS EN ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOLE ..... 80

**5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

5.1. CONEXIÓN CON LA RED INDUSTRIAL ..... 81
5.2. CONEXIÓN CON EL PLC ..... 81
5.3. LECTURAS DEL ESTADO DE VARIABLES ..... 81
5.4. ARRANQUE DE LA APLICACIÓN ..... 81
5.5. NAVEGACIÓN EN LA APLICACIÓN ..... 82

**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones ..... 84
Recomendaciones ..... 85

**BIBLIOGRAFÍA** ..... 87

# ÍNDICE DE FIGURAS

**PÁGINA**

**Figura 1.** Poliducto Shushufindi-Quito. ..... 4
**Figura 2**. Tramo de GLP. ..... 5
**Figura 30.** IDE de desarrollo Windowmaker. ..... 35
**Figura 31.** Tipos de ventanas en Windowmaker. ..... 35
**Figura 32.** Diccionario de tagnames. ..... 36
**Figura 33**. Tipos de tags. ..... 36
**Figura 34.** Animation links ..... 38
**Figura 35.** Tag indirecto. ..... 38
**Figura 36.** Windowviewer. ..... 39
**Figura 39**. Estructura básica de un sistema mecatrónico. ..... 42
**Figura 40.** Estructura básica del sistema de supervisión, monitoreo y control de la estación de GLP Oyambaro ..... 42
**Figura 44**. Variables desde Archestra System Management Console. ..... 46
**Figura 45.** Red industrial de la estación de GLP Oyambaro. ..... 47
**Figura 46.** Válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito. ..... 48
**Figura 47.** Operación de la válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito. ..... 49
**Figura 48.** HMI Operación de la válvula de entrada de poliducto. ..... 51
**Figura 49.** Válvula de entrada del poliducto. ..... 52
**Figura 50.** Operación de una válvula de control de presión. ..... 53
**Figura 52.** Válvulas de distribución. ..... 55
**Figura 53.** Operación de la válvula electromecánica. ..... 56
**Figura 54.** HMI Operación de la válvula de distribución. ..... 57
**Figura 56.** Operación del tanque bala. ..... 59
**Figura 57.** HMI Operación del tanque bala. ..... 60
**Figura 58.** Unidad de relicuefacción. ..... 61
**Figura 59.** Operación de la unidad de relicuefacción. ..... 62
**Figura 60.** HMI Operación de la unidad de relicuefacción. ..... 63
**Figura 61.** Componentes de una bomba. ..... 64
**Figura 62.** Operación de una bomba ..... 65
**Figura 63**. HMI Operación de las bombas. ..... 66
**Figura 64.** Esfera de almacenamiento. ..... 67
**Figura 65.** Operación de una esfera de almacenamiento. ..... 68
**Figura 66.** HMI Operación de la esfera de almacenamiento ..... 69
**Figura 67.** Tanque de almacenamiento de nafta base. ..... 70
**Figura 68.** Operación del tanque de almacenamiento de nafta base. ..... 71
**Figura 69.** HMI del tanque de almacenamiento de nafta base. ..... 72
**Figura 70**. Islas de carga. ..... 73
**Figura 71.** Operación de despacho. ..... 74

**Figura 72.** HMI operación de las islas de carga. ..... 75
**Figura 73.** Gasoductos. ..... 76
**Figura 74.** HMI del gasoducto. ..... 76
**Figura 75.** Unidad API. ..... 77
**Figura 76.** HMI bomba API. ..... 78
**Figura 78.** Banco de pruebas. ..... 79
**Figura 79.** Descripción de un tagname. ..... 80
**Figura 80.** Variables leídas desde el PLC. ..... 80
**Figura 81.** Comunicación con la red industrial. ..... 81
**Figura 82.** Inicio de la aplicación. ..... 82
**Figura 83**. Recepción de GLP. ..... 82

# ÍNDICE DE TABLAS

**PÁGINA**

**Tabla 1.** Colores según estado. ..... 13
**Tabla 2.** Colores a utilizar**.** ..... 13
**Tabla 3.** Tipos de tagnames. ..... 37
**Tabla 4**. Subtipos de tagnames. ..... 37
**Tabla 5.** Nomenclatura de las áreas de la estacion de GLP Oyambaro. ..... 44
**Tabla 6.** Variables utilizadas para el control de la válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito ..... 50
**Tabla 7.** Variables utilizadas para el control de la válvula de control de presión. ..... 54
**Tabla 8.** Variables utilizadas para el control de la válvula electromecánica. ..... 57
**Tabla 9.** Variables utilizadas para la supervisión del tanque bala. ..... 59
**Tabla 10**. Variables utilizadas para el control de la unidad de relicuefacción. ..... 63
**Tabla 11.** Variables utilizadas para el control la bomba. ..... 66
**Tabla 12.** Variables utilizadas para la supervisión de las esferas..... 69
**Tabla 13.** Variables utilizadas para la supervisión del tanque de almacenamiento de nafta base. ..... 72
**Tabla 14**. Variables utilizadas para el control de la bomba API. ..... 78

# ÍNDICE DE ANEXOS


**PÁGINA**

**Anexo 1.** Plano de la estación de GLP Oyambaro…… 89
**Anexo 2.** HMI de la estación de GLP Oyambaro…….. 90

# RESUMEN

El actual trabajo describe el proceso de rediseño de un HMI (Human Machine Interface) de la estación de GLP Oyambaro. A medida que los sistemas van creciendo en complejidad, los sistemas de control deben estar en la capacidad de responder eficientemente a esos cambios; considerando que es de suma importancia las actualizaciones de instrumentación, infraestructura obtenida en campo, actualizaciones desarrolladas en el diseño de sistemas de control a nivel de normalización, para obtener un lenguaje internacional que permita reconocer símbolos, procesos, instrumentos, elementos mecánicos y otorgar así una comunicación estándar.

Es por ello que se ha propuesto el rediseño de la interfaz permitiendo una mayor interacción con el operador, mediante una visualización completa de la estación que habilita el acceso a cada elemento de control que esta posee, a través del uso de pantallas exclusivas para la operación, visualización del proceso, alarmas, históricos, guías de procesos, etc. Esta interfaz cumple satisfactoriamente los requisitos preestablecidos por los usuarios tanto en funcionamiento, lectura de datos, modos de operación y niveles de acceso dentro de la estación. Además, muestra las distintas áreas que la estación posee permitiendo el monitoreo y control de los procesos de recepción desde el poliducto Shushufindi-Quito hasta le estación de GLP en Oyambaro; también permite, la supervisión, monitoreo y control del almacenamiento del GLP en las distintas esferas presurizadas al igual que la transferencia del GLP entre esferas.

La interfaz está en la capacidad de permitir el control del despacho del GLP hacia las distintas comercializadoras y auto tanques, además de la relicuefacción del GLP. El monitoreo y control se los ejecuta ya sea individualmente o a la par mediante un panel principal, el cual permite visualizar conjuntamente estas operaciones. El rediseño de esta interfaz muestra un avance en cuanto al diseño de los sistemas de monitoreo y control.

# ABSTRACT

The present work describes the redesign process of a HMI (Human Machine Interface). As the systems grow in complexity, the control systems must be able to respond effectively to these changes. That is why, it is important to update the tools, the infrastructure built in the field, and the updates about the design control according to a standardization level, in order to get an international language that allows people to recognize, symbols, processes, tools, mechanical parts. These changes must be able to provide a standard communication.

For this reason, it has been proposed the redesign of the interface allowing a high interaction with the operator through a complete display of the station that enables access to each element of control that this has, through the use of exclusive screens for operation, process visualization, alarms, historical, process guides, etc. This interface satisfactorily fulfills the requirements pre-established by the users during the running of the system, reading data, operating modes and levels of access within the station. Also, it shows the different areas that the station owns, letting visualizing and monitoring the control processes reception from the Shushufindi-Quito pipeline until Oyambaro LPG station. It also allows the control, supervision and monitoring of storage of LPG in various pressurized spheres or even to transfer it between them.

This interface will be able to control the process to dispatch the LPG to different trading places or tank trucks, it will even control the reliquefaction process of LPG. The monitoring and control are executed individually or at the same time by a main panel, which allows display these operations together. The redesign of the interface shows a progress in the design of monitoring and control systems.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control son factores principales en la operación de procesos industriales pudiendo incidir directamente en la operación de los sistemas, afectando tanto al operador como también al desarrollo de las distintas operaciones que recaen sobre los procesos que el sistema esté en capacidad de controlarlos. Es por ello que un sistema de control debe estar diseñado conforme a requerimientos preestablecidos y a su vez a iniciativas creadas por diferentes organizaciones que engloban ideas en cuanto a diseño, adaptándose a las capacidades físicas y psíquicas del ser humano.

Para obtener un sistema de control fiable y eficiente existen varias iniciativas primordiales que se deben considerar, como son:

- Los colores de los distintos paneles de control, los cuales pueden llegar a afectar a la salud del operador debido al espectro que estos emiten;
- La disminución de la tasa de errores presentados por una mala representación de la información ocasionando confusiones al operador;
- Y, la representación de los distintos elementos que la estación posee, la cual debe ser plasmada gráficamente mediante símbolos estandarizados que puedan ser reconocidos y no obliguen a un complejo aprendizaje de los nuevos operadores.

El proyecto también se enfoca en reducir efectos de cansancio y aburrimiento en cuanto al monitoreo y control de la estación, que llegan a ser factores que inciden al rendimiento del sistema, causando inconvenientes que producirán alarmas; las cuales, obligan a tener una mayor concentración convirtiéndose en una carga laboral excesiva para los operarios.

La creciente complejidad de la estación de GLP Oyambaro obliga a realizar actualizaciones que se han dado por cambios de infraestructura o por avances tecnológicos, siendo estos los que ayudan a que el sistema funcione adecuadamente. Es por esta razón que, una HMI debe ser actualizada, siendo necesario su diseño, de tal forma que otras personas puedan modificarla

según la estación lo requiera sin tener que rediseñar toda la estación desde sus inicios.

Como se mencionó anteriormente para mantener informado a los operarios sobre al estado actual del proceso, ya no es suficiente mostrar un indicador, hay ocasiones en que es necesario colocar símbolos que representen el área y el lugar en que estos se encuentran, permitiéndole al operador conceptualizar espacialmente su estación y sumergirse en el proceso como si este se lo realizara en campo físicamente.

Mediante esta revisión con su respectivo análisis se permite llegar a plantear el objetivo general de este proyecto que comprende en rediseñar la Interfaz Hombre-Máquina de la estación de GLP Oyambaro el mismo que se llegará a cumplir mediante los siguientes objetivos específicos:

- Actualizar los planos P&ID de la estación de GLP Oyambaro.
- Diseñar y programar la interfaz gráfica.
- Incorporar la red de comunicación.
- Validar el monitoreo y control de la estación mediante la interfaz hombre - máquina.
- Comparar la información obtenida en campo con la obtenida en el sistema de control.

# 2. MARCO TEÓRICO

## 2.1 ESTACIÓN DE GLP OYAMBARO

El Poliducto Shushufindi-Quito con una longitud de 304 Km, se encuentra conformado actualmente por seis tramos, siendo estos (figura 1):

- Shushufindi-Quijos 122 Km.
- Quijos-Osayacu 85 Km.
- Osayacu-Chalpi 35 Km.
- Chalpi-Oyambaro 35.5 km.
- Oyambaro-Ushimana 8.5 km.
- Ushimana-Quito 17 Km.

Este poliducto se encarga del transporte de hidrocarburos como son Gasolina Base, Destilado, Jet Fuel, Diesel que tienen como parada final el terminal Beaterio ubicado al sur de Quito. Mientras que el GLP (Gas Licuado de Petróleo) es almacenado en la terminal de GLP Oyambaro, ubicado al nororiente de la ciudad de Quito en el Km 13 $^{1}/_{2}$ de la vía Pifo-Sangolquí en el sector de El Inga Bajo, esta estación tiene como actividades principales la fiscalización, recepción, almacenamiento y despacho del GLP para el uso doméstico e industrial.

La estación de GLP Oyambaro abrió sus puertas a fines del año 2002 recibiendo partidas de 4000 a 13000 barriles, por los cuales la recepción puede demorar entre 12 y 25 horas, teniendo como unidades operativas actualmente:

- Entrada del poliducto Shushufidi-Quito a Oyambaro.
- Reductora de presión.
- Válvulas de distribución.
- Tanque bala.
- Área de relicuefacción.
- Patio de bombas.
- Esferas de almacenamiento.
- Tanque de almacenamiento de gasolina base.

- Islas de carga.
- Gasoductos.
- Unidad API.

El transporte del GLP se realiza mediante empaquetamientos de tramos de gasolina base; es decir se envía en la parte intermedia de la gasolina base el GLP, según figura 2, ya que poseen una buena compatibilidad.

El despacho de GLP se realiza por medio de auto tanques y gasoductos que van destinados a las comercializadoras de ENI , Duragas, Repsol entre otras.

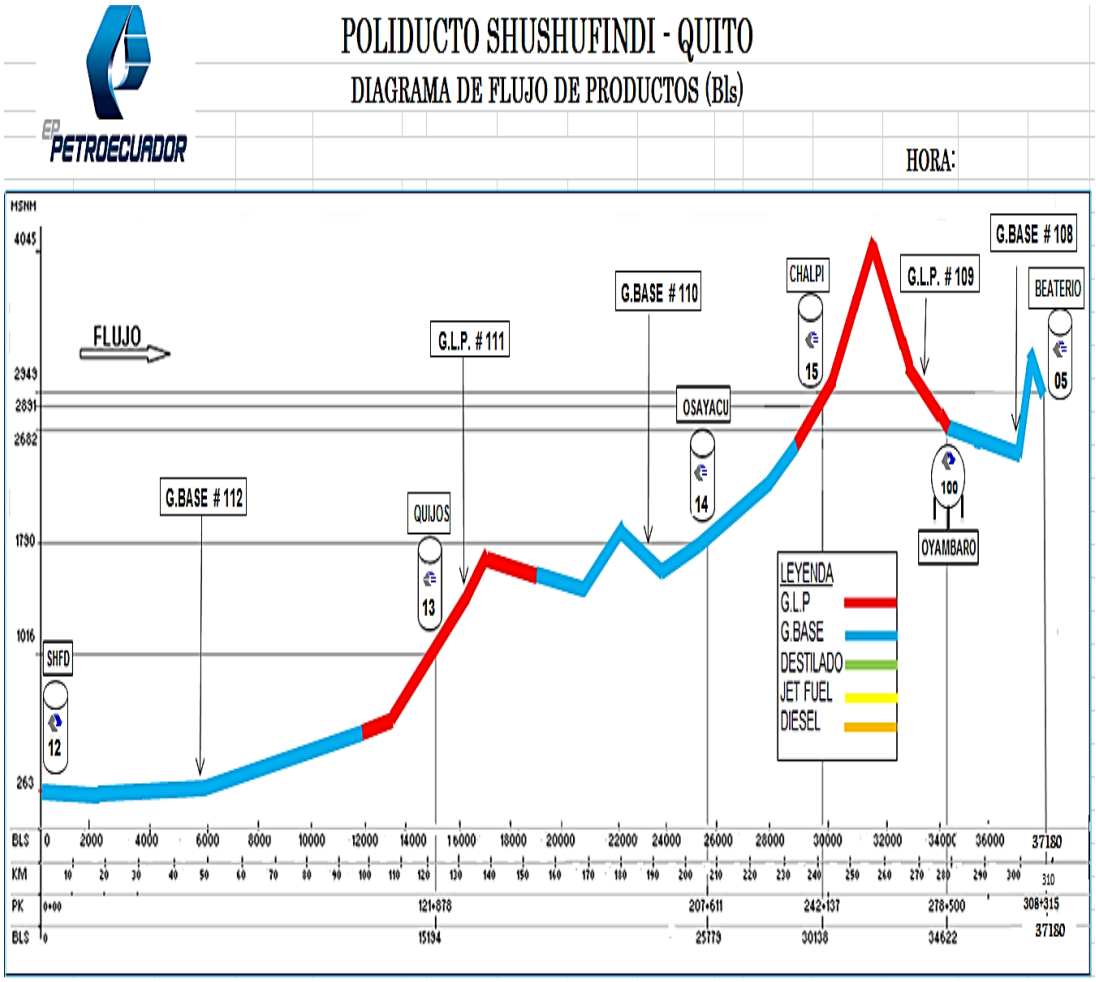



**Figura 1.** Poliducto Shushufindi-Quito.

**Figura 2**. Tramo de GLP.

## 2.2 SISTEMAS DE CONTROL

De acuerdo a Rodríguez Penin (2007), los sistemas de control suelen ir acompañados por interfaces de comunicación provistas por tecnología más o menos compleja.

En sus inicios los sistemas de control de procesos eran tecnológicamente sencillos ya que debían controlar procesos simples, como son la activación y desactivación de un motor, el abrir o cerrar una válvula, etc. Con el pasar del tiempo estos procesos se vuelven exponencialmente complejos en los cuales no es suficiente tener pocos indicadores, gráficos no tan parecidos a la realidad, etc. Hoy en día son necesarios muchos paneles llenos de información en los cuales se debe indicar como se encuentra el proceso, cual es el estado del sistema de control, como se encuentran los eventos, etc. Esto se lo realiza incorporando los avances tecnológicos en cuanto a visualización de datos, mediante computadores los cuales permiten una interacción más real con los operadores y el sistema.

El control automático proporciona el medio para mejorar el desempeño de los sistemas dinámicos tales como, aliviar cargas de rutinas repetitivas, operaciones que se realizan de una manera manual, según Ogata Katsuhico (1988), ingenieros, científicos deben tener un buen conocimiento sobre este campo debido a los avances tecnológicos como son los vehículos espaciales, sistemas robóticos, etc.

### 2.2.1 PLANTA

Una planta (ver figura 3), puede ser un conjunto de partes de una máquina las cuales interactúan entre sí para la ejecución de un propósito en común que es la ejecucion de una operación especial la cual se desea controlar.

**Figura 3.** Planta de GLP Oyambaro.

### 2.2.2 PROCESOS

Según el diccionario Merriam Webster se define al proceso como: una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo controlado sistemáticamente, como lo es un proceso químico, económico o biológico.

## 2.3 INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA (HMI)

Como su nombre lo indica una HMI (Human Machine Interface), también llamado Sistema Supervisorio es un programa de monitoreo y control (figura 4), que interactúa con el hombre, brindando información acerca del estado de la planta y del proceso que se está efectuando en ese momento, según Rodríguez Penin (2007), es el punto de contacto entre la persona y la tecnología, también manifiesta que los esfuerzos de los diseñadores se han concentrado únicamente en mostrar la información que más se pueda.

Una HMI facilita la operación de la planta mostrando información de una manera ordenada, coherente y entendible llegando así a su objetivo principal que es facilitar la toma de decisiones, sin dejar de lado algo muy importante que es el aburrimiento y la fatiga que son constantes, y que al momento de desarrollar la Interface se debe minimizar o retardar su aparición.

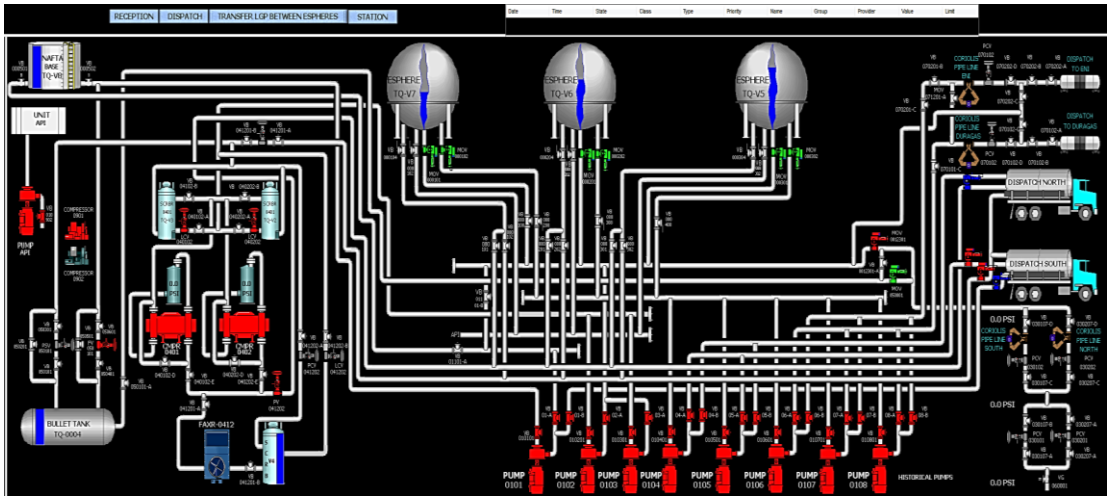



**Figura 4**. HMI.

### 2.3.1 ENTORNO NORMATIVO

De acuerdo a Rodríguez Penin (2007), a nivel internacional no existe una línea clara en lo que respecta al diseño de las HMI, pero han ido apareciendo algunas iniciativas que pretenden cubrir necesidades concretas en cuanto al diseño:

- ANSI American National Standars Institute.
- CENELEC European Committe for Electrotechnical Standaritation.
- CEPT European Conference of Postal and Telecommunications Administration.
- ETSI European Telecommunications Standars Institute.
- IEEE Institue of Electronic and Electrical Engineers.
- ISO International Standars Association.
- JIS Japanese Standars Association.
- NUREG Nuclear Regulatory Commission.
- SAE Society of Automotive Engineers.

Estableciendo como objetivos principales los siguientes:

- Reducir la tasa de errores cometidos por los operarios gracias a una representación clara y una navegación intuitiva de las interfaces de control.
- Disminuir tiempos de aprendizaje de los operadores en cuanto al monitoreo y control de las interfaces, llegando a tener habilidad para cambios de un sistema a otro con un entrenamiento mínimo por parte de los operadores.
- Ayudar a la reducción de los costos de rediseño debido a cambios en la planta.
- Proporciona un estandar de diseño a nivel internacional el cual permite el entendimiento de otras personas.

Estas normas se orientan tanto a las condicionaes ambientales de los operarios, como también al ámbito del desarrollo de la interfaz en cuanto a menús, diseño de pantallas, tipos de colores, animaciones, etiquetas, gestión de alarmas, recepción de datos, históricos,etc. Los aspectos más relevantes que generan importancia en cuanto a normalización son:

- La interfaz HMI que comprende pantalla, ratón y teclado.
- El diseño físico del lugar de trabajo (accesibilidad).
- El ambiente de trabajo en cuanto a iluminación, temperatura, espacio de trabajo,etc.
- La gestión en cuanto a actividades (guía de procesos).
- Sistema de diálogo (aplicación).
- Retroalimentación de campo (confirmacion de operaciones).

#### 2.3.1.1 Norma ISA 5.2 documentación de sistemas de control aplicado a símbolos e instrumentación industrial

Según Thomas McAvinew and Raymond Mulley (2004), manifiestan que los símbolos y los identificadores son utilizados para la representación y conceptualización gráfica de dispositivos o acciones producidas por estos, los cuales fueron creados con dos propósitos:

- Ayudar con la conceptualización de los procesos.
- Ayudar con la comunicación de la información.

### 2.3.2 FUNCIONES DE UN INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA

Entre las principales funciones se tiene:

- Representar la planta lo más cercana a la realidad.
- Informar acerca del estado en que se encuentra el proceso en tiempo real.
- Visualizar con animaciones los componentes gráficos de una forma amigable.
- Navegar de una manera simple por toda la planta accediendo a la información lo más rápido posible.
- Mostrar eventos deseados y no deseados de manera llamativa a los operarios.
- Almacenar información relevante de los procesos desarrollados.
- Permitir el acceso jerárquico en cuanto a la supervisión, monitoreo y control de la planta.
- Desplegar alarmas por niveles.
- Monitorear los procesos.

## 2.4 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA HMI

Una HMI debe permitir a los operarios permanecer en sus puestos de trabajo el tiempo que el proceso lo requiera, sin impedir la operación debido a confusiones en cuanto al control del proceso, así también reducir el cansancio y aburrimiento generados por esta actividad.

### 2.4.1 SENTIDO DE LA VISTA

Según Martínez Fraga (2012), el sentido de la vista es el que se encarga de percibir estímulos luminosos del exterior, conocido también como radiación electromagnética, con longitudes de onda comprendidas entre 400nm y 700nm (nanometros), lo que constituye el espectro de luz visible. Cabe indicar

que por debajo de los 400nm se encuentra la luz ultravioleta y por encima de los 700nm se encuentra la luz infraroja, ver figura 5.

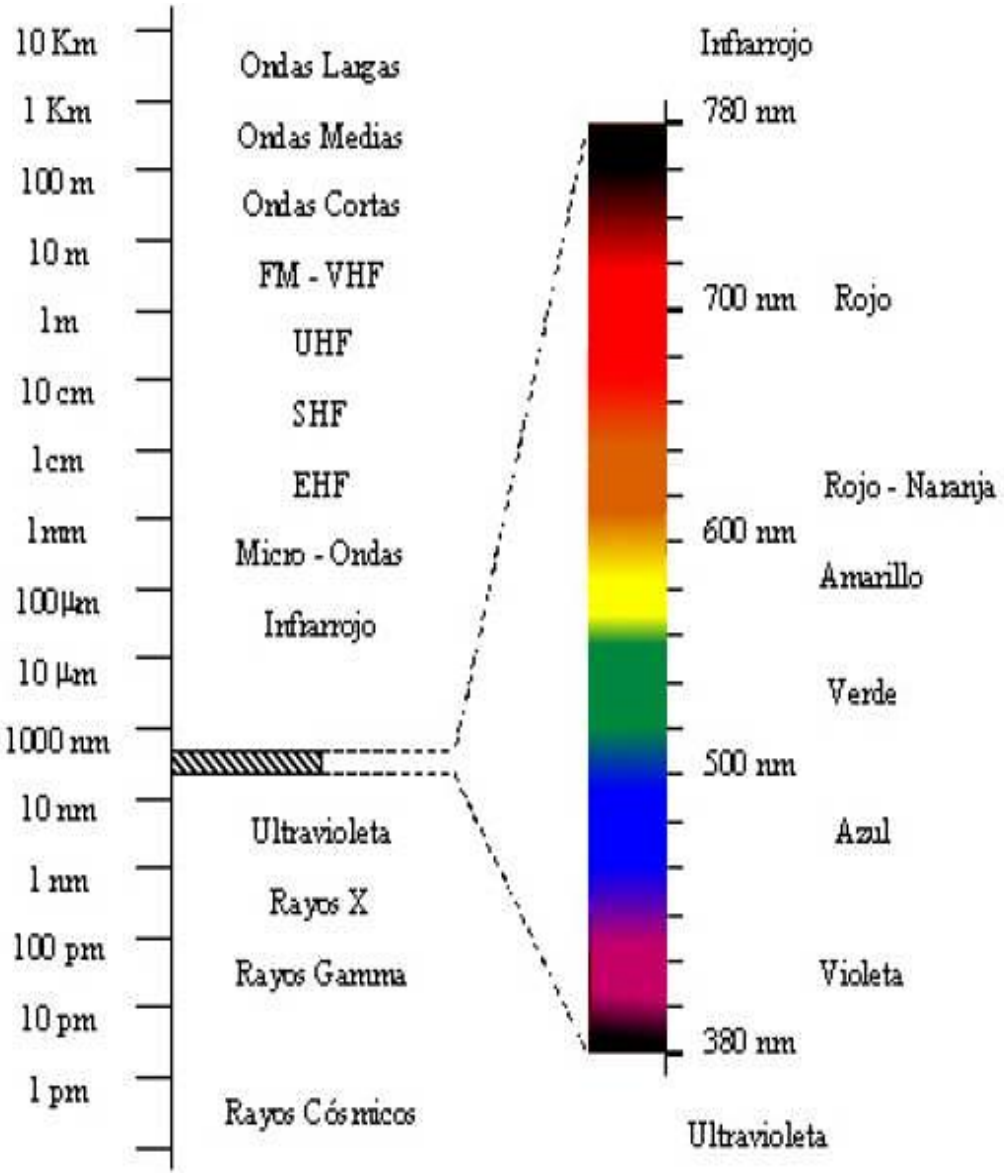



**Figura 5.** Esquema del Espectro electromagnético.
(Droides, 2014)

De acuerdo a Rodríguez Penin (2007), dentro del ojo humano se encuentra la retina que es a la que le debemos la capacidad de convertir la luz en energía eléctrica. Unas células especializadas conocidas como conos y bastones son las que generan este cambio, las mismas que se encuentran interconectadas entre sí mediante el nervio óptico y una vez que se encargan de la transformación se dirige hacia el cerebro el cual interpretará las formas y colores.

La retina es una membrana con un espesor menor a medio milímetro, la cual contiene alrededor de 120 millones de células en forma de bastón y unos 6 millones de células en forma de cono ver figura 6.

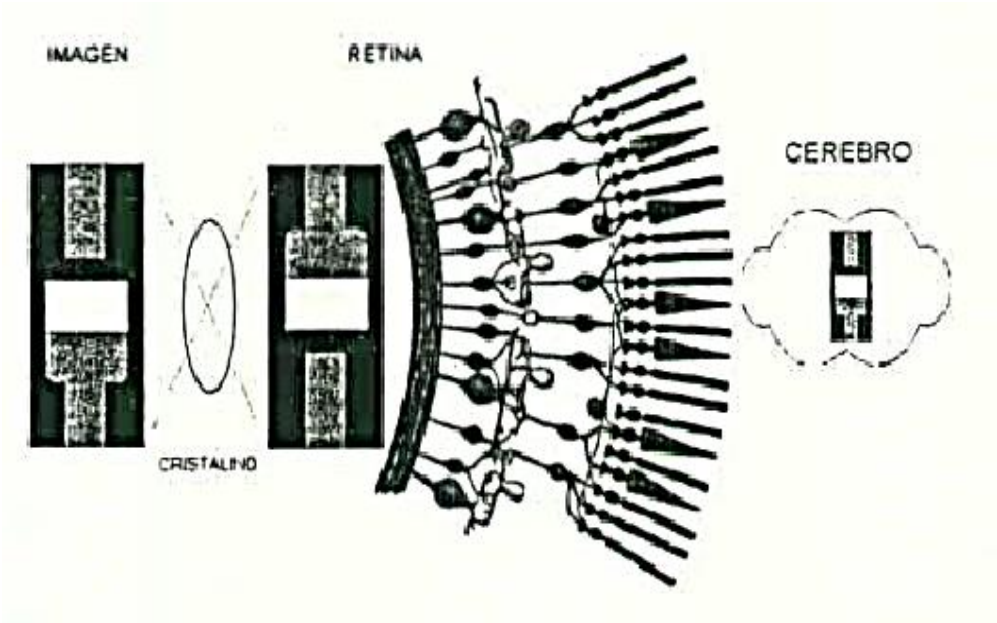



**Figura 6.** Formación de la imagen en la retina.
(Rodríguez, 2007)

### 2.4.2 LOS COLORES

El color es un proceso de decodificación que se da en el cerebro, a medida que la longitud de onda va aumentando, el espectro cambia de color azul a color rojo, pasando por los colores violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado y tonos intermedios, a la sensación del color se lo define mediante factores como son:

- Luminosidad: capacidad de un objeto para reflejar la luz incidente.
- Tono: va en función de la longitud de onda.
- Saturación: es la cantidad de negro y/o blanco (la pureza).

Con la mezcla aditiva de los colores primarios se obtiene los colores secundarios.

Para la obtención del contraste complementario se utiliza a los colores primarios con sus opuestos secundarios.

### 2.4.3 POLARIDAD

La polaridad indica la relación de brillo entre el contenido de la pantalla y su fondo ver figura 7, (Rodríguez Penin, 2007).

**Figura 7.** Polaridad en imagen.

Cuando se tiene polaridad negativa ver figura 7 (izquierda), la iluminación de la pantalla es menor, por ende, el parpadeo es menos frecuente y hace que la lectura sea más fácil, el efecto ayuda a que las letras parezcan más grandes y destacen sobre el fondo de la pantalla.

Con polaridad positiva ver figura 7 (derecha), los reflejos son menos perceptibles, los bordes son más nítidos y se obtiene el equilibro de luminancia.

### 2.4.4 DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AMIGABLE

El diseño de un sistema de control amigable para el operador se lo debe desarrollar considerando algunos aspectos que serán mencionados a continuación:

- No imponer nuevas tendencias.
- No utilizar dotes artísticos en cuanto a diseño.
- Utilizar colores que se emplean en otros ámbitos.
- Aprendizaje fácil.
- Utilizar símbolos normalizados.
- No hacer caer en dudas en cuanto a la operación del sistema.

Un claro ejemplo puede ser cuando: se tiene un horno el cual muestra un color rojo que se puede entender como que se encuentra apagado o también se da para la interpretación de que está encendido y la temperatura es alta, por ende, se lo toma como peligro. Para tener una interpretación adecuada es necesario tener un texto el cual indique el estado del horno, ayudando al operador a comprender el estado del instrumento.

Para evitar malos entendidos en cuanto a señales de sistemas, se acepta la siguiente convención de colores ver tabla 1, (Rodríguez Penin, 2007).

**Tabla 1.** Colores según estado.

| | |
|---|---|
| Estados: Marcha – Abierto | Verde |
| Estados: Parado – Cerrado | Rojo |
| Estados: Atención - Preparado | Amarillo |
| Alarmas: Atención – Pre-alarma | Amarillo |
| Alarmas: Alarma | Rojo |
| Alarmas: Sin alarma | Gris, Invisible |
| Elementos: Metal | Gris |
| Fondos | Gris, verde, azul |

Es necesario ser muy claro en cuanto a la información a presentar para no confundir al operador.

### 2.4.5 DESCRIPCIÓN DE ALARMAS Y EVENTOS

Las alarmas son situaciones no deseadas y advierten del peligro que puede suceder, los eventos indican situaciones normales dentro del proceso.

**Tabla 2.** Colores a utilizar**.**

| | |
|---|---|
| Rojo | Paro, alarma, peligro, prohibición |
| Amarillo | Espera, listo, pre-alarma |
| Verde | Marcha, correcto, sin defectos |
| Azul | Mando, acción |

Para una mejor interpretación de los diferentes eventos y alarmas se recomienda la utilización de indicadores inequívocos como pueden ser:

- Textos.
- Sonidos.
- Cambios de forma.

Cabe señalar que el abuso de los mismos puede causar estrés visual ocasionando un bloqueo en cuanto a respuestas del operador.

De acuerdo a Rodríguez Penin (2007), se recomienda utilizar niveles de importancia ordenados en cuanto se refiere a alarmas ya que las mismas se pueden presentar en un mismo momento, ocasionando así una confusión en las respuestas a la operación y el operador no sabrá que acción realizar.

#### 2.4.5.1 Clasificación de alarmas

La clasificación de alarmas es indispensable ya que no es lo mismo una alarma de falla en una línea de agua residual a una alarma que indica que la presión en una tanque es extremadamente alta, (Rodríguez Penin, 2007).

**Pre-alarmas**

Es aquel grupo susceptible a la generación de problemas graves, los cuales requieren atención por parte del personal encargado del mantenimiento.

**Alarmas de fin de ciclo**

Este grupo de alarmas no requieren un paro absoluto de la máquina o proceso, es decir que permite que la operación continue hasta llegar a su fin si el caso lo amerita y cuando el inconveniente esté resuelto se puede dar aviso del reinicio de la operación, (Rodríguez Penin, 2007).

**Alarmas de paro**

Este grupo requiere el paro del proceso o de la máquina de forma inmediata, sin importancia del estado en que se encuentre el proceso. Una vez controlada la situación se procederá al reinicio del proceso, estableciendo las condiciones iniciales del mismo.

### 2.4.6 ELEMENTOS GRÁFICOS

La implementación de elementos gráficos en las pantallas debe ser con el propósito de representar a la instrumentación obtenida en campo. Según Rodríguez Penin (2007), se los representa asemejándolo a la realidad, pero hay que considerar que existen normas para la representación de instrumentos como son la norma ISA 5.2, la cual establece los símbolos que son reconocidos internacionalmente, además que en el software de diseño vienen predefinidos estos símbolos ver figura 8, que son de gran ayuda para el desarrollo del sistema.

A continuación se resume los principios básicos para el diseño:

- Diseño sencillo.
- Orden lógico.
- Unidades estandarizadas.
- Alineamiento de objetos.
- Tener un adecuado constraste.
- Tener un tipo de fuente.
- Utilización de colores con delicadeza, sin diseños extravagantes.
- Etiquetado que ayude a relacionar la operación.

**Figura 8.** Símbolo del software de diseño InTouch.
(Software InTouch,2014).

### 2.4.7 PANTALLAS DE SUPERVISIÓN

Los fondos de pantalla se consideran una parte fundamental en cuanto al desarrollo de una interface, los vacíos que se tenga deben ser rellenados con

colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos ver figura 9. Según Rodríguez Penin (2007), sugiere que no se haga uso de dotes artísticos con los colores ya que se conseguirá pantallas vistosas, pero poco prácticas.

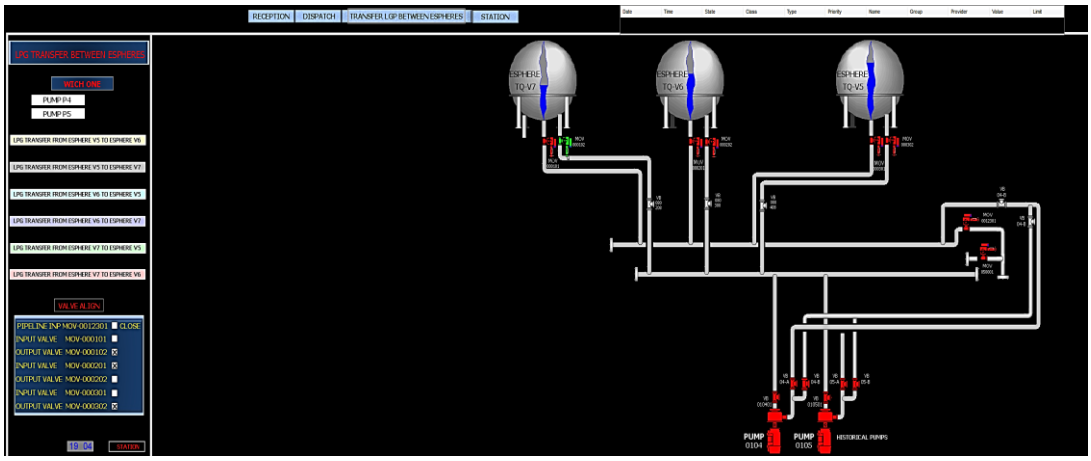



**Figura 9.** Pantalla de supervisión.
(Software InTouch,2014).

### 2.4.8 UBICACIÓN DE SÍMBOLOS

La información de una interface se asemeja a la información obtenida desde diarios, revistas, páginas web, etc; las cuales representan la información en lugares definidos ver figura 10; así tambien, la lectura de izquierda a derecha, los títulos en puntos predeterminados y su lectura desde la parte superior hasta la parte inferior, tienen como resultado una guía de cómo se representará la información en la interfaz, es recomendable la utilización de zonas para la representación de menús, logotipos, mandos de control, imágenes, alarmas, etc.

La información relevante se la obtendrá por omisión y la informacion extra se la obtendrá desde botones de acceso propuestos por la HMI que permite no ocupar toda la pantalla de visualización sin ocultar información.

Según Rodríguez Penin (2007), sugiere que se establezcan como principios para el diseño de un interfaz hombre maquina a la proximidad y la similitud descrito a continuación.

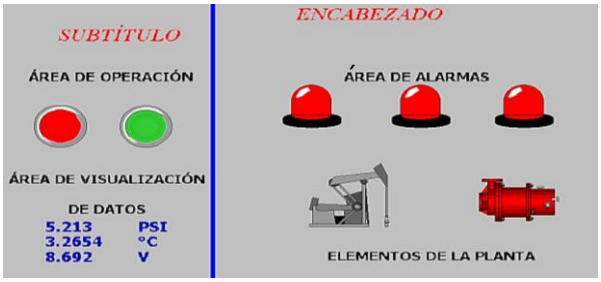



**Figura 10**. Áreas para el diseño.
(Software InTouch, 2014).

### 2.4.8.1 Proximidad

Cuando se agrupan elementos (figura 11), inconscientemente se tiende a establecer una relación funcional entre ellos. La organización de elementos según su funcionalidad ayuda a tener una información mucho más clara que cuando se representaría toda la información sin una discriminación de agrupamiento.

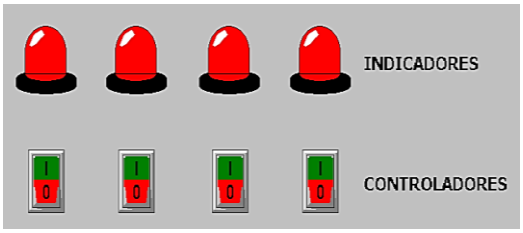



**Figura 11.** Proximidad entre elementos.
(Software InTouch, 2014).

### 2.4.8.2 Similitud

Este principio ayuda a agrupar elementos que tienen funciones similares (ver figura 12), permitiendo así a organizar por mandos de control, mandos de acceso, habilitaciones, etc.

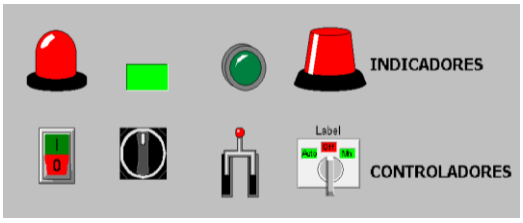



**Figura 12.** Similitud entre elementos.
(Software InTouch,2014).

### 2.4.9 SIMULACIONES

Las simulaciones (ver figura 13) , ayudan a representar lo que un instrumento o equipo realiza en campo, pero se lo debe tomar con cautela ya que estos pueden alterar el funcionamiento del sistema, alargando tiempos de refrescado de la aplicación, los cuales hacen que la respuesta ante una operación no sea inmediata y el operador crea que nunca se dió la orden, obligándolo a realizar la operación nuevamente y ocasionando riesgos en cuanto al monitoreo y control del sistema. Las simulaciones a gran escala ocasionan lentitud en el funcionamiento del sistema impidiendo que las pantallas se abran con rapidez generando impaciencia a los operadores.

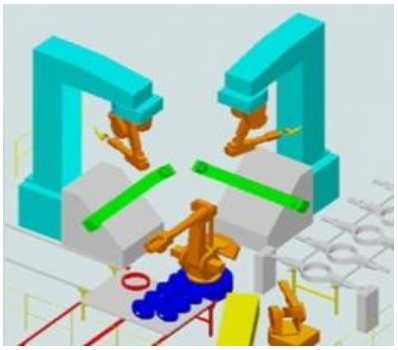


**Figura 13.** Simulación de un proceso.
(ULACIT, 2005).

### 2.4.10 REPRESENTACIÓN DE VALORES

Los valores representan información en forma cuantitativa, estos deben tener unidades de medición estandarizadas, asi también deben estar agrupados y alineados coherentemente para evitar confusiones en cuanto a visualización, ver figura 14.

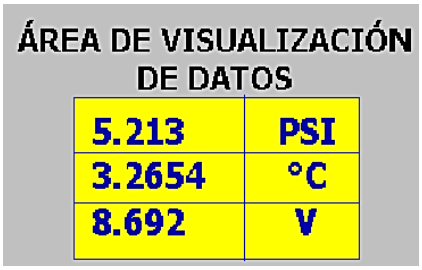



**Figura 14.** Visualización de datos.
(Software InTouch, 2014).

## 2.5 REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

La representación del proceso e instrumentación de la planta se lo realiza mediante dos tipos de planos, el PDF (Process Flow Diagram) y P&ID (Piping and Instrument Drawing) lo cuales se encargan de realizar una conceptualización de cómo es el proceso y la forma en que está constituída la estación respectivamente. Mediante estos planos se detalla máquinas, tuberías, sentidos de flujos e instrumentación actual de la estación.

### 2.5.1 PFD

El PFD (Process Flow Diagram) ver figura 15, muestra como se realizan los distintos procesos que la planta ejecuta, indica los componentes principales como son la maquinaria, flujos y elementos asignados al proceso, también se encarga de representar la interconexión con otros sistemas al igual que la representación de las principales líneas. Este diagrama también permite conocer los valores como presiones nominales, temperaturas de operación sin dar detalle de los instrumentos.

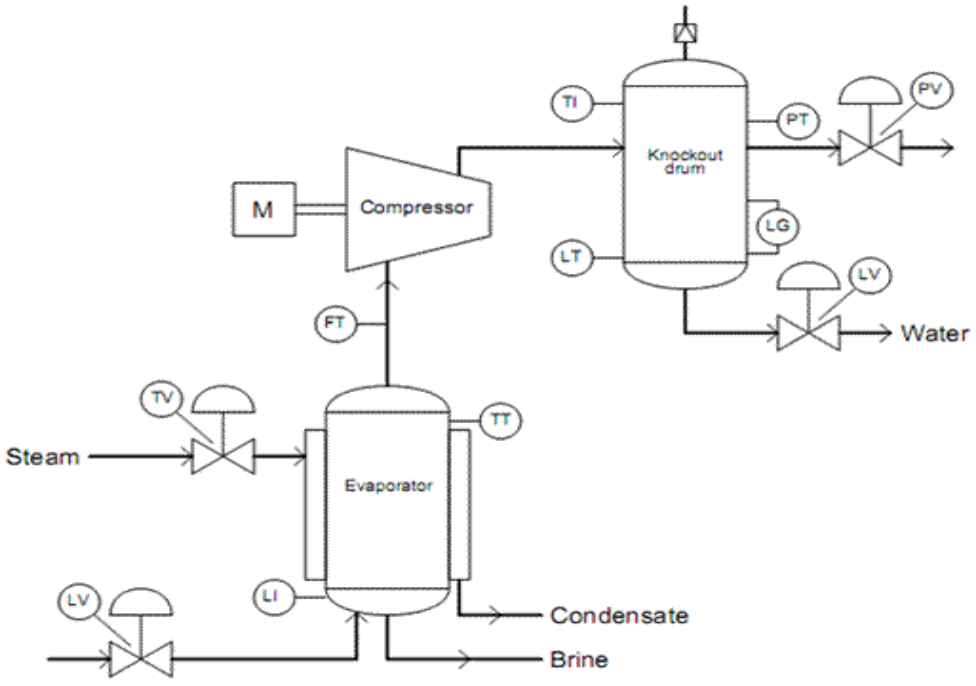



**Figura 15.** PFD.
(Process Flow Diagrams, 2010)

### 2.5.2 P&ID

P&ID (Piping and Instrument Diagram) ver figura 16, muestra la información que la planta posee con mayor detalle que el PDF anteriormente descrito, en este plano se muestra el nombre de los instrumentos; asi también, posee una identificación numérica la cual señala a que lazo pertenece, al igual que enseña las válvulas que se encuentran en cada línea. Indica también, el sentido de flujos así como el producto que es transportado y finalmente también señala hacia donde se dirigen las entradas y salidas de control.

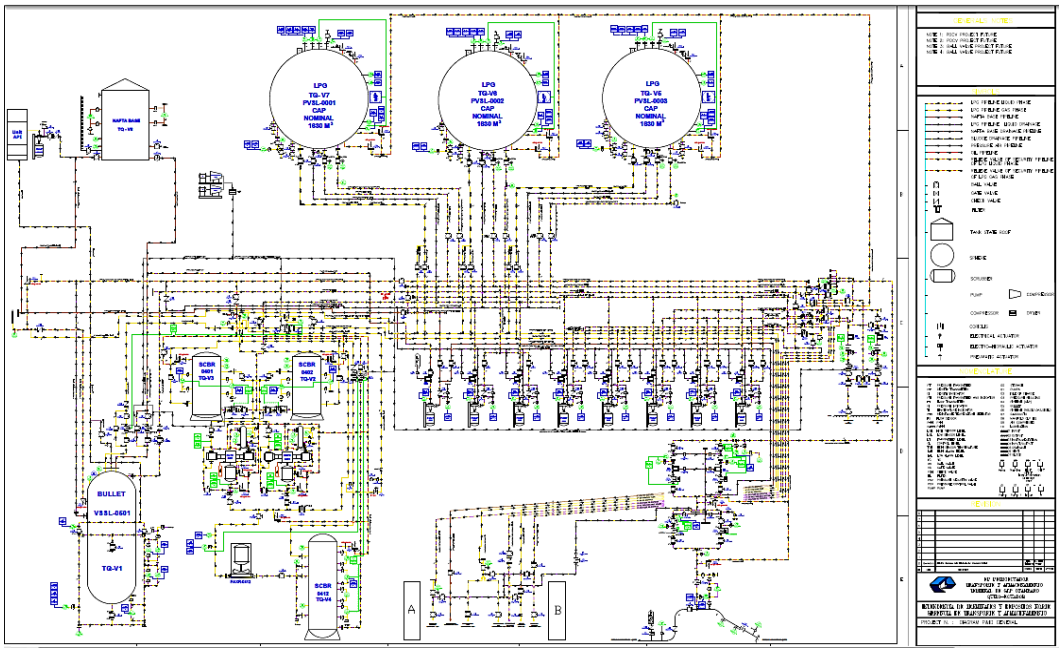


**Figura 16**. P&ID.

## 2.6 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

De acuerdo a Creus Solé (2007), manifiesta que en un proceso industrial es indispensable controlar y mantener constantes algunas magnitudes como pueden ser, el nivel de un fluído, la presión en un tanque, el caudal de un líquido, temperatura,etc. Un instrumento de medición y control se encarga de la regulación y mantenimiento de estas constantes fundamentales para el proceso que se lleva acabo.

### 2.6.1 RANGO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

De acuerdo con Creus Solé (2007), define al rango de un instrumento de medición como el conjunto de valores de la variable que se está midiendo la cual comprende un límite inferior y un límite superior ver figura 17.

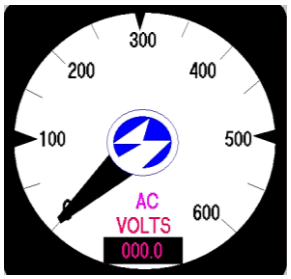



**Figura 17.** Rango de un instrumento de medición.
(Software InTouch, 2014).

### 2.6.2 SPAN

El Span o alcance, es la diferencia algebraica del límite superior y el límite inferior de la variable medida. (Creus Solé, 2007).

### 2.6.3 ERROR

Es la diferencia algebraica entre el valor transmitido y el valor real de la variable medida.

### 2.6.4 INCERTIDUMBRE

Según Creus Solé (2007), define la incertidumbre como un error de la medición de la variable medida, la cual se la obtiene mediante la dispersión de datos estadísticos de los valores que se han venido recibiendo como lecturas anteriores.

### 2.6.5 PRECISIÓN

De acuerdo con Creus Solé (2007), la precisión es aquel rango tolerado de la medida del instrumento, es decir un intervalo donde la medida debe situarse ver figura 18.

**Figura 18.** Precisión.
(Soluciones tecnológicas, 2010).

### 2.6.6 EXACTITUD

Un instrumento tiene la cualidad de dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud de medida ver figura 19.
Es indispensable señalar que un instrumento con alta precisión y exactitud tiende proporcionalmente a ser más costoso.

**Figura 19.** Exactitud.
(Soluciones tecnológicas, 2010).

### 2.6.7 SENSIBILIDAD

Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, es decir que si la variable crece la señal de salida también crece a la razón de estas variables se llama sensibilidad.

### 2.6.8 HISTÉRESIS

De acuerdo a Creus Solé (2007), define a la histéresis como la diferencia máxima observada de los valores indicados por la pluma del instrumento de medida para el mismo valor tanto de subida como de bajada, por ejemplo un instrumento de medición de presión con rango de 0-100 PSI, marca 40 PSI de subida, y de bajada el instrumento marca 40.1 PSI, el valor de la histéresis según la ecuación 1 es:

$$\frac{medida\ descendente - medida\ ascendente}{rango} * 100 = histéresis \qquad [1]$$

$$\frac{40.1 - 40}{100 - 0} * 100 = \pm 0.1\%$$

$$\frac{0.1}{100} * 100 = \pm 0.1\%$$

### 2.6.9 CLASES DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos de medición son relativamente complejos en cuanto a su funcionamiento, por lo cual es necesario clasificarlos por grupos para así poder tener un mejor entendimiento en cuanto a ventajas y desventajas que estos presentan, Según Creus Solé (2007), los clasifica con relación a su función y también con la relación de la variable del proceso.

#### 2.6.9.1 Clasificación en función del instrumento

La clasificación en función del instrumento se muestra a continuación.

**Instrumentos ciegos**

Son los que no poseen indicadores visibles de la variable a medir, estos son utilizados con mayor frecuencia para la activación de alarmas porque pueden ser configurados con valores preestablecidos como por ejemplo, termostatos, transmisores de nivel, transmisores de presión, etc. (figura 20).

**Figura 20.** Instrumento ciego.

## Instrumentos indicadores

Al contrario que los instrumentos ciegos estos poseen una escala graduada con su respectivo índice, en la que indica el valor de la variable medida, por ejemplo sensores de presión, sensores de nivel,etc ver figura 21.

**Figura 21.** Instrumentos indicadores.

## Los elementos primarios

De acuerdo con Creus Solé (2007), los elementos primarios están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada, ver figura 22.

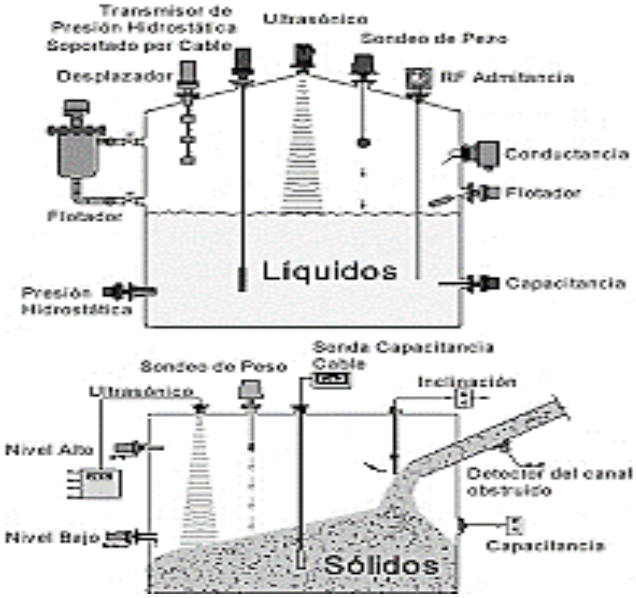



**Figura 22.** Elemento primario.
(FACET UNT, 2013).

**Los transmisores**

La señal es obtenida desde un elemento primario y la transmiten a distancia en forma de una señal neumática en el rango de 3 a 15 PSI (libras por pulgada cuadrada) en electrónica de 4 a 20 mA (mili amperios) de corriente continua, (Creus Solé,2007).

**Los controladores**

Son aquellos que realizan una comparación entre la variable medida y el valor deseado; por lo cual, toman acciones correctivas según la desviación.

### 2.6.9.2 Clase de instrumentos de medición en función de la variable de proceso

El proceso de una planta posee variables como caudal, nivel, temperatura, presión, densidad, viscosidad, velocidad,etc. Su clasificación va en función del tipo de señal que esta posea.

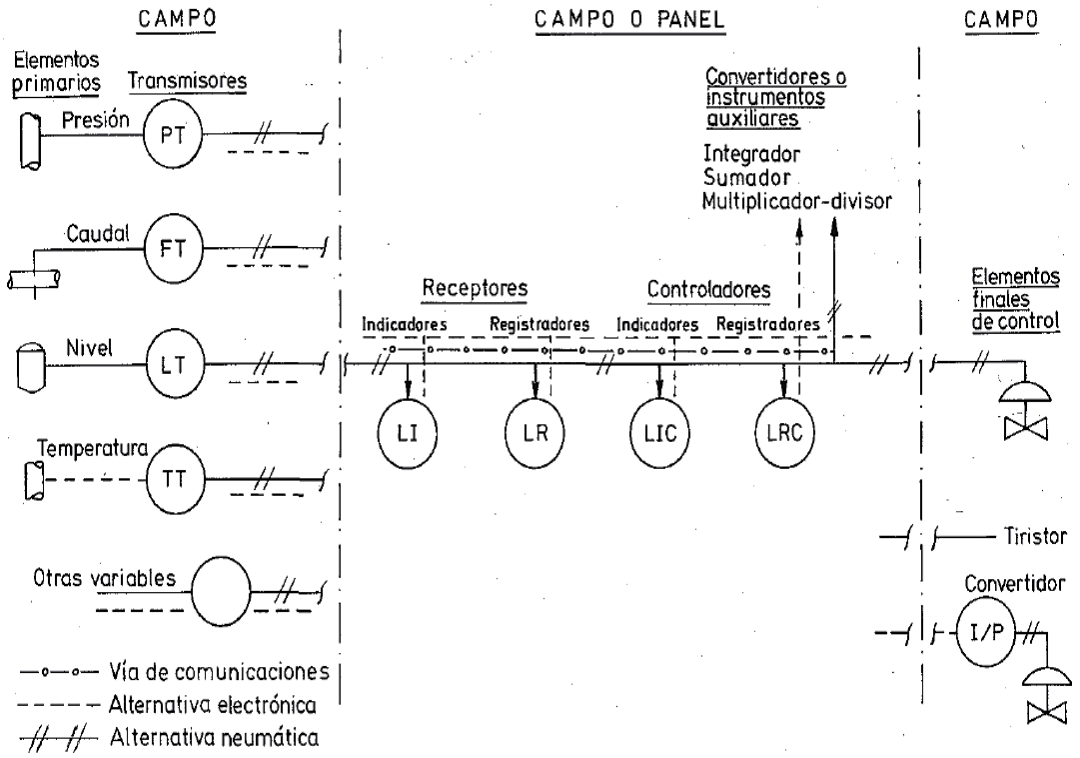



**Figura 23.** Tipos de sensores.
(Creus Solé,2007).

En la figura 23, se muestra algunos de los sensores anteriormente mencionados, ubicados ya sea en campo o en paneles de supervisión.

### 2.6.10 MAGNITUDES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Los circuitos electrónicos se dividen en dos categorías: digitales y analógicos. De acuerdo a Floyd Thomas (2006), expresa que la electrónica digital utiliza magnitudes con valores discretos, en cambio la electrónica analógica trabaja con valores continuos.

#### 2.6.10.1 Mágnitud analógica

Una magnitud analógica figura 24, es una medición cuantitativa dentro de un rango continuo de valores, por ejemplo, mayormente la naturaleza impone cosas que pueden ser medidas cuantitativamente y aparecen en forma analógica como es el caso de la temperatura, esta varía dentro de un rango el cual no cambia de 20°C a 30°C instantáneamente, sino más bien esta toma valores infinitos dentro del rango de medición como 20.53°C o 39.65°C.

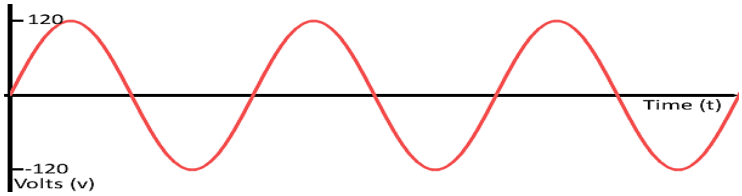



**Figura 24.** Señal analógica.
(MCI capacitación, 2013).

#### 2.6.10.2 Mágnitud digital

Una magnitud digital figura 25, toma valores discretos, lo cual es ventajoso al momento de procesarlos o transmitirlos. Esta magnitud es más confiable en comparación a los datos analógicos y son almacenables de una forma compacta. Una señal digital contiene información binaria que representan secuencias de bits, representada por un ALTO al que se le otorga un 1 y un BAJO al que se lo representa como un 0. De acuerdo con Thomas Floyd (2006), cada bit dentro de una secuencia necesariamente ocupa un periodo de tiempo definido, al que se lo define como periodo de bit.

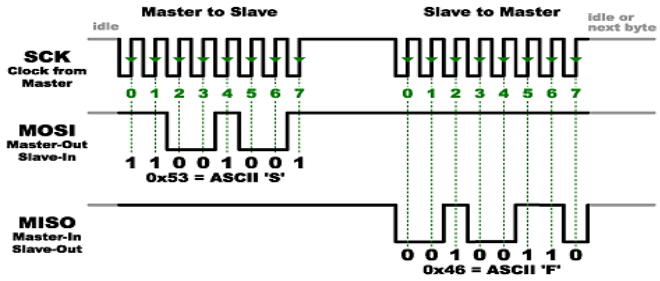



**Figura 25.** Señal digital.
(MCI capacitación, 2011).

### 2.6.11 REDES DE COMUNICACIÓN

Una red de comunicación en una planta es una parte imprescindible en la industria actual. Hoy en día se pueden encontrar muchos equipos los cuales pertenecen a un sinnúmero de fabricantes, funcionan a distintos niveles de automatización, aunque suelen estar ubicados en diferentes lugares y con distancias alejadas, generalmente se necesita que trabajen sinérgicamente para obtener resultados deseados de él o los procesos. Se establece como objetivo tener una comunicación total del sistema a la que se la conoce como CIM (Computer Integrated Manufacturing).

En la actualidad existe una gran variedad de aplicaciones industriales que se basan en comunicación digital, permitiendo la comunicación entre sensores, actuadores, dispositivos de control con la estación de control obteniendo así la visualización y supervisión del proceso, toma de datos de los dispositivos instantáneamente, posibilidad de intercambio de información entre ellos y además programación a distancia sin tener la necesidad de estar junto al equipo para programarlo, (Ingeniería de Sistemas y automática de la Universidad de Oviedo, 2012).

#### 2.6.11.1 Clasificación de las redes industriales

En un ámbito industrial existen varios tipos de redes, las cuales son ubicadas mediante niveles jerárquicos dependiendo de los dispositivos que se encuentren en el entorno industrial, (ver figura 26).
A menudo se plantean cuatro niveles:

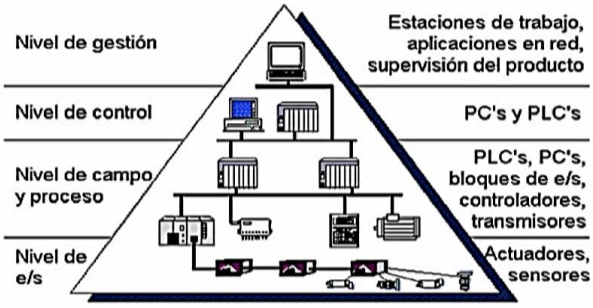



**Figura 26.** Clasificación de las redes industriales.
(Hurtado, 2013).

**Nivel de E/S (Nivel actuador/sensor). -** conocido también como nivel de instrumentación, cuenta con sensores y actuadores que están relacionados directamente con el proceso productivo, estos se encargan de ejecutar ordenes de los elementos de control modificando el proceso productivo y los sensores miden las variables en el proceso de producción, (Hurtado José,2013).

**Nivel de Campo y Proceso. -** en este nivel se plantean aquellos equipos capaces de gestionar a los distintos dispositivos de campo, como pueden ser autómatas programables o equipos que posean microprocesadores capaces de controlar sensores y actuadores permitiendo la interacción entre estos. Los dispositivos de este nivel junto con los dispositivos de nivel inferior de entrada/salida, poseen entidad para realizar procesos por sí mismo, cabe señalar que, aunque puedan realizar operaciones de control estos deben estar comunicados por buses de comunicación interconectando sensores y actuadores según el proceso lo requiera, (Ingeniería de Sistemas y automática de la Universidad de Oviedo, 2012).

**Nivel de Control. -** también llamado nivel de célula, todos los dispositivos que se encuentran en campo pueden llegar a ser monitorizados siempre y cuando exista un sistema de comunicación adecuado, el cual permita la comunicación con los niveles de gestión. Este nivel de control está constituido por computadores o pantallas de visualización de tipo industrial, en donde principalmente se obtiene información del estado en que se encuentra la planta mediante una visualización virtual a escala de los componentes que la

planta posee permitiendo así la supervisión, monitoreo y control de los equipos como pueden ser los actuadores. La comunicación se realiza mediante buses de campo o también redes LAN de altas prestaciones ya que suele someterse a un gran tráfico de datos debido a la comunicación con los equipos, (Hurtado José,2013).

**Nivel de Gestión. -** este nivel consta de computadores que no están inmiscuidos en el proceso de producción, es decir que no es de relevancia obtener información de la supervisión y estado del proceso de la planta, lo que si es de gran relevancia es aquella información que forma parte de una estadística que conlleva los costes de producción, el rendimiento de la planta, la capacidad operativa y además información que permita crear estrategias de ventas que permitirá la eliminación de materia prima almacenada, por ende las comunicaciones en este nivel no necesariamente deben ser robustas con grandes velocidades de respuesta o de tipo industrial, se utilizan redes de costo medio como redes Ethernet permitiendo la comunicación con computadores que se encuentran dentro de este mismo nivel, (Hurtado José,2013).

#### 2.6.11.2 Comunicación serial RS-232

Según Luis Corrales (2004), señala que existen dos tipos de comunicaciones digitales seriales: sincronas y asíncronas.

En la transmisión síncrona, los bits son enviados uno tras otro por una línea que une a la salida del transmisor TXD (ubicado en un extremo) con la línea de recepción RXD del otro extremo. El transmisor y el receptor son sincronizados por medio de una línea adicional, transmitiendo pulsos de reloj que indica cuando un pulso es válido.

La transmisión asíncrona no posee una señal de reloj, esta posee una técnica llamada “encapsulamiento” con un bit de inicio y uno o dos de parada, (Corrales Luis, 2004).

**BIT DE INICIO.-** En el momento que el receptor detecta el bit, este asume que la trama empezó y en ese instante empieza a leer las señales.

**BIT DE PARIDAD.-** Con este bit se encuentran errores en la transmisión.

**BIT DE PARADA.-** Indica la finalización de la transmisión de datos el cual permite 1, 1.5 o 2 bits de parada, (Corrales Luis,2004).

Antes de realizar una comunicación mediante el puerto RS-232 se debe establecer el protocolo a seguir mediante el cual se definirá lo siguiente:

- Número de bits de datos.
- Velocidad de transmisión.
- Protocolo de control de flujo.
- Paridad.
- Número de bits de parada.

La velocidad de transmisión normalmente es de 9600 bits por segundo para aplicaciones industriales. De acuerdo a Luis Corrales (2004), añade que esta debe ser constante para garantizar que los bits lleguen uno tras otro en el momento correcto ya que cualquier retardo puede ocasionar errores.

#### 2.6.11.3 Comunicación serial RS-485

En la anterior comunicación (RS-232) el alcance máximo es de 15 m lo que es un impedimento para realizar comunicaciones industriales a gran escala. Esta comunicación fue creada para mejorar la comunicación RS-232 en cuanto respecta a velocidad de transmisión, inmunidad al ruido y conexiones multipunto, (Corrales Luis, 2007).

Esta comunicación se realiza mediante voltaje balanceado o también llamado voltaje diferencial, lo que obliga a emplearse dos líneas para cada señal. Esto quiere decir que la primera línea a la que se llamará A y la segunda línea a la que se llamará B, si se quiere recibir un ALTO debe cumplirse que A<B y si se desea recibir un BAJO entonces A>B siempre que la diferencia supere un umbral de 200 mV.

### 2.6.11.4 Buses de campo

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información el cual simplifica la instalación y operación de los dispositivos y/o máquinas utilizados en procesos de producción.

Este posee un objetivo que es la sustitución de la comunicación punto a punto entre los elementos establecidos en campo y el sistema de control mediante el lazo de corriente de 4 a 20 mA o de 0 a 10 V DC. Este bus se encuentra conectado a elementos de campo como sensores, actuadores, PLC y equipos de supervisión, (Sistemas Industriales de la Universidad de Valencia, 2012).

**PROFIBUS**

Posee tres versiones las cuales se orientan a diferentes propósitos como son:

**Profibus DP (Distributed Peripherals).-** Este bus de comunicación se orienta a sensores, actuadores, módulos E/S que se encuentren conectados al PLC. Se orienta a una transmisión de datos a alta velocidad y un costo reducido.

**Profibus PA (Process Automation).-** Se orienta al control de procesos mediante sistemas de seguridad para la industria química, este permite la transmisión de datos y energía mediante el mismo bus acorde el estándar internacional IEC 1158-2 para ambientes hostiles en donde se puede producir explosiones.

**Profibus FMS (Fieldbus Message Specification).-** Este se orienta a la comunicación entre equipos de automatización, se emplean para tareas de comunicación extensas y complejas, se da importancia a la funcionalidad a conseguir tiempos de reacción mínimos.

**FIELDBUS**

Es un protocolo de comunicación orientado a redes de comunicación digitales para redes industriales, puede comunicar una gran volumen de datos que se dan en lazos complejos de control.

**MODBUS**

Este protocolo transmite y recibe datos entre controladores por el conector RS-232 (conexión punto a punto) que permite un alcance de 350 metros mediante el sistema maestro-esclavo a diferencia que el protocolo MODBUS PLUS el cual posee un alcance de 1500 m con técnica de transmisión de paso de testigos que permite hasta 32 nodos, estos emplean el modo físico el par trenzado con apantallamiento con la tensión independiente en cada dispositivo, se recomienda para comunicaciones con HMI, (Sistemas Industriales de la Universidad de Valencia, 2012).

## 2.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

La asociación de fabricantes eléctricos de los Estados Unidos lo define como Controlador Lógico Programable (PLC). Es un dispositivo electrónico digital que posee una memoria; la cual sirve para el almacenamiento de instrucciones como pueden ser funciones lógicas, secuencias, temporizadores, funciones aritméticas, contadores,etc. Según Mateos Felipe (2001), un PLC es aquel que ejecuta un programa de forma cíclica con el fin de controlar módulos de entradas/salidas analógicas o digitales de diversos tipos de procesos, ver figura 27.

**Figura 27.** PLC.
(Schneider electric, 2010).

### 2.7.1 MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA

Son equipos que vienen juntamente con el PLC cuando este es compacto o también vienen separados por módulos que se añaden en un rack a modo de tarjetas cuando un PLC es modular. Estos dispositivos intercambian o envían señales al PLC.

Los módulos de entrada cumplen la función de describir el estado actual de la planta midiendo su entorno ya sean valores de presión, nivel, caudal,etc.

Los módulos de salida son los que ejecutan las señales que reciben del PLC modificando así el entorno de la planta, (Orozco Gutierrez, 2008).

### 2.7.2 ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

Se las conoce también por entradas/salidas binarias ya que pueden tomar el valor de ON/OFF o por dos estados 0 y 1. Cuando a una entrada llega una tensión a esta se la asume como ON y cuando no hay tensión se la toma como OFF. Los módulos de entradas y salidas digitales vienen dados por tensiones de 5, 12, 24 o 48 V DC y otros para tensiones mayores como son de 110 o 220 V AC ver figura 28,(Departamento de capacitación de S.A.I.C, 2013).

**Figura 28.** Módulo de entradas/salidas digitales.
(Schneider electric, 2010).

### 2.7.3 ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS

Estos módulos (ver figura 29), permiten la entrada de tensión o corriente dentro de un rango de 4 - 20 mA o 0 - 5 V o 0 - 10 V DC, obtenidos de diferentes sensores de temperatura, presión, caudal, etc,(Departamento de capacitación de S.A.I.C, 2013).

**Figura 29**. Módulo de entradas/salidas analógicas
(Schneider electric, 2010).

## 2.8 SOFTWARE DE SUPERVISIÓN, MONITOREO Y CONTROL WONDERWARE INVENSYS INTOUCH

Según Corrales Luis (2005), InTouch es un software que se utiliza para la creación de interfaces hombre - máquina bajo un entorno de computador personal (PC). Este software utiliza como sistema operativo a Microsoft Windows. El paquete está constituido por dos elementos: WINDOW MAKER y WINDOWVIEWER.

### 2.8.1 WINDOWMAKER

Permite el desarrollo de ventanas de supervisión, monitoreo y control las cuales pueden ser animadas gráficamente mediante gráficos predeterminados o también diseñados por el programador si así lo requiere y pueden ser conectadas a sistemas de entradas y salidas de otras aplicaciones creadas en Windowmaker ver figura 30, (Corrales Luis, 2005).

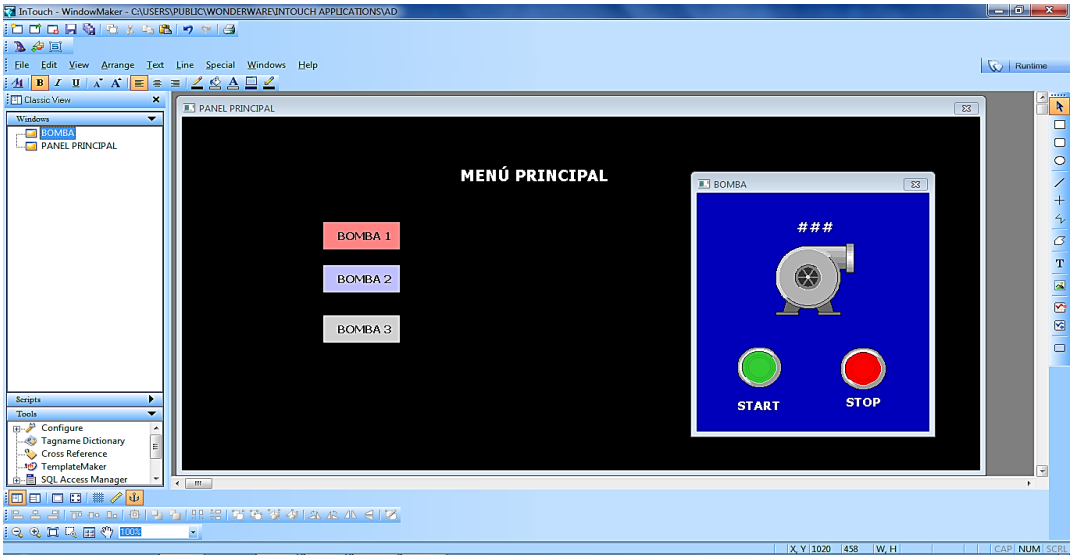



**Figura 3.** IDE de desarrollo Windowmaker.
(Software InTouch, 2014).

### 2.8.1.1 Tipos de ventanas

Las ventanas en InTouch disponen elementos animados, lógica asociada y finalmente tendencias y alarmas. Estas pueden ser de tres tipos, ver figura 31, (Corrales Luis, 2005).

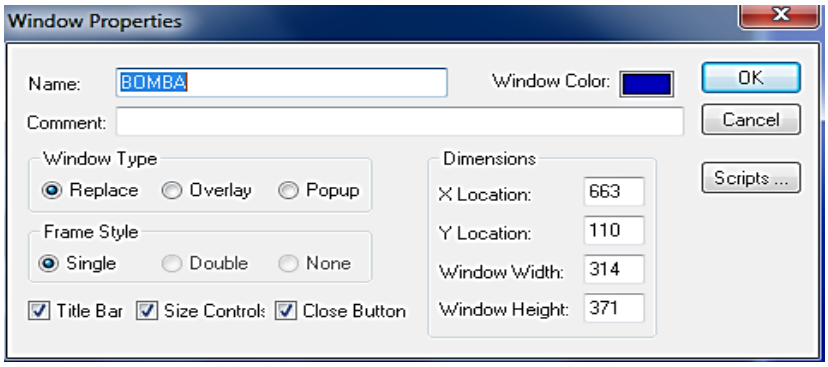



**Figura 4.** Tipos de ventanas en Windowmaker.
(Software InTouch, 2014).

**Replace. -** cierra las ventanas que estén actualmente mostrándose cuando se abre una de este tipo, incluidas las ventanas tipo popup y tipo replace.

**Overlay. -** se mostrará sobre la ventana desplegada. Al momento de cerrar una ventana tipo overlay, la ventana que está escondida se reestablecerá y se considerará como activa.

**Popup. -** funciona similar a la overlay con la única diferencia que esta no desaparecerá si pinchamos sobre otra obligando a cerrarla por nuestra cuenta.

### 2.8.1.2 Definición del tagname

De acuerdo a Corrales Luis (2005), enfatiza que el diccionario de tagnames es la parte fundamental de InTouch ya que este posee todos los valores de los elementos de la base de datos, cada tagname debe tener un nombre y tipo, ver figura 32.

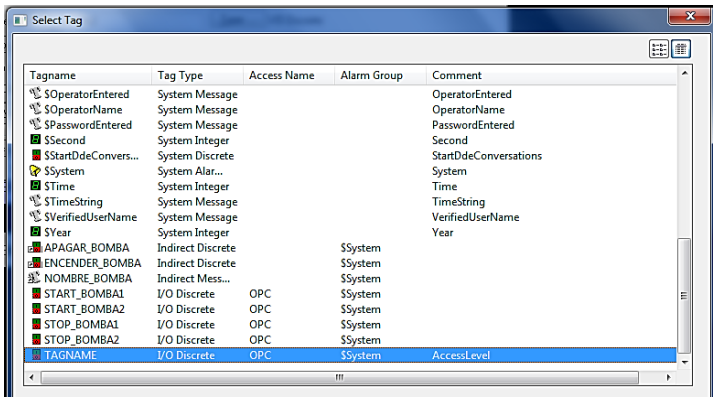



**Figura 52.** Diccionario de tagnames.
(Software Wonderware, 2014).

### Tipos de tagnames

InTouch posee diversos tipos de tagnames (figura 33), según su función y su característica como se muestra en la tabla 3.

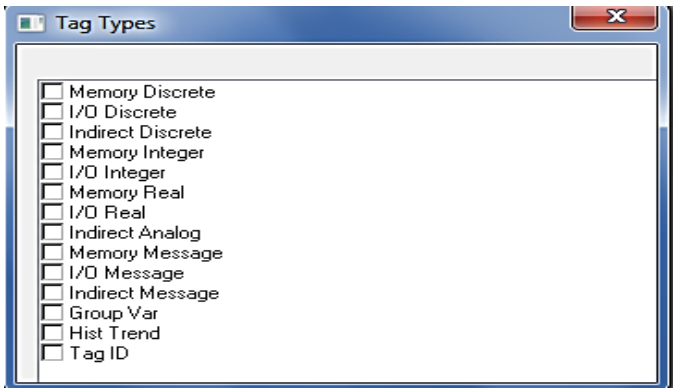



**Figura 6**. Tipos de tags.
(Software InTouch, 2014).

**Tabla 3.** Tipos de tagnames.

| | |
|---|---|
| MEMORY | Tags registros internos de InTouch |
| I/O | Registros de enlace con otros programas |
| INDIRECT | Tags de tipo indirecto |
| GROUP VAR | Tags de los grupos de alarmas |
| HISTTREND | Tags que asocia a los históricos |
| TagID | Información acerca de los tags que están siendo visualizados en una gráfica histórica |

De los tres primeros tipos se puede escoger otros subtipos mostrados en la tabla 4:

**Tabla 4**. Subtipos de tagnames.

| | |
|---|---|
| Discrete | Puede tomar valores de 0 y 1 |
| Integer | Tagname de 32 bits con signo con un valor entre -2147483648 hasta 2147483647 |
| Real | Tagname de coma flotante con valores entre $\pm 3.4 \times 10^{38}$ |
| Message | Tagname Alfanumérico de hasta 131 caracteres de longitud |
| System tagnames | Tagnames del sistema los cuales permiten tener información de la hora, fecha, errores de la impresora |

### Animation links

Cuando un objeto fue creado o tomado desde el Symbol Factory que posee InTouch, este puede ser animado provocando un cambio en la apariencia del objeto que se verá reflejado en la base de datos, como por ejemplo el encendido de un motor que cambiará de color según su estado.

Cabe señalar que se pueden asignar múltiples tipos de animación para un solo objeto, como se muestra en la figura 34.

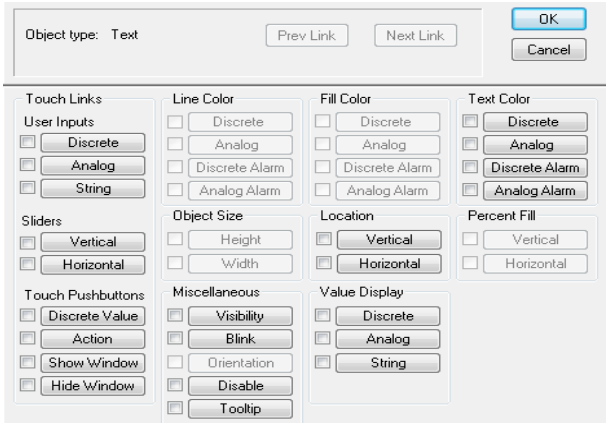



**Figura 74.** Animation links
(Software InTouch, 2014).

### 2.8.1.3 Asignación de tags indirectos

Un tag indirecto permite asignar varios tags según el programador los vaya necesitando, esto permite una programación reducida ya que por ejemplo, al tener varios sensores de nivel estos emitirán señales discretas o analógicas las cuales cambiarán el estado del objeto que las represente, por ende se puede crear una sola pantalla de supervisión, monitoreo y control que contenga elementos que representen a este sensor y que los valores vayan cambiando según el operador pinche en el sensor deseado evitando así crear muchas pantallas para cada sensor que básicamente cumplen la misma función. La nomenclatura para la asignación de tags indirecto se muestra en la figura 35, donde se muestra que el tagname indirecto llamado ENCENDER_BOMBA tiene asignado dos tagnames llamados START_BOMBA1 y START_BOMBA2 que permitirán realizar la petición de encendido mediante la asignación de cada tag al PLC.

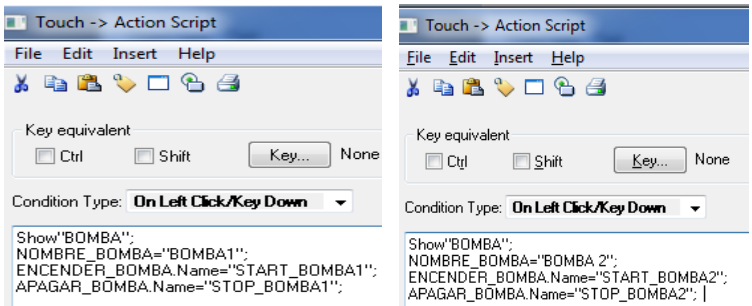



**Figura 85.** Tag indirecto.
(Software InTouch, 2014).

### 2.8.2 WINDOWVIEWER

Mediante este programa se puede correr las aplicaciones creadas en WINDOWMAKER, también se puede dar configuración de que pantalla es la que se mostrará cuando la aplicación se ejecute al igual que actualizar las entradas y salidas mediante un botón de actualización, además permite añadir o quitar menús los cuales no son necesarios para el operador, ver figura 36, (Corrales Luis, 2005).

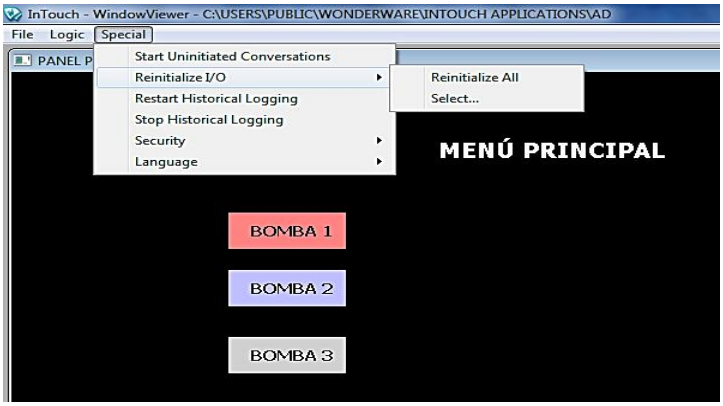



**Figura 96.** Windowviewer.
(Software InTouch, 2014).

### 2.8.3 ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOL

Es un software dentro el paquete de Wonderware, el cual trabaja a manera de servidor, dando información de variables tanto del PLC, dispositivos de campo y variables desde la HMI, ajustándose a los distintos dispositivos que manejan varios tipos de comunicación. La interfaz se muestra en la figura 37.

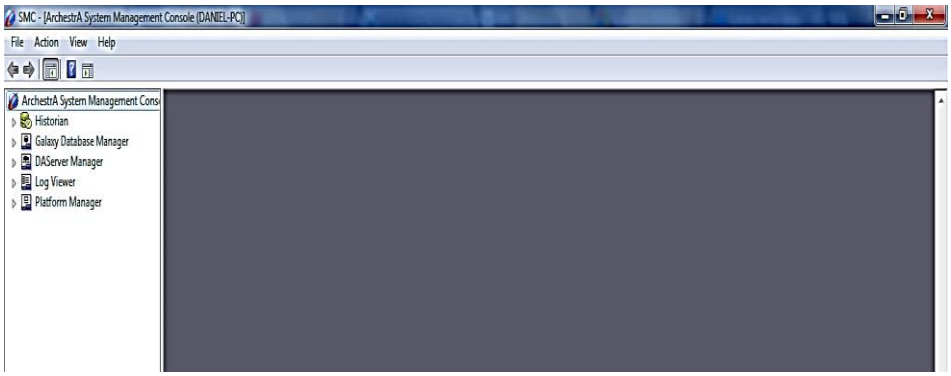



**Figura 37.** Archestra System Management Consol
(Software Wonderware, 2014).

# 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se utilizará el enfoque llamado “Modelo V” para el desarrollo de sistemas mecatrónicos, que se puede apreciar en la figura 38.

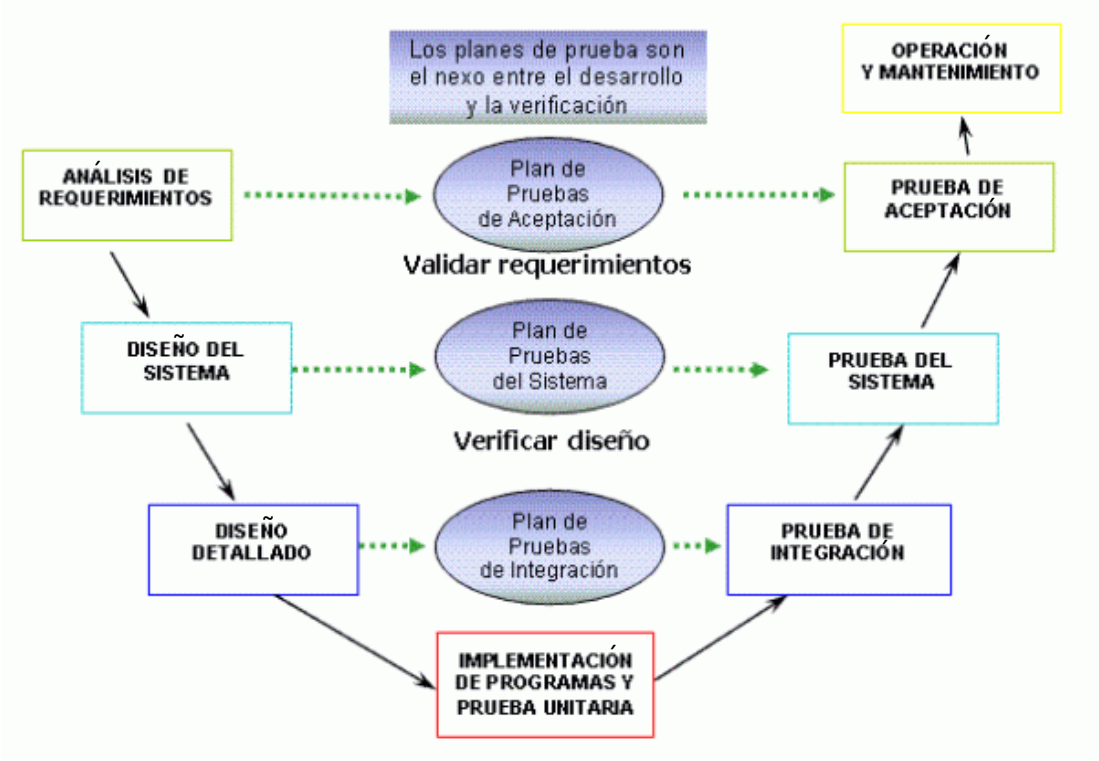



**Figura 38.** Modelo V para el desarrollo de sistemas mecatrónicos. (Herrera, 2007).

Deduciendo de la información de la figura 38 anteriormente mostrada, el modelo V establece como punto de partida un análisis de los requerimientos del sistema; los cuales definirán al objetivo principal. Continuando con el modelo se llega al diseño del sistema en donde se decreta la solución que describa las fundamentales características físicas y operativas del producto, además como sub-funciones se tiene el diseño detallado del producto donde se determinará de una manera minuciosa la funcionalidad, modos de operación, cálculos, modelos CAD (Computer Aided Desing).

Avanzando con este modelo, se tiene la etapa de pruebas de integración, en donde se une los resultados obtenidos individualmente comprobando así su sinergia para poder llegar a garantizar el cumplimiento de sus funciones. El siguiente punto del modelo V, se realizan las pruebas del sistema, se pueden utilizar diversos programas para ejecutar simulaciones evitando así problemas

generados por errores obtenidos durante el desarrollo del sistema. Llegando a la etapa final del modelo V, se encuentra la etapa de pruebas de aceptación, en las cuales el sistema desarrollado debe estar en el ambiente para el cual fue creado, pudiendo conocer su desempeño mediante rigurosas pruebas de funcionamiento y operación, permitiendo tener la aceptación de su desarrollo cumpliendo los requerimientos de entrada.

## 3.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

- Actualización de la versión del software de supervisión, monitoreo y control Wonderware Invensys InTouch.
- Actualización de la instrumentación obtenida en campo así también de los equipos implementados.
- Estandarizar el contenido de las pantallas.
- Visualizar el proceso.
- Estandarizar formatos (letras, colores).
- Visualización de la información necesaria.
- Mantener la visualización de los equipos de la estación y permitir un acceso al control de cada uno de ellos.
- No exceder de 5 capas.
- No sobrepasar de 70 ventanas.
- Mantener una distribución coherente de la información mediante áreas de visualización para datos, control, etc.
- Tener símbolos estándar mediante la norma ISA 5.2.

## 3.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

De acuerdo a Verein Deutscher Ingenieure (2004), el diseño del sistema se enfoca en las características físicas y lógicas del funcionamiento del proyecto, además un sistema mecatrónico consta de una estructura básica la cual hace referencia a los sensores, actuadores, procesamiento de la información, sistemas de comunicación, un entorno y al usuario, para la apreciación de lo anteriormente mencionado ver la figura 39.

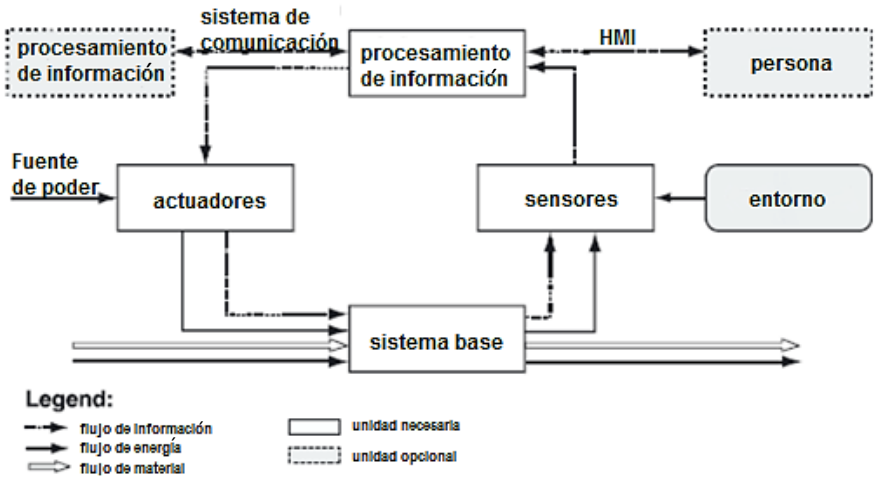



**Figura 10**. Estructura básica de un sistema mecatrónico. (Verein, 2004).

Estableciendo como referencia a la estructura básica de un sistema mecatrónico planteada por Verein Deutscher Ingenieure (2004), al proyecto, se tiene como resultado al diseño general que se puede apreciar en la figura 40.

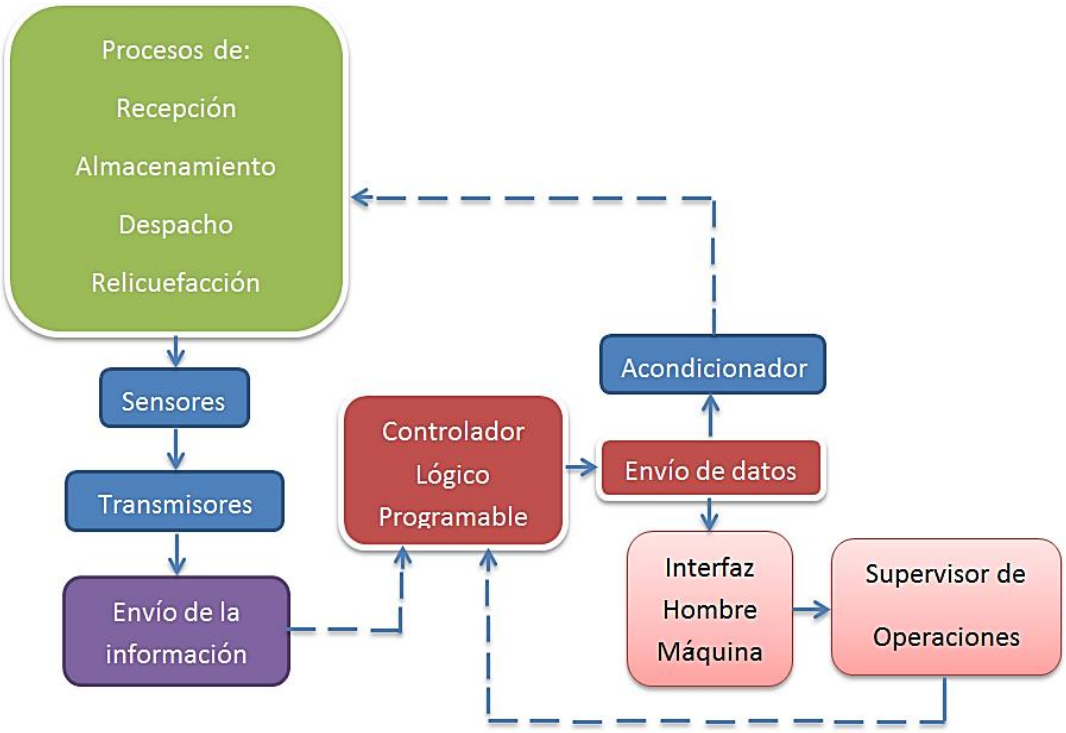



**Figura 11.** Estructura básica del sistema de supervisión, monitoreo y control de la estación de GLP Oyambaro

**Descripción:**

La estación de GLP Oyambaro posee distintas unidades que se encargan del proceso de recepción, almacenamiento, relicuefacción y despacho del GLP. Esta posee instrumentos de medición (caudal, flujo, densidad, presión, nivel, temperatura, etc.), que envían información por medio de diferentes protocolos de comunicación (Modbus plus, Ethernet, RS-232, RS-485, etc.), hacia un módulo de recepción de datos. Este a su vez transmite hacia un controlador dotado con módulos de entrada/salida analógicos y digitales, conociéndose así el estado en que se encuentra la estación. La información obtenida es enviada hacia el sistema de supervisión, monitoreo y control; el cual es inspeccionado por los operadores, que disponen acciones para cumplir el proceso que tiene como finalidad esta estación.

# 4. DISEÑO

## 4.1. PLANOS P&ID

La elaboración del plano de la estación de GLP Oyambaro se basa en el levantamiento de la información de los instrumentos ubicados en campo al igual que los actuadores, tuberías e infraestructura, representándolas en un diseño similar a la estación real a través del uso de un software (CAD). La nomenclatura se sustenta en normas internas de la empresa que permite describir por nombre y código a los activos que esta posee, también se sustenta en normas de estandarización como la ISA 5.2, que sugieren distintos símbolos, formatos y colores utilizados internacionalmente en el diseño de estos planos. Como ejemplo se establecen diferentes áreas con su respectiva nomenclatura que posee la estación descritas en la tabla 5.

**Tabla 5.** Nomenclatura de las áreas de la estación de GLP Oyambaro.

| **Área** | **Número** |
|---|---|
| Almacenamiento | 00 |
| Bombas | 01 |
| Islas de carga | ## |
| Reductora de presión | ## |
| Unidad de relicuefacción | ## |
| Tanque bullet | ## |
| Poliducto | ## |
| Gasoducto | ## |
| Manifold de GLP fase líquida | ## |
| Compresor de aire | ## |
| Lubricación | ## |

La nomenclatura para identificar un equipo ubicado en campo tiene seis dígitos y una letra, los cuales describen el área en el que se encuentra, el número de instrumento dentro de esa área, si este es de entrada/salida, instrumentación, drenaje o venteo. Finalmente cuenta con una letra que indica si existe más de un dispositivo, para más detalle se muestra la figura 41.

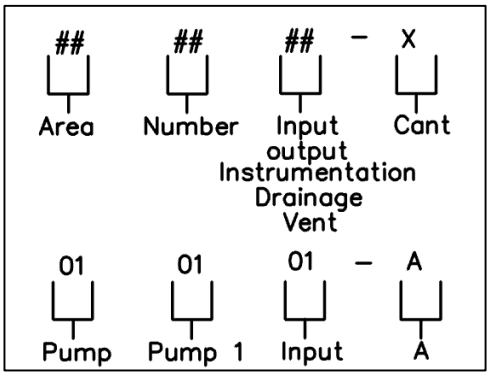



**Figura 41.** Nomenclatura para el etiquetado de equipos.

También es necesario la identificación de las tuberías por medio de colores para indicar el tipo de producto que estas tansportan, las que son detalladas a continuación en la figura 42.

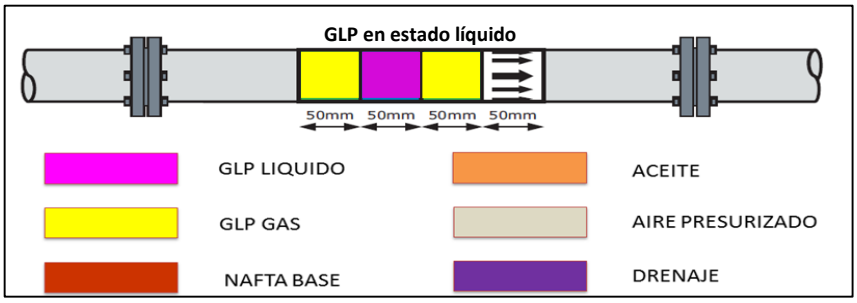



**Figura 42.** Nomenclatura para el etiquetado de tuberías.

El plano de la estación de GLP Oyambaro, se encuentra a mayor detalle en el anexo 1.

### 4.1.1. CONFIGURACIÓN DE ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOL

Para la configuración del servidor se creará un nuevo nodo en la comunicación TCP/IP ver figura 43, que es la que maneja el controlador lógico programable en donde se escribirá la dirección IP del módulo de comunicación (NOE 77111), pasando a describir las variables que se quieran leer del controlador, abriendo la tabla Device Items, ver figura 44.Si se tiene dispositivos que manejen otro protocolo de red la comunicación se la realizará mediante el mismo servidor, creando un nuevo nodo que dependerá del protocolo que el dispositivo maneje.

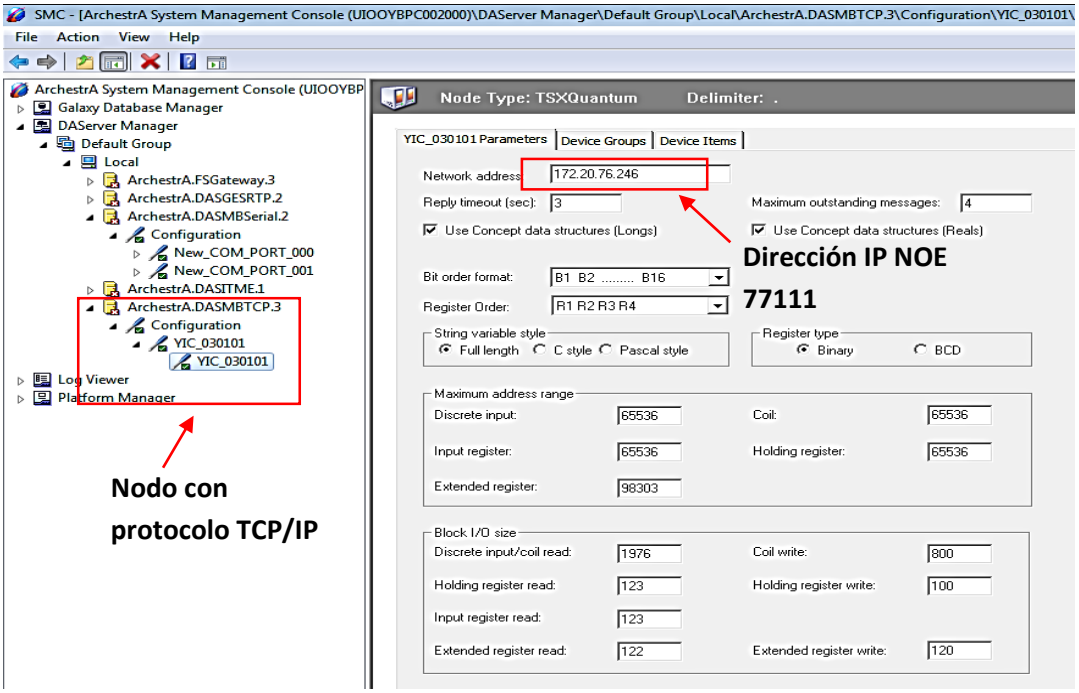



**Figura 43.** Configuración de Archestra System Management Consol.

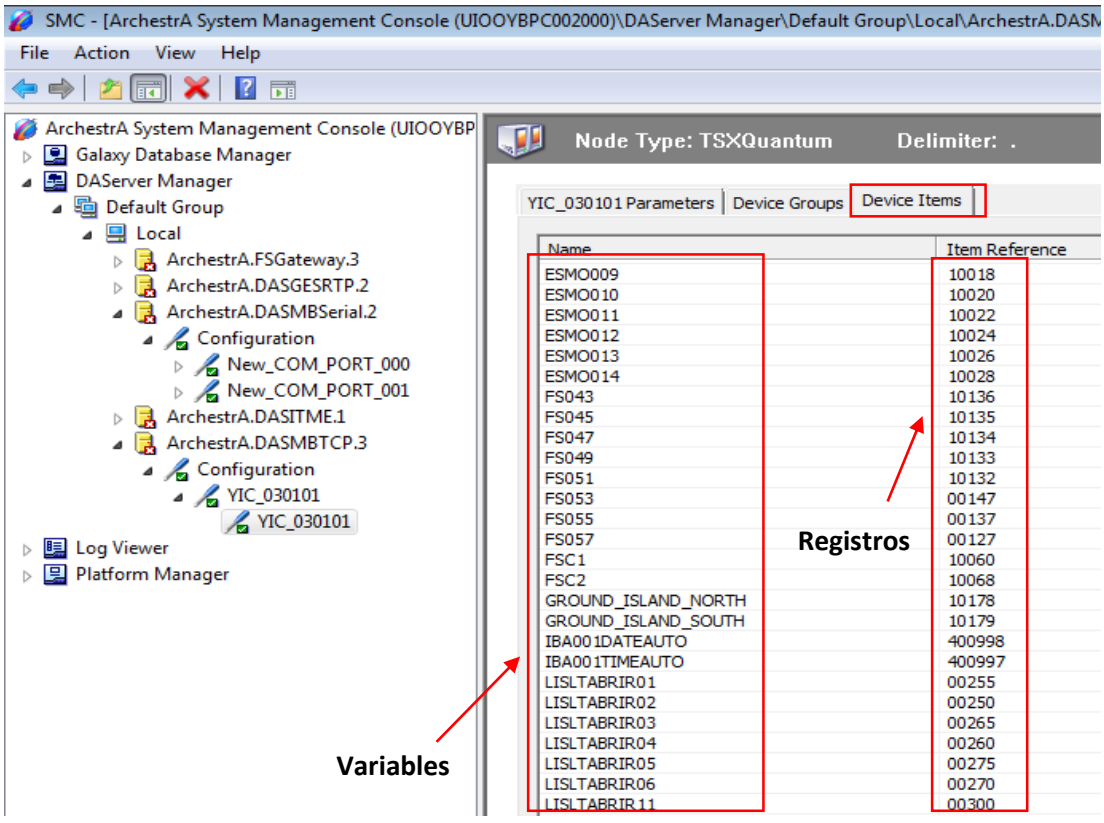



**Figura 12**. Variables desde Archestra System Management Console.

### 4.1.2. NIVEL DE RED

La red de comunicación empleado en este proyecto está dentro del nivel de control (figura 45), ya que la HMI permite establecer la comunicación con el autómata programable el cual se encarga de obtener información del estado de la estación mediante dos módulos de entradas/salidas digitales y analógicas los cuales transmiten información al módulo de comunicación mediante los dos protocolos Ethernet y RS232 que trabajan con redundancia permitiendo un flujo de datos a gran velocidad los cuales también permiten que la comunicación no se caiga por diversos factores indeseables, el autómata programable también se comunica con niveles inferiores de red como son los dispositivos de control de motores, variadores de velocidad, etc. A la vez con los respectivos actuadores como motores, válvulas electromecánicas, etc.

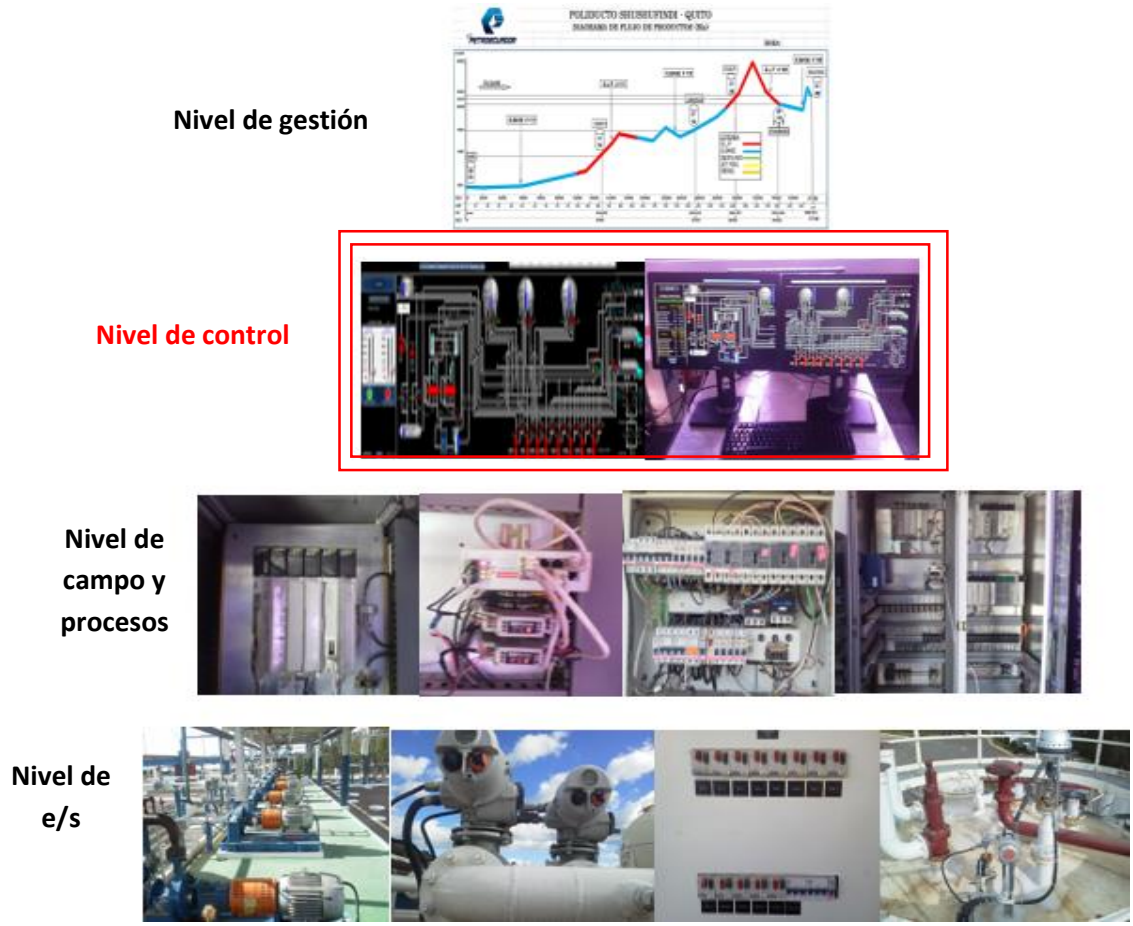



**Figura 135.** Red industrial de la estación de GLP Oyambaro.

### 4.1.3. ÁREAS DE LA ESTACIÓN DE GLP OYAMBARO

La estación tiene como diseño actual las áreas que se describen a continuación.

#### 4.1.3.1. Entrada del poliducto Shushufindi-Quito a Oyambaro

La recepción del GLP se realiza por medio de dos válvulas (figura 46), una que es la que permite el cierre del poliducto hacia el terminal del Beaterio, cuando la lectura de la instrumentación ubicada en este punto indique una densidad aproximada de 680 $Kg/cm^3$, en este momento se determina que no es GLP ni tampoco gasolina base, se procede entonces a cerrar la válvula de paso hacia el Beaterio; procediéndose a abrir la válvula de entrada hacia la estación de GLP Oyambaro. De esta manera, se evita que el GLP avance hasta el terminal del Beaterio, debido a que en estas instalaciones no existe la infraestructura para el tratamiento del mismo. En caso de que la densidad sea de 580 $Kg/cm^3$ se determina que es GLP el que esta arribando hacia el terminal Oyambaro.

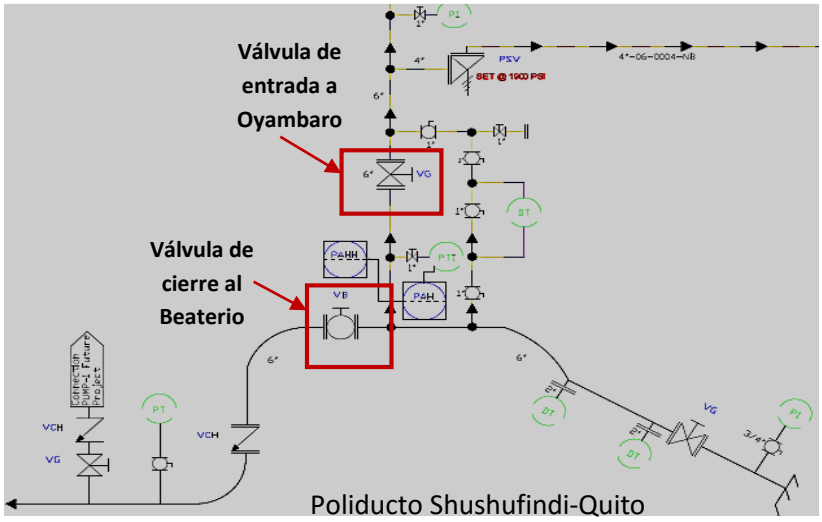



**Figura 14.** Válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

La operación de la válvula de entrada del poliducto se describe en el diagrama de flujo de la figura 47.

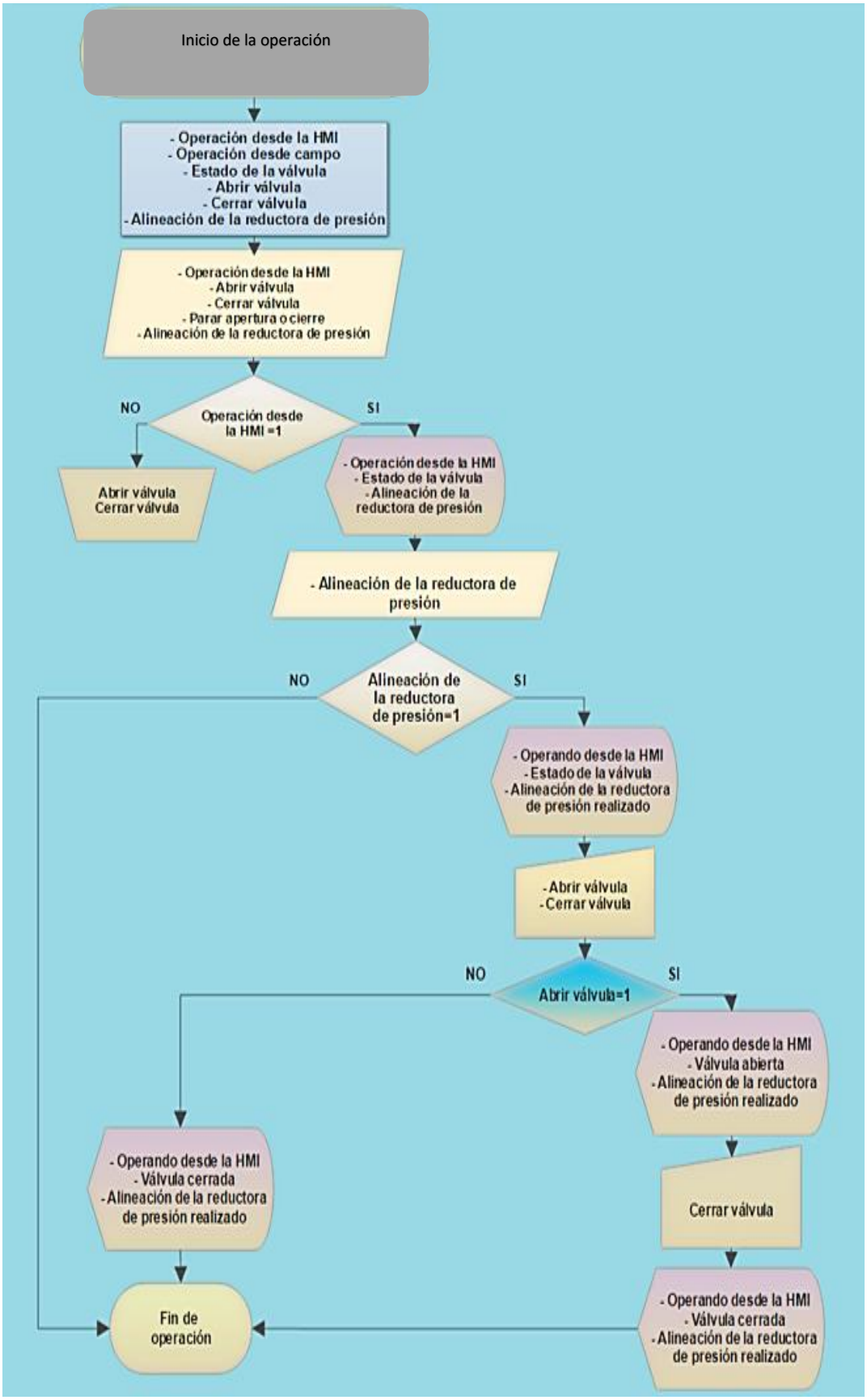



**Figura 15.** Operación de la válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito.

Las variables utilizadas al igual que el tipo de comunicación que esta posee son descritas en la tabla 6.

**Tabla 6.** Variables utilizadas para el control de la válvula de entrada del poliducto Shushufindi-Quito

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| LISLTABRIR11 | Discreta | TCP/IP |
| LISLTCERRAR11 | Discreta | TCP/IP |
| LISLTSTOP11 | Discreta | TCP/IP |
| LISLTOP11_CA | Discreta | TCP/IP |
| LISLTCL11_CC | Discreta | TCP/IP |

La toma de datos se lo realiza mediante el protocolo TCP/IP, el cual es adquirido mediante el software de adquisición de datos Archestra System Management Consol, que es el que se encarga de leer los datos del PLC o directamente de los equipos que posean un protocolo independiente los cuales son requeridos por la interfaz.

**Descripción de la HMI de la válvula de entrada:**

La interfaz está en la capacidad de controlar la válvula de entrada mediante un panel de control que cuenta con pulsadores de apertura y cierre de la válvula, también describe el modo de operación en campo o desde la interfaz. El acceso al control de esta válvula se lo hace en cualquier momento, es decir si se está supervisando una bomba o cualquier otro equipo y es necesario realizar la operación de control de la válvula, el acceso es inmediato desde cualquier punto de la navegación de la interfaz sin tener que seguir un proceso para llegar al panel que permita el control de la mencionada válvula. Si el caso lo amerita, también se puede acceder al panel de control de la válvula mediante la operación del proceso de recepción, en la cual muestra solo la información extrictamente necesaria para este proceso ver figura 48.

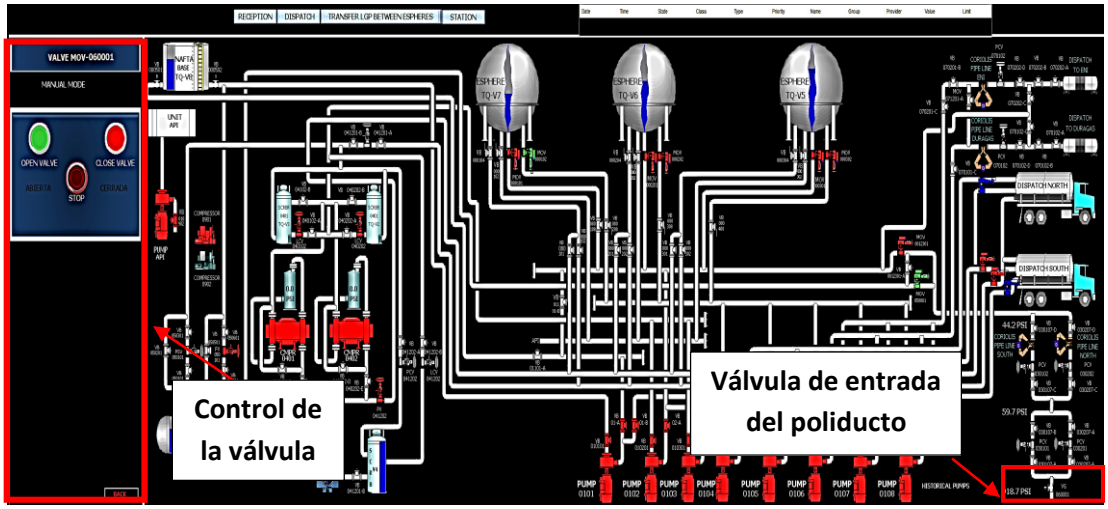



**Figura 16.** HMI Operación de la válvula de entrada de poliducto.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

### 4.1.3.2. Reductora de presión

La unidad reductora de presión que se aprecia en la figura 49, está constituída por dos etapas:

La primera etapa posee trenes redundantes sur y norte que son los que se encargan de reducir la presión del poliducto. Por el tren sur de 900-1300 PSI a una presión de 180-250 PSI por medio de una válvula de control con posicionador neumático de 4 pulgadas, y el tren norte de 900-1300 PSI a una presión de 120-150 PSI por medio de una válvula con actuador electrohidraúlico de 2 pulgadas.

La segunda etapa muy parecida a la primera también posee trenes redundantes norte y sur que reducen la presión de una manera más suave a 90 PSI y no tan drástica como lo hace en la primera etapa anteriormente mencionada, así se obtiene la presión ideal para el óptimo manejo dentro del terminal de GLP Oyambaro. Al final de la segunda etapa reductora de presión se cuenta con dos medidores de flujo tipo Coriolis que se encargan de enviar datos obtenidos como son: flujo másico, volumen, densidad, flujo volumétrico, etc. mediante protocolo Mobus RS485 a la HMI (interfaz hombre máquina) los cuales serán receptados y transformados a variables de ingeniería.

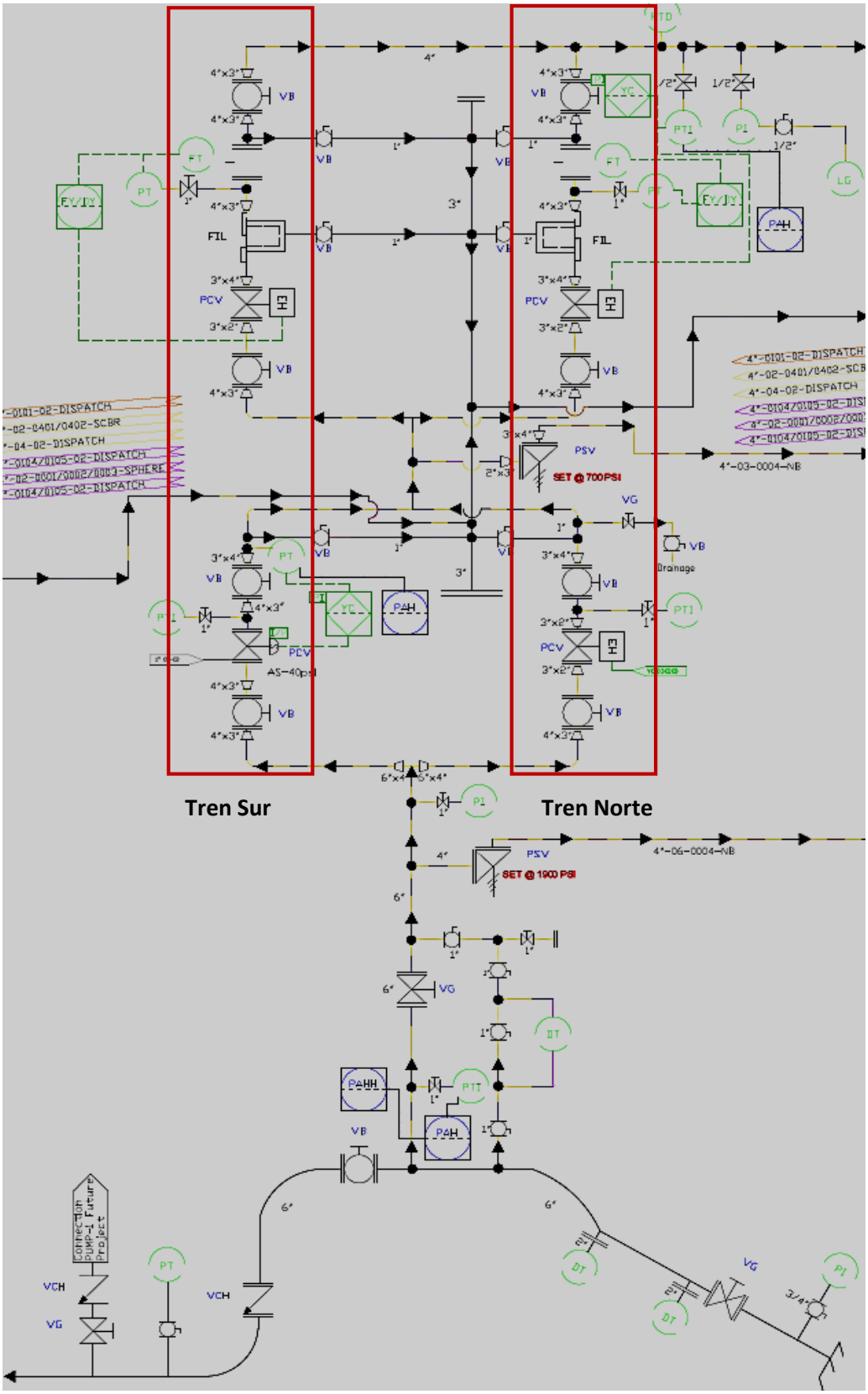



**Figura 17.** Válvula de entrada del poliducto.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

La operación de la válvula de control de presión se describe en el diagrama de flujo de la figura 50.

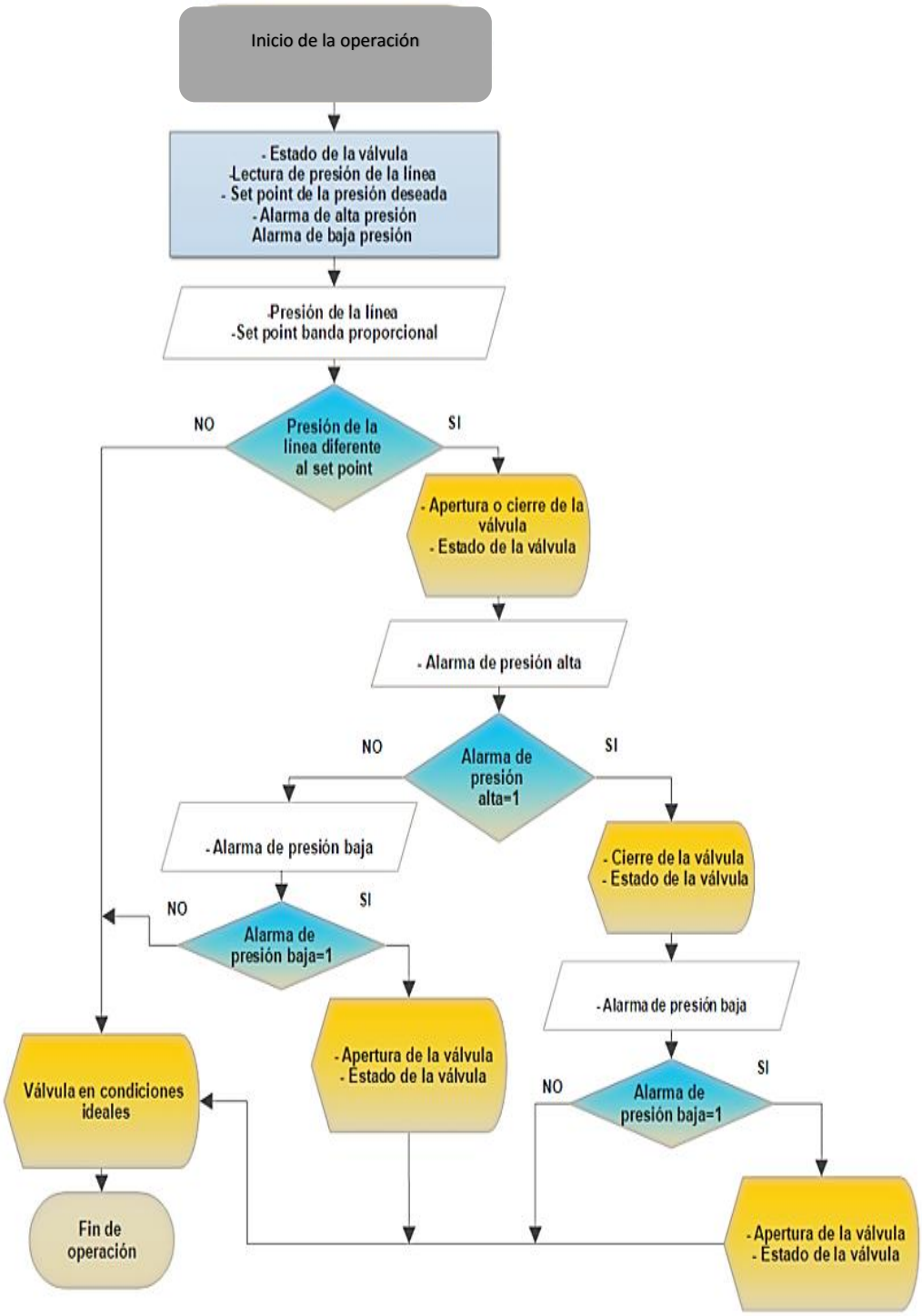



**Figura 18.** Operación de una válvula de control de presión.

Los respectivos tags de los equipos se describen en la tabla 7.

**Tabla 7.** Variables utilizadas para el control de la válvula de control de presión.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| SETPOINT_PID_1 | Analógica | TCP/IP |
| BANDAP_PID1 | Analógica | TCP/IP |
| PID1 | Analógica | TCP/IP |

### Descripción de la HMI de la reductora de presión:

La interfaz de la unidad reductora de presión habilita los paneles que se despliegan pinchando en los equipos como son: válvulas de control de presión tanto del primer y segundo tren y medidores de flujo tipo Coriolis tanto del tren norte como del tren sur.

Los medidores de flujo tipo Coriolis no poseen ningún tipo de control, es decir que solo envía información al operador, es por ello que no se establece un diagrama de flujo, en el caso de las válvulas de control de presión si se establece un diagrama de flujo, ver figura 50, ya que estas sí poseen el control de los setpoints, donde se establece la presión que se quiere tener en la línea de cada tren de reducción de presión, mediante un control PID que recibe como dato la presión actual de la línea obtenida por un transmisor de presión ubicado al final de cada tren, que es comparada por el setpoint establecido por el operador y este controlador recepta información acerca de la corriente de salida; la cual posicionará a las válvulas y se obtendrá la presión deseada.

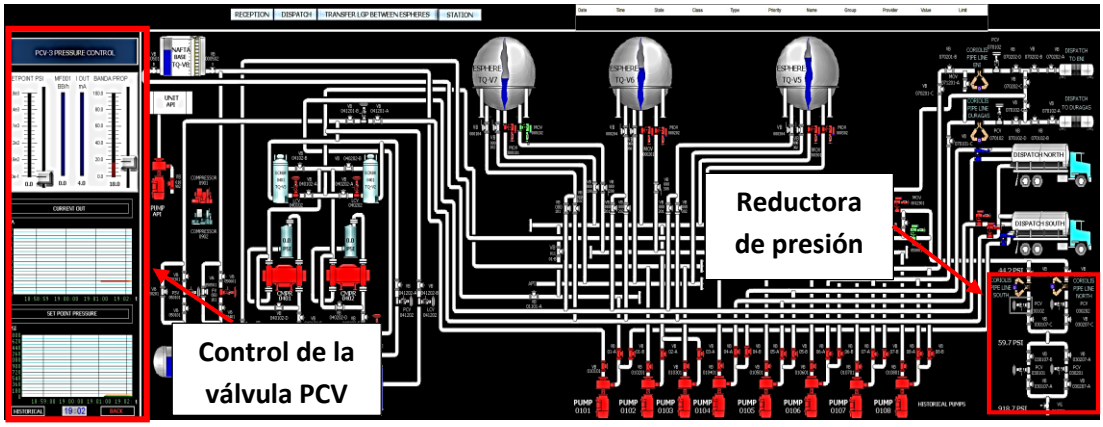



**Figura 51.** HMI Operación de la válvula de control de presión.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

### 4.1.3.3. Válvulas de distribución

Al finalizar la etapa de reducción de presión, el GLP llega a un colector de válvulas (figura 52), las cuales dan paso al flujo hacia las esferas de almacenamiento cuando los operadores estén seguros de que lo que está llegando al terminal es propiamente GLP; caso contrario, se abre la válvula que da paso al tanque bala.

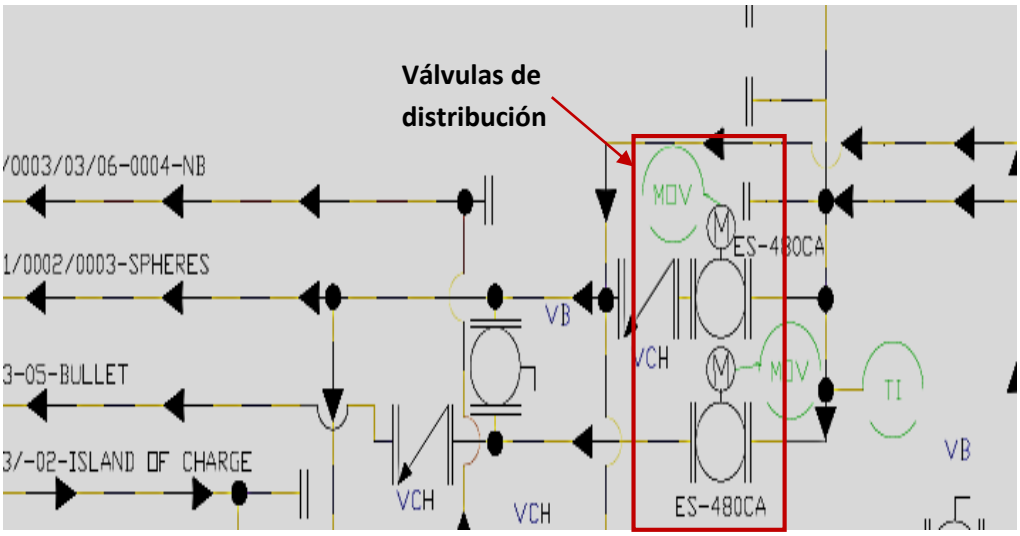



**Figura 19.** Válvulas de distribución.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

La operación de la válvula de distribución se indica en el diagrama de flujo de la figura 53.

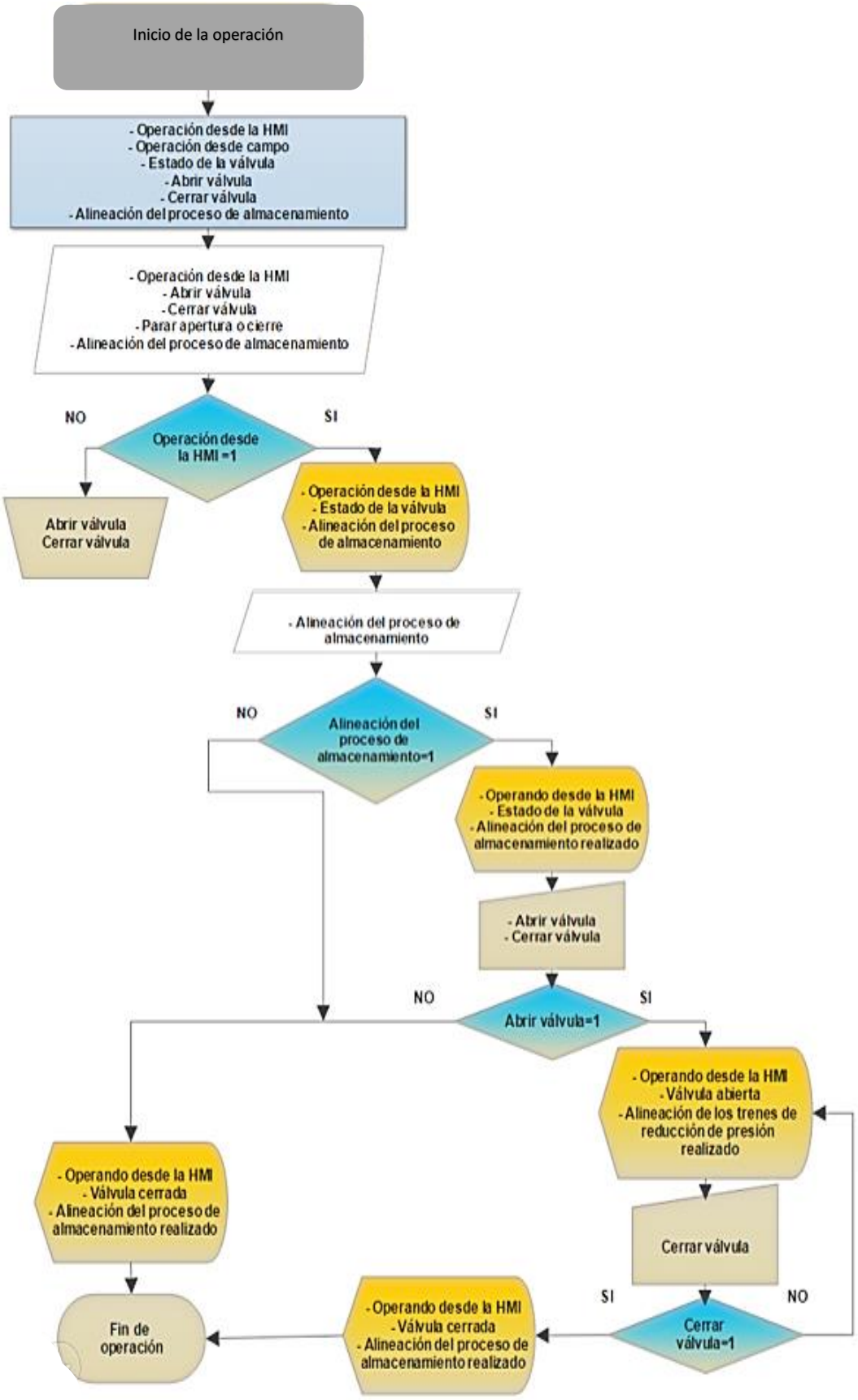



**Figura 20.** Operación de la válvula electromecánica.

Las variables que se utilizan para el desarrollo de la interfaz se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Variables utilizadas para el control de la válvula electromecánica.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| ABRIR_EMV2 | Discreta | MODBUS |
| CERRAR_EMV2 | Discreta | MODBUS |
| PARAR_EMV2 | Discreta | MODBUS |
| TORQUE | Analógica | MODBUS |
| POSICIÓN | Analógica | MODBUS |
| REMOTO | Discreta | MODBUS |
| LOCAL | Discreta | MODBUS |

**Descripción de la HMI de la válvula de distribución:**

Para la supervisión, monitoreo y control de estas válvulas, la interfaz cuenta con paneles individuales que se acceden durante cualquier operación, donde se visualiza pulsadores para la apertura, parada y cierre de la válvula, además que este panel informa el porcentaje de apertura de la válvula y si esta se la opera manualmente en campo o está habilitada para la operación directamente desde la HMI, ver figura 54.

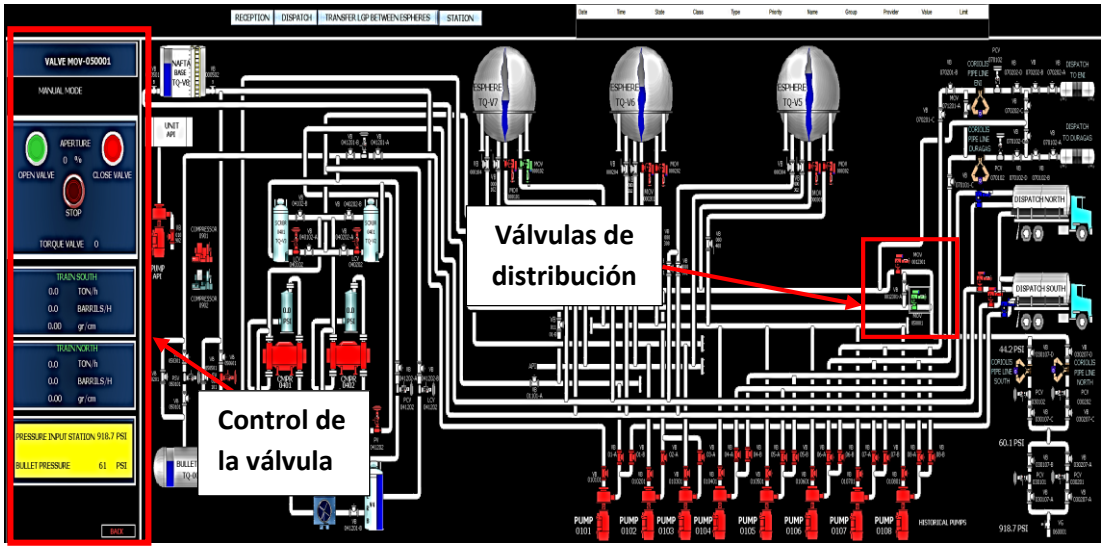



**Figura 21.** HMI Operación de la válvula de distribución.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

#### 4.1.3.4. Tanque bala

La recepción del GLP se realiza mediante interfaces de GLP- Gasolina Base; es decir, que el producto está mezclado y debe ser separado, es por ello que la estación cuenta con este tanque de alta presión (figura 55), el cual recibe el alivio de los distintos drenajes de la estación, así también como sobrepresiones.

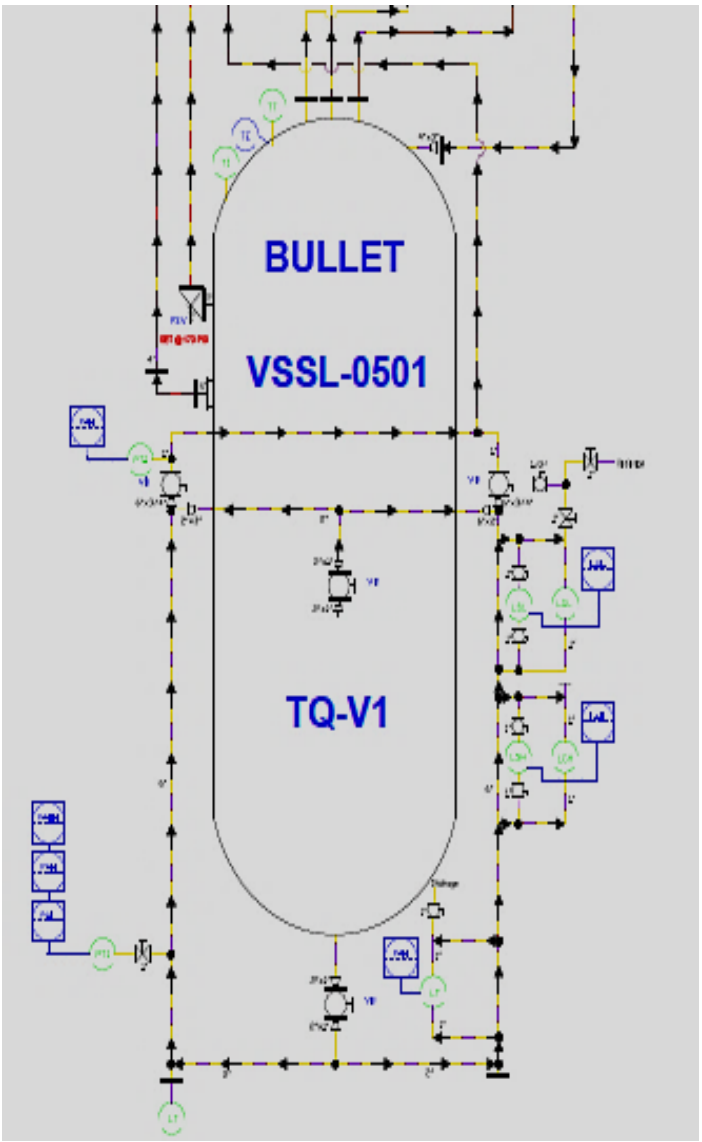



**Figura 55.** Tanque bala.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

El diagrama de operación de este tanque se lo aprecia en la figura 56.

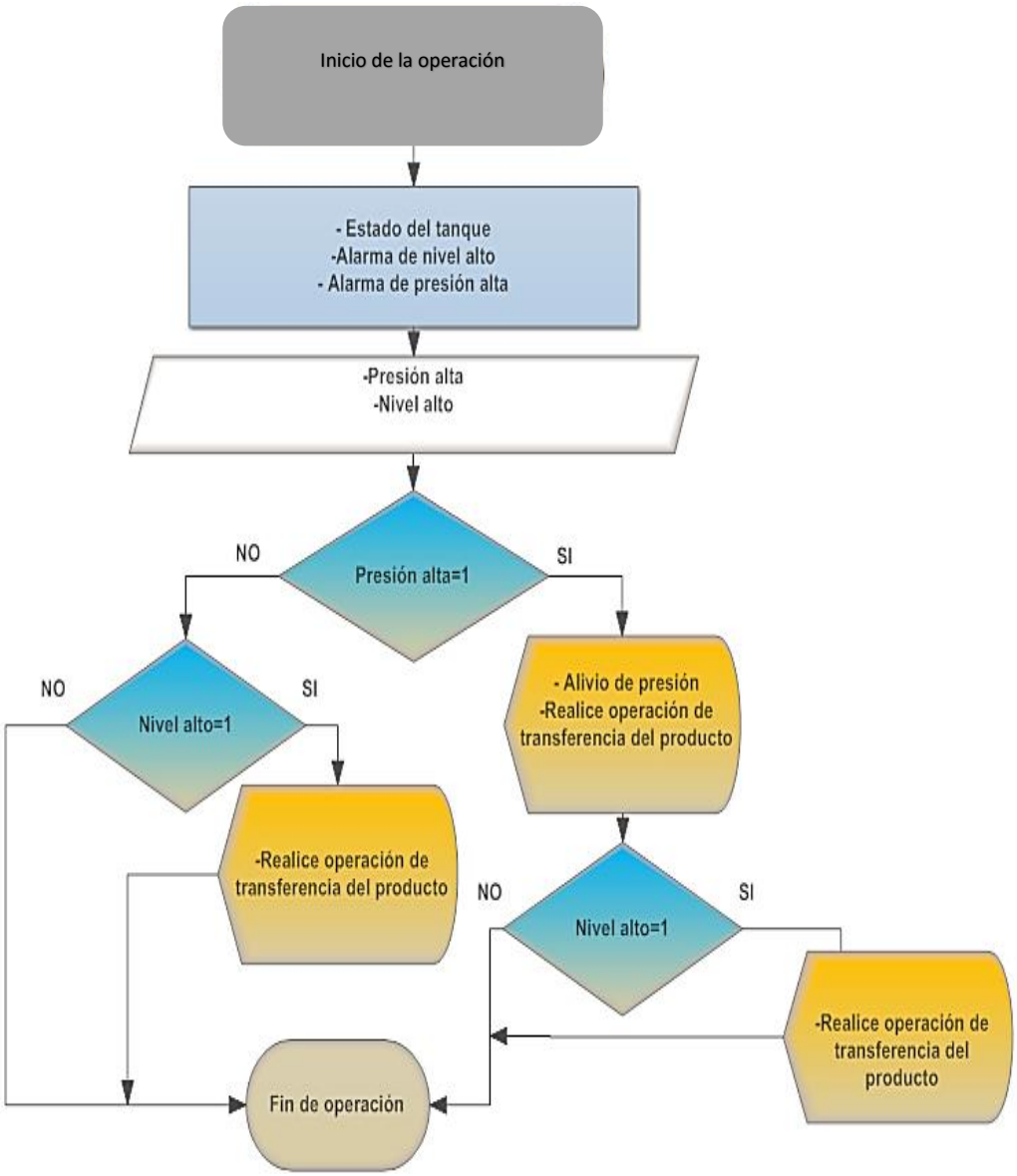



**Figura 22.** Operación del tanque bala.

Para la recepción de datos es necesario la lectura de los tags, ver tabla 9, que permiten obtener la información necesaria para la visualizacion en la HMI.

**Tabla 9.** Variables utilizadas para la supervisión del tanque bala.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| LSL016 | Discreta | TCP/IP |
| LSHH018 | Discreta | TCP/IP |
| LSH017 | Discreta | TCP/IP |

**Descripción de la HMI del tanque bala:**

La supervisión del tanque bala se lo realiza por medio de un panel que posee información relacionada al estado del tanque, como son: datos de nivel y presión, que son indicadores para realizar operaciones siguientes para la transferencia del GLP hacia las esferas o al tanque de nafta base, ver figura 57.

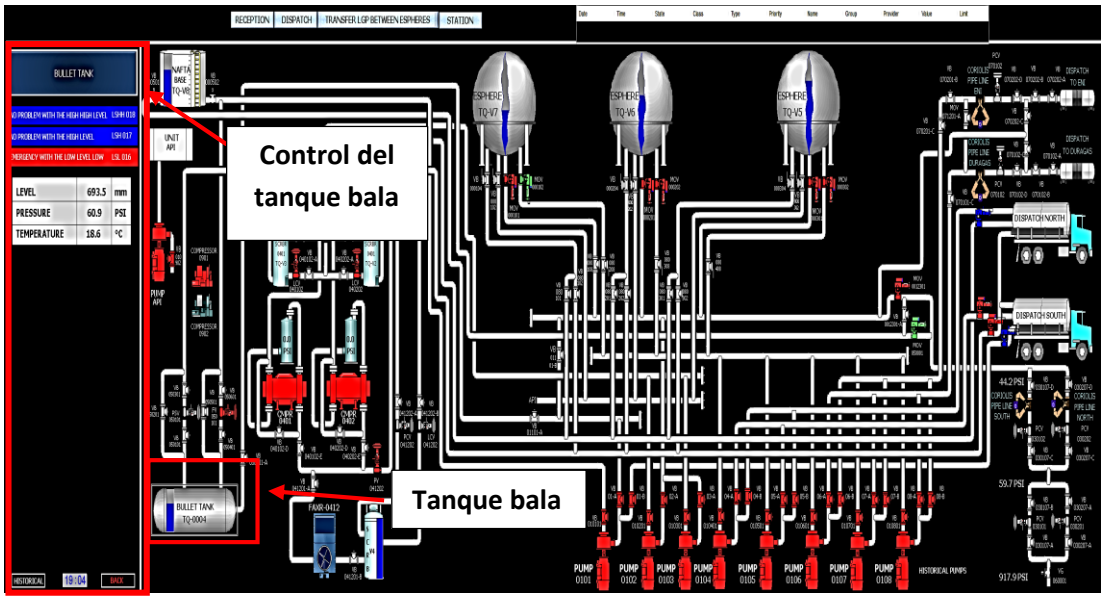



**Figura 23.** HMI Operación del tanque bala.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

### 4.1.3.5. Área de relicuefacción

El ambiente puede llegar a alterar condiciones de almacenamiento del GLP como son: densidad, presión, etc., los tanques de almacenamiento (esferas) llegan a presurizarse cuando el GLP está en fase gaseosa, considerando que por un litro de GLP se expande a 272 litros de GLP en fase gaseosa, teniendo como resultado una presión de hasta 114 PSI, lo que es un indicador de que se debe relicuar el GLP que está en fase gaseosa, extrayéndolo desde las esferas y mediante un aeroenfriador, se procede a reducir la temperatura de 70°C a 15°C aproximadamente, ver figura 58.

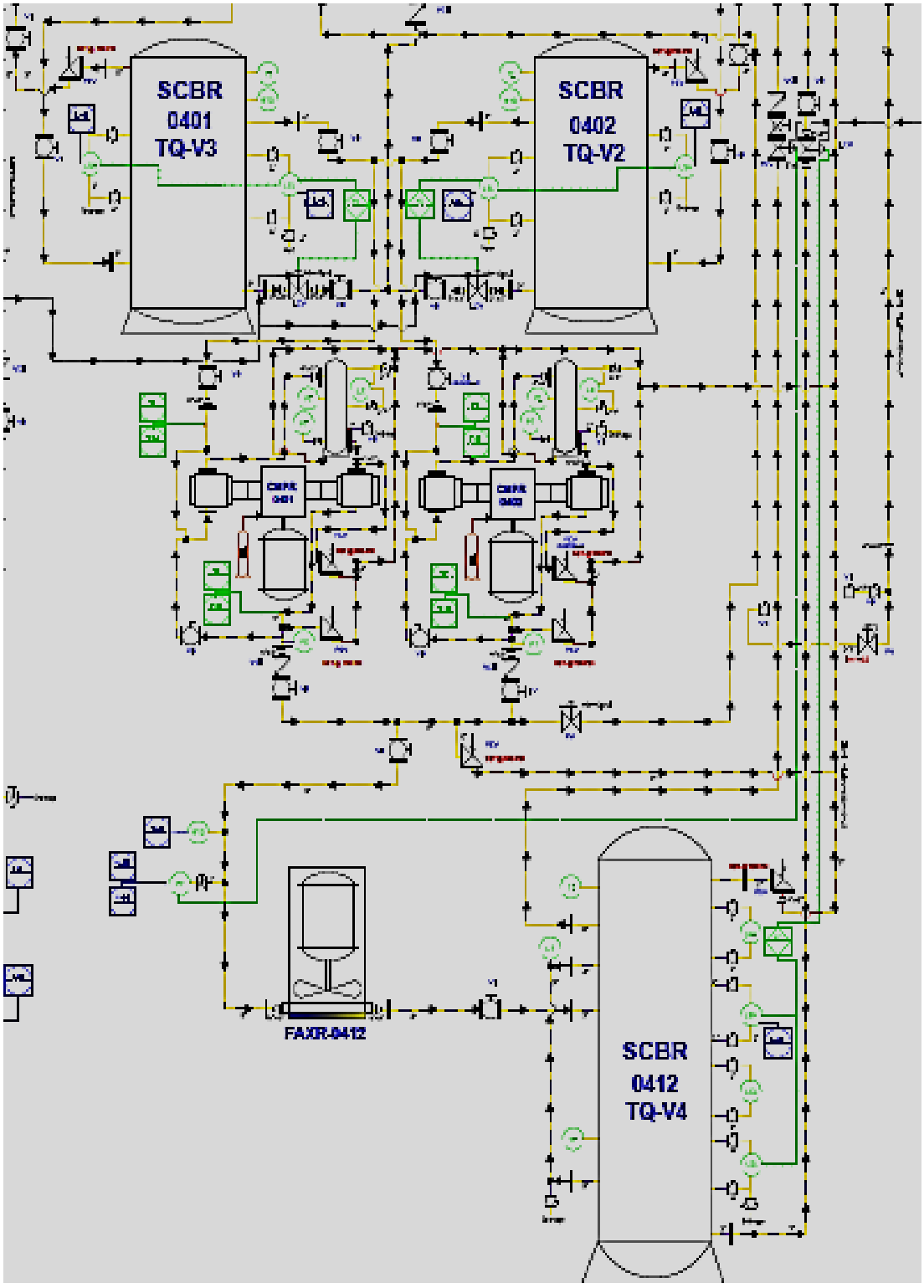



**Figura 24.** Unidad de relicuefacción.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

El diagrama de flujo de esta operación se muestra en la figura 59.

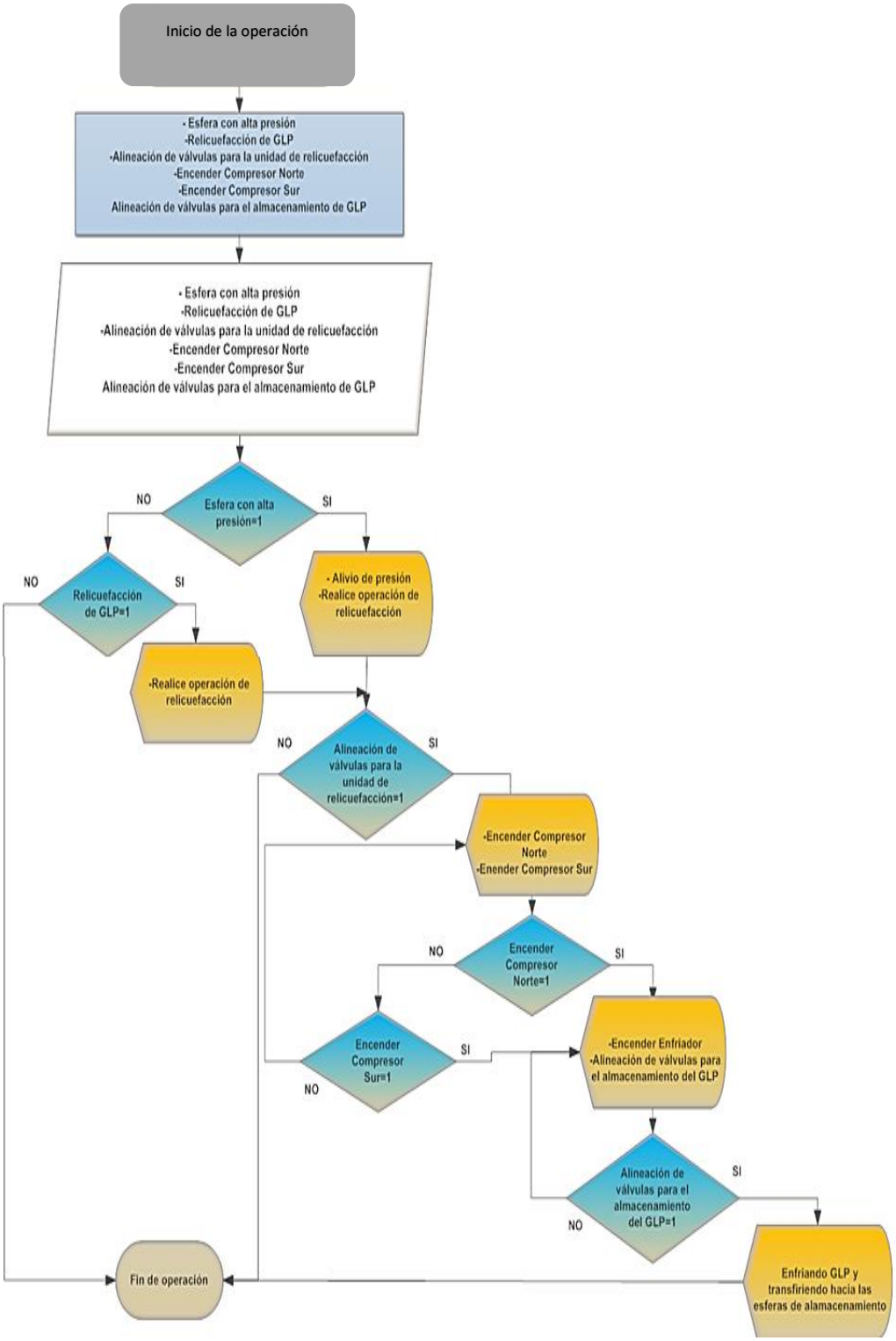



**Figura 25.** Operación de la unidad de relicuefacción.

La interfaz recibe datos mediante la lectura de los diferentes tags descritos a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10**. Variables utilizadas para el control de la unidad de relicuefacción.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| TS028 | Discreta | TCP/IP |
| TSDC2 | Discreta | TCP/IP |
| LSHC2 | Discreta | TCP/IP |
| FSC2 | Discreta | TCP/IP |
| VS025 | Discreta | TCP/IP |
| PS024 | Discreta | TCP/IP |
| CM011 | Discreta | TCP/IP |

## Descripción de la HMI del unidad de relicuefacción:

La unidad de relicuefacción cuenta con varios equipos los cuales deben trabajar conjuntamente para realizar la operación de relicuefacción del GLP, la interfaz permite el acceso a cada equipo donde se podrá monitorear, supervisar y controlar las distintas acciones como el encendido y apagado de los compresores, visualización de las presiones de las líneas, estados de nivel de los separadores, accionamiento del enfriador y la disponibilidad de la alineación de las válvulas que permiten el transporte del producto hacia las esferas de almacenamiento, ver figura 60.

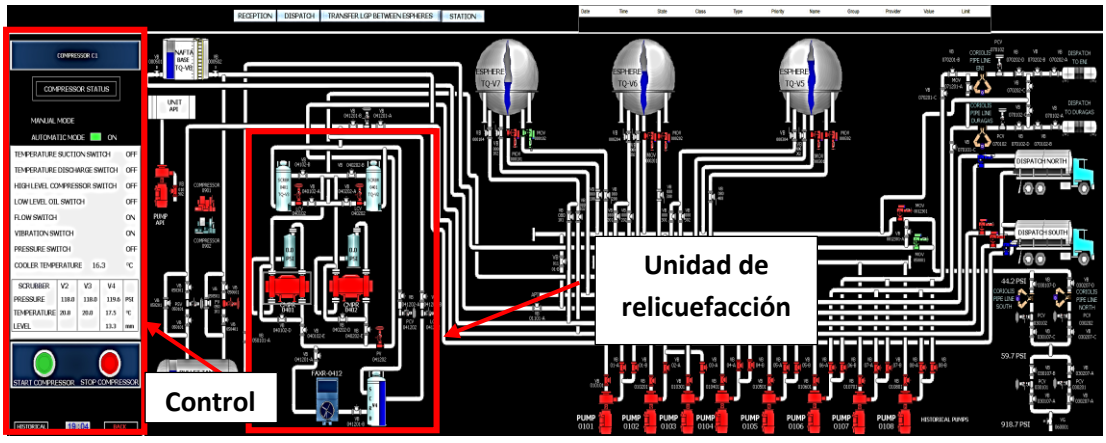



**Figura 26.** HMI Operación de la unidad de relicuefacción.

### 4.1.3.6. Patio de bombas

El patio de bombas es el que se encarga del bombeo del producto hacia las distintas comercializadoras por medio de los gasoductos o hacia los autotanques. Las bombas 6, 7 y 8 son las encargadas del bombeo por los gasoductos, las bombas 4 y 5 bombean hacia las islas de carga, la 2 y 3 realizan operaciones de transferencia del GLP en fase líquida hacia las esferas de almacenamiento y finalmente la bomba 1 bombea Gasolina Base hacia las islas de carga y también bombea desde el tanque bala hacia el tanque de almacenamiento de Gasolina Base, una bomba se constituye por los elementos descritos en la figura 61.

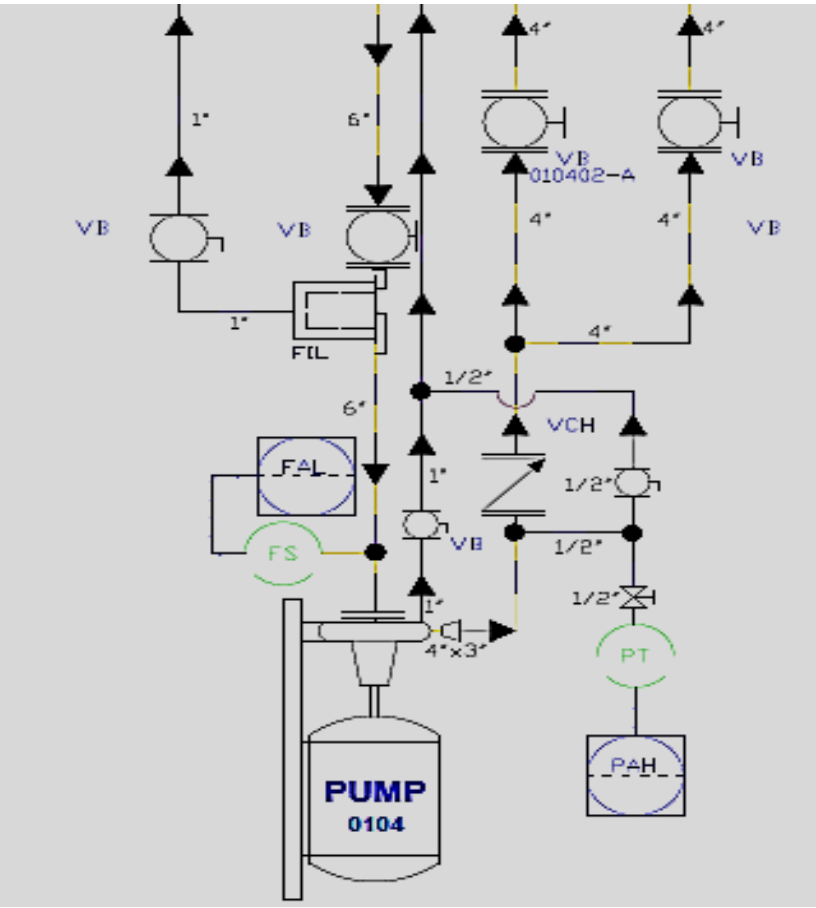



**Figura 27.** Componentes de una bomba.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

El diagrama de flujo de la figura 62, nos muestra la operación de la bomba.

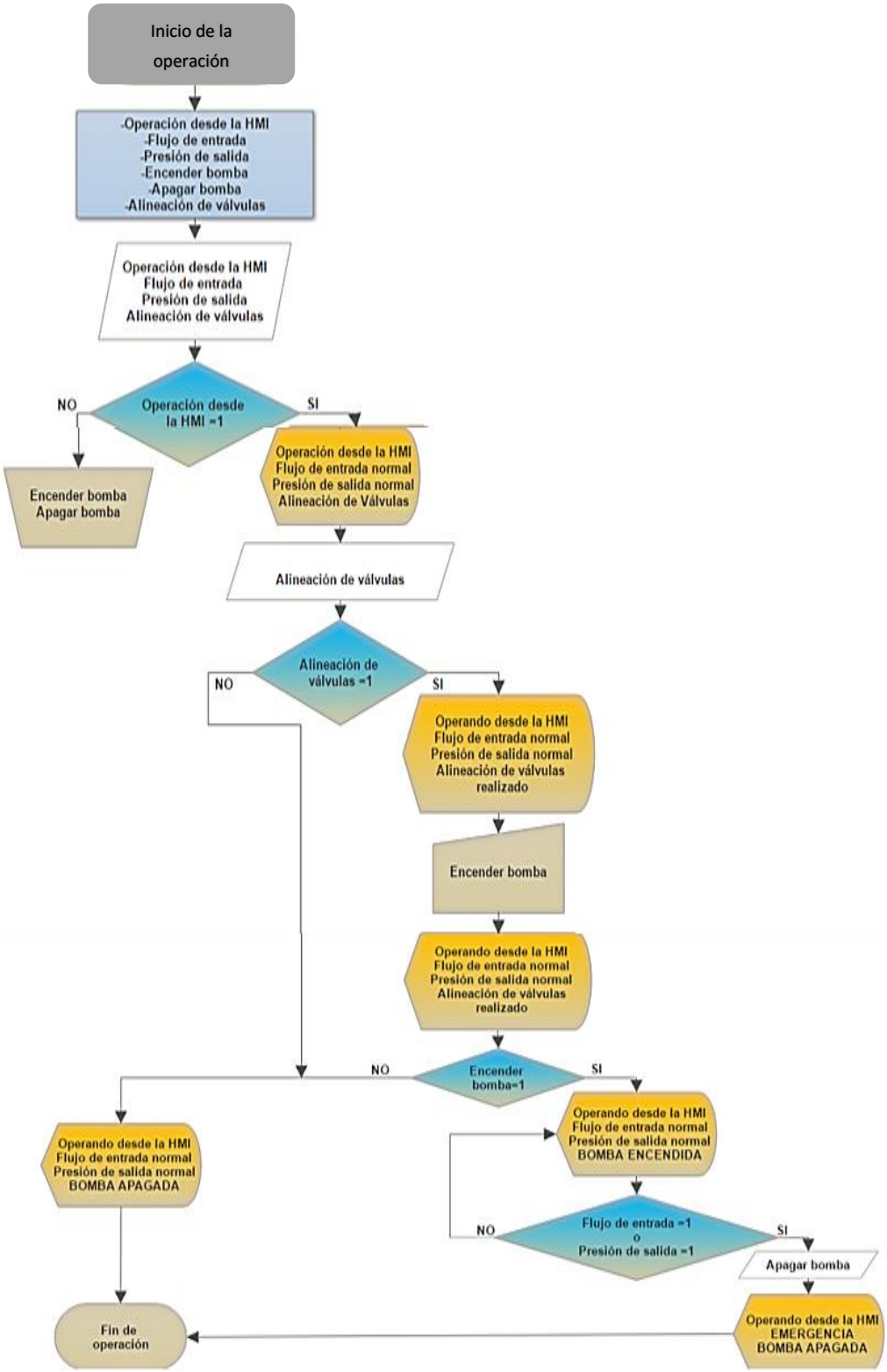



**Figura 28.** Operación de una bomba

Los tags que se encargan de establecer la información de la bomba se describe a continuación en la tabla 11.

**Tabla 11.** Variables utilizadas para el control la bomba.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| CM001 | Discreta | TCP/IP |
| PT042 | Analógica | TCP/IP |
| FS043 | Discreta | TCP/IP |
| START_001 | Discreta | TCP/IP |
| STOP_001 | Discreta | TCP/IP |
| ALIGN_VALVES | Discreta | TCP/IP |

**Descripción de la HMI de la operación de las bombas:**

La operación de las bombas está disponible inmediatamente por medio de ventanas de operación las que se despliegan en todas las operaciones si se pincha en la bomba a controlar, también se las suprime si se está en las operaciones donde no es necesario la operación de las bombas que no se utilizan como es el caso de la transferencia, despacho y recepción del GLP. Cada panel cuenta con pulsadores de encendido y apagado de la bomba, los cuales se activarán si se han cumplido los requerimientos de alineación de válvulas que conlleva el proceso, también indica si la operación de la bomba se la está realizando manualmente, así también si existiese el caso que por motivos de mantenimiento se la requiera en ese modo, caso contrario la operación pasa a realizarse directamente en la HMI, ver figura 63.

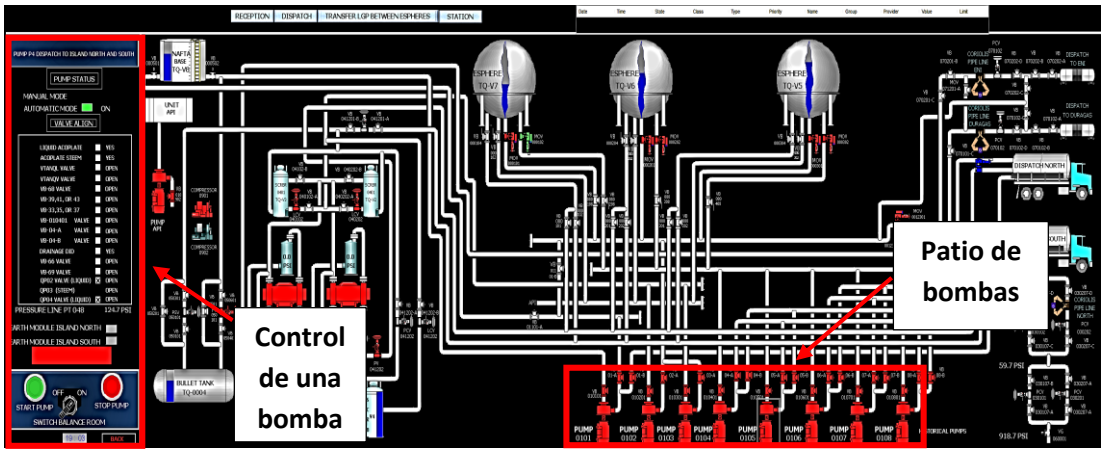



**Figura 29**. HMI Operación de las bombas.

### 4.1.3.7. Esferas de almacenamiento

La terminal de GLP Oyambaro está constituída por tres esferas presurizadas con una capacidad nominal de 1630 $m^3$ cada una, que en peso es 700 toneladas aproximadamente (figura 64), las mismas que poseen líneas de entrada de GLP en fase líquida con válvulas motorizadas al igual que las líneas de salida de GLP en fase líquida. Además tiene una línea de drenaje, que permite sustraer hidrocarburo saturado como es el pentano, una línea de seguridad de sobrepresión que se encarga del alivio de las esferas mediante las válvulas PSVL y PSVLL con un set point de 128 y 107 PSI respectivamente, y finalmente la línea de GLP en fase vapor que posee una válvula manual y es utilizada cuando se desea relicuar el GLP en fase gaseosa.

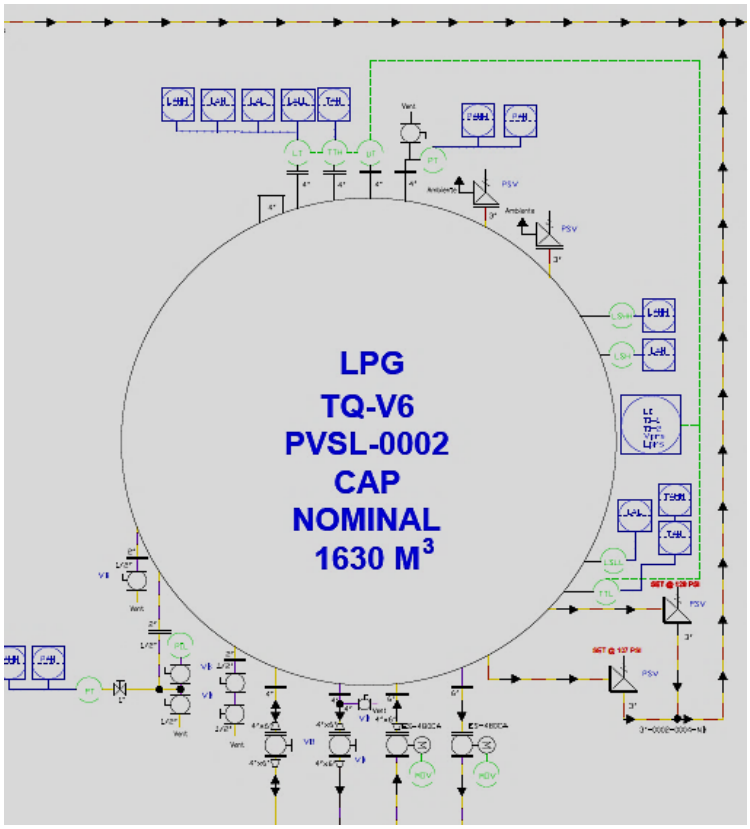



**Figura 30.** Esfera de almacenamiento.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

El diagrama de flujo de la operación de una esfera se lo indica en la figura 65.

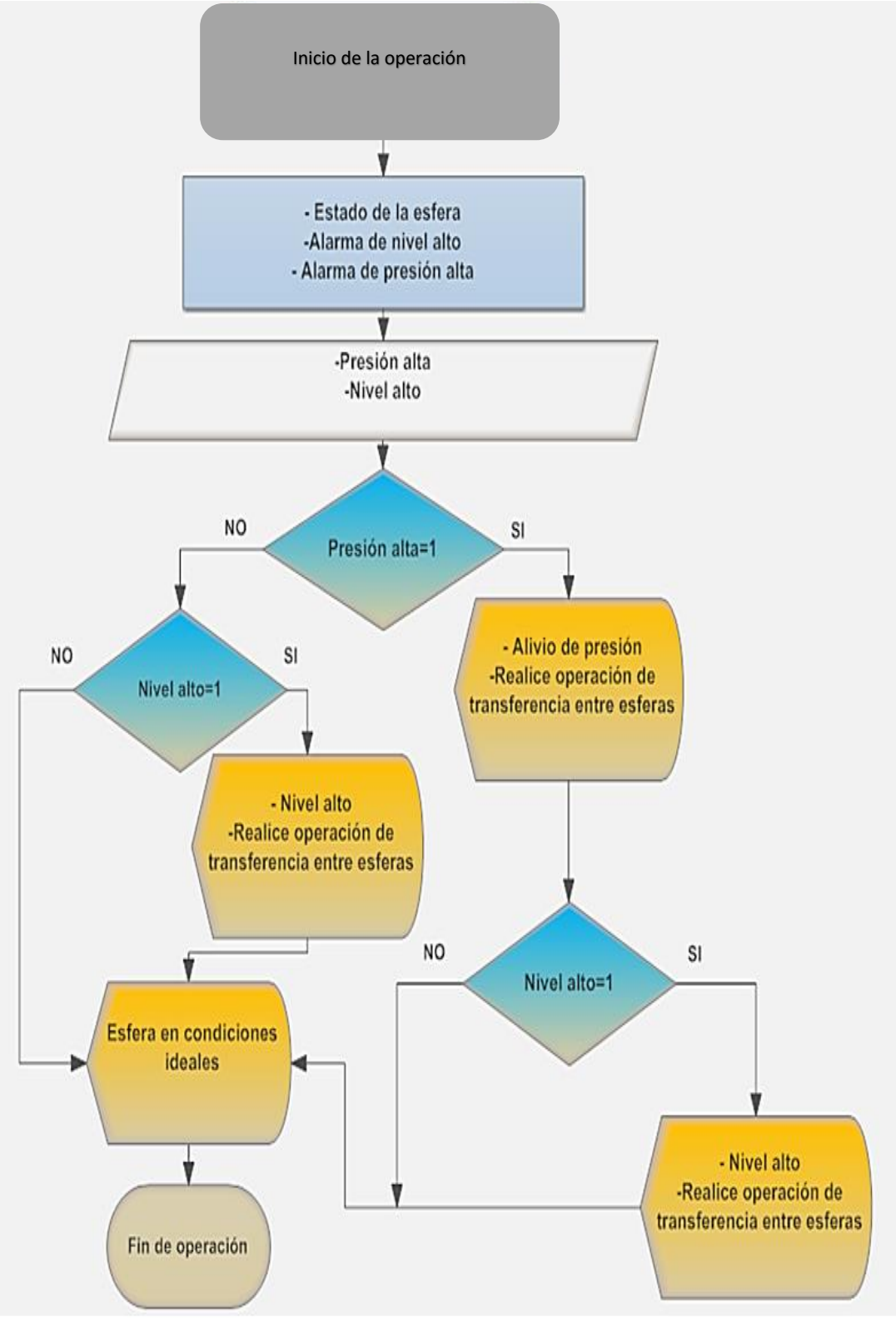



**Figura 31.** Operación de una esfera de almacenamiento.

Las variables que se utilizan en la interfaz se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Variables utilizadas para la supervisión de las esferas.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| LT-030007 | Discreta | TCP/IP |
| PT-030007-A | Discreta | TCP/IP |
| PT-030007-B | Discreta | TCP/IP |
| TT-030007-A | Discreta | TCP/IP |
| AT-030007 | Discreta | TCP/IP |
| LSHH068 | Discreta | TCP/IP |
| LSH068 | Discreta | TCP/IP |

## Descripción de la HMI de la operación de la esfera de almacenamiento:

El panel de supervisión de las esferas de almacenamiento está dotado por indicadores de nivel, presión y un acceso a las respectivas válvulas de entrada y salida de GLP en estado líquido, ver figura 66.

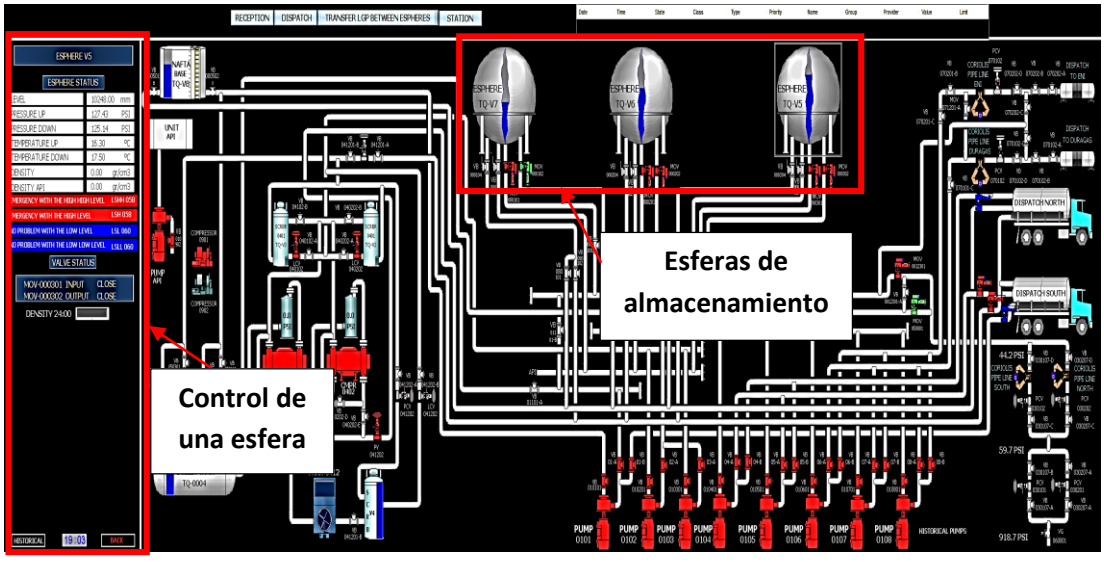



**Figura 32.** HMI Operación de la esfera de almacenamiento

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

### 4.1.3.8. Tanque de almacenamiento de gasolina base

Es un tanque de tipo atmosférico, ver figura 67. con una capacidad de 111 $m^3$, que se lo utiliza para la recepción de Gasolina Base que se obtiene de las interfaces que proceden a la separación del GLP desde el tanque bala. Tiene una línea de entrada con una válvula manual y una línea de salida que también es operada por una válvula manual que se dirige hacia la bomba 1.

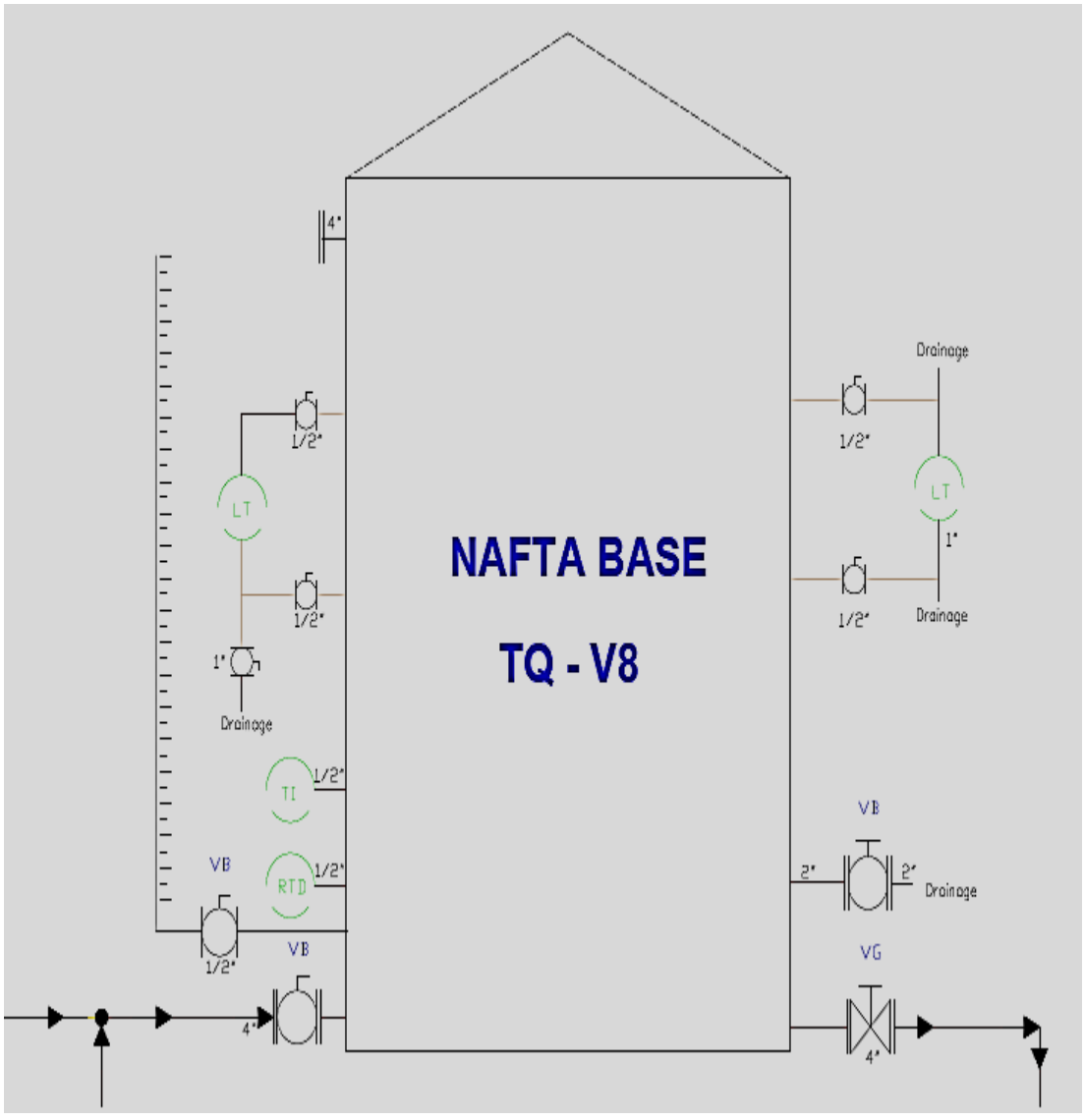



**Figura 33.** Tanque de almacenamiento de nafta base.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

Su respectivo diagrama de flujo se aprecia en la figura 68.

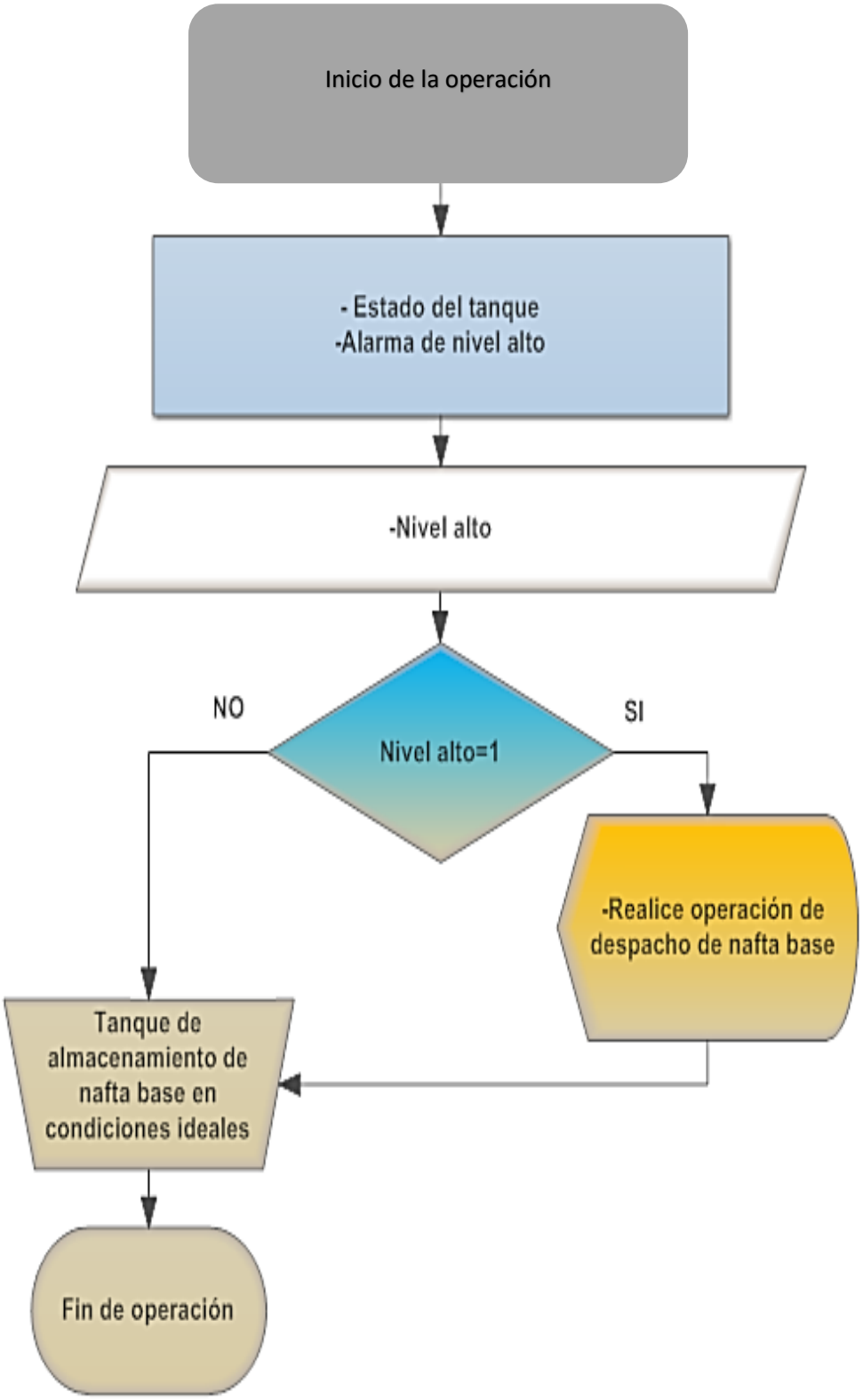



**Figura 34.** Operación del tanque de almacenamiento de nafta base.

Las variables para el desarrollo de la interfaz se muestran a continuación en la tabla 13.

**Tabla 13.** Variables utilizadas para la supervisión del tanque de almacenamiento de nafta base.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| PT101 | Analógica | TCP/IP |
| PT100 | Analógica | TCP/IP |
| TT100 | Analógica | TCP/IP |
| LSH012 | Discreta | TCP/IP |
| LSL011 | Discreta | TCP/IP |

**Descripción de la HMI de la supervisión del tanque de almacenamiento de nafta base:**

Mediante el panel de supervisión del tanque de tipo atmosférico se puede conocer el estado en que se encuentra, por medio de información relacionada al nivel y volumen, ver figura 69.

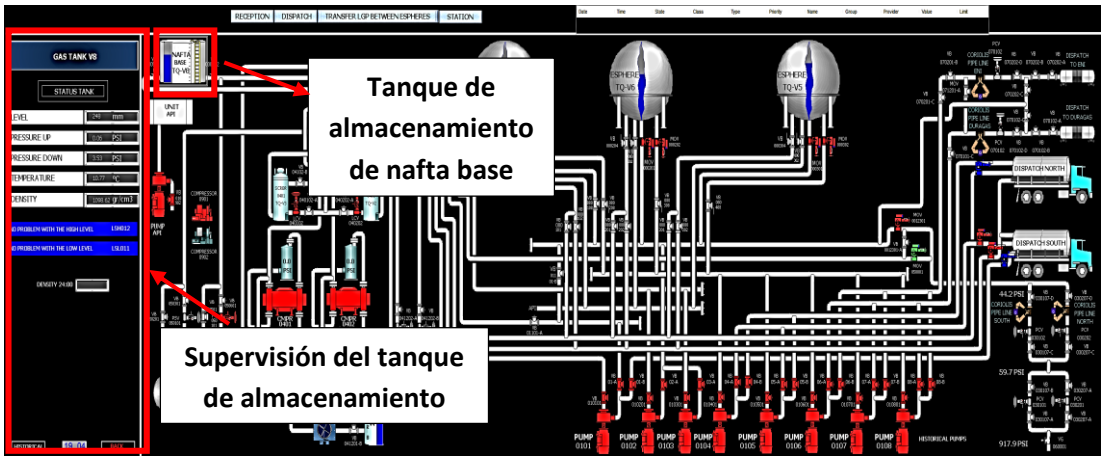



**Figura 35.** HMI del tanque de almacenamiento de nafta base.

### 4.1.3.9. Islas de carga

Se cuenta con las islas de carga (figura 70) norte y sur, con una capacidad de 80 toneladas cada una, las cuales tienen incorporadas celdas de carga que actúan como un transductor de fuerza; es decir, que la fuerza es convertida en peso, cuentan con tarjetas de adquisición de datos que a la vez envían

información por protocolo Modbus RS485, permitiendo conocer al operador cuando se está despachando, las dos islas pueden despachar GLP pero solo la sur está habilitada para el despacho de Gasolina Base.

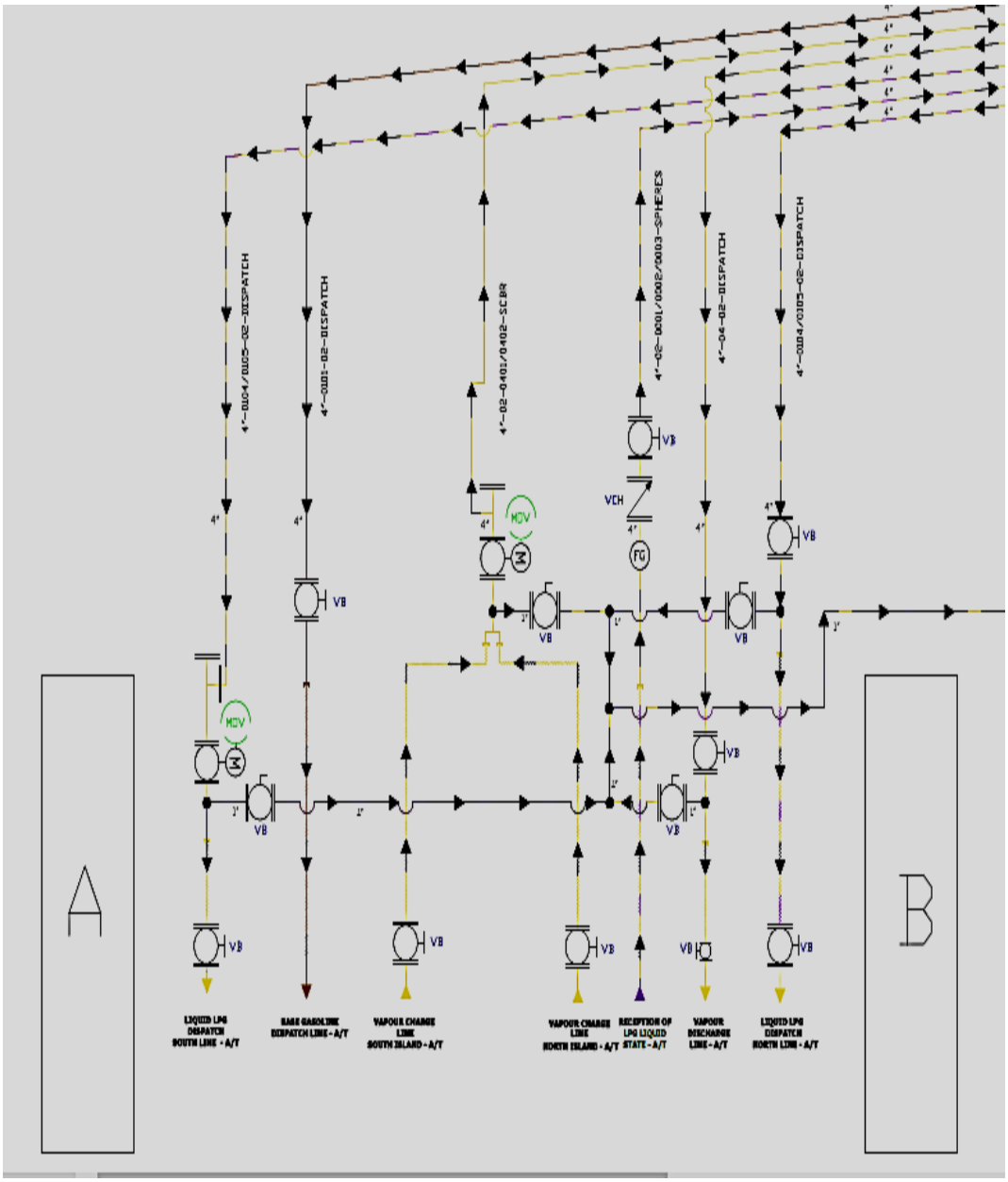



**Figura 36**. Islas de carga.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

El Diagrama de flujo en que se explica la operación de despacho se lo detalla en la figura 71.

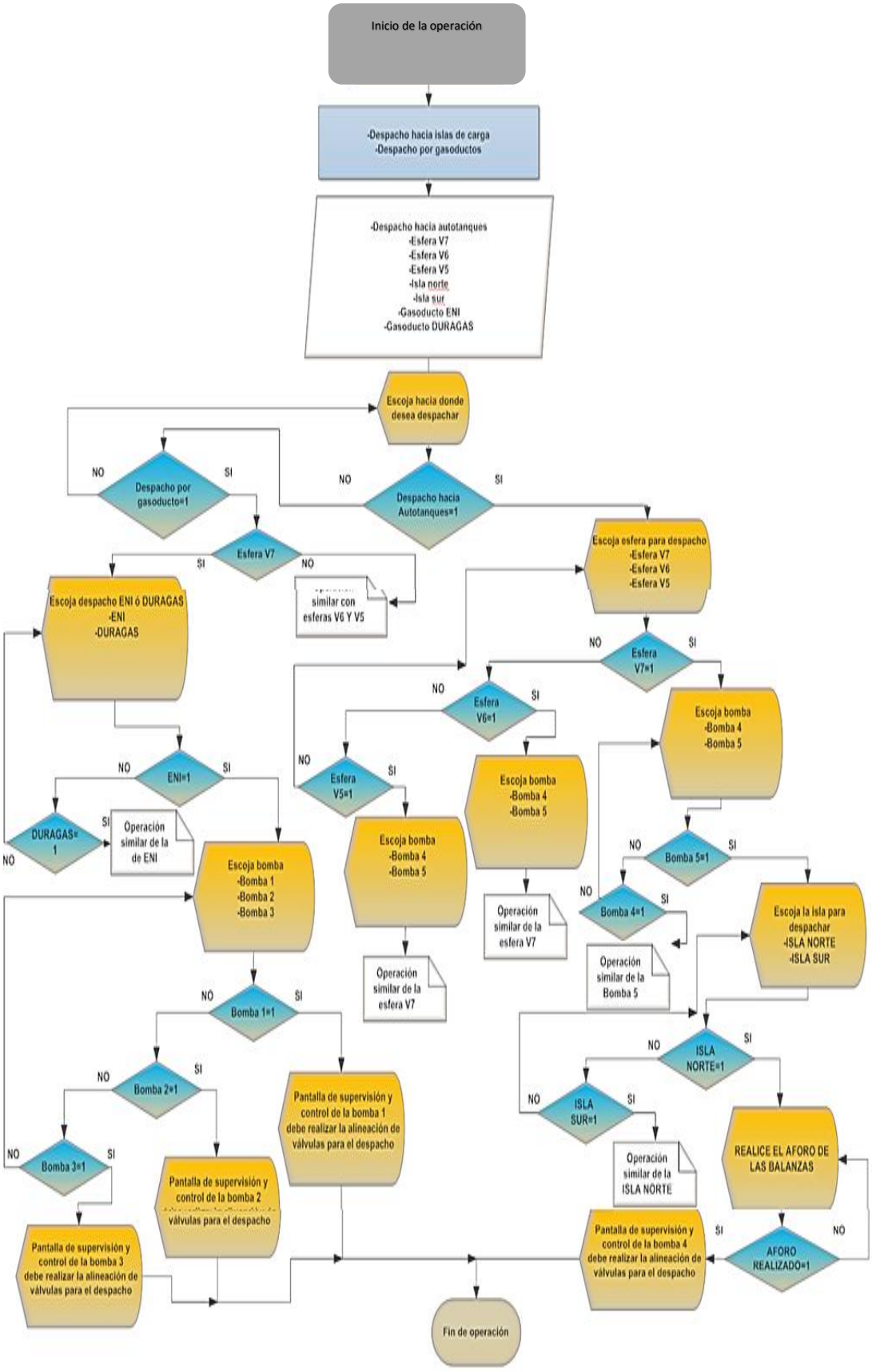



**Figura 37.** Operación de despacho.

**Descripción de la HMI de la supervisión las islas de carga:**

Las islas de carga no poseen ningún tipo de control, la información acerca de cada isla se la provee mediante el proceso que se desee realizar, es decir que la opción de visualización del peso que se está despachando se lo adquiere mediante un panel que se despliega al final de una serie de pasos de cada operación. Las variables de cada operación son independientes, ya que se puede seleccionar de que esfera se quiere despachar, con que bomba y finalmente a que isla de carga. Su respectivo diagrama de flujo se lo observa en la figura 71 anteriormente mostrada.

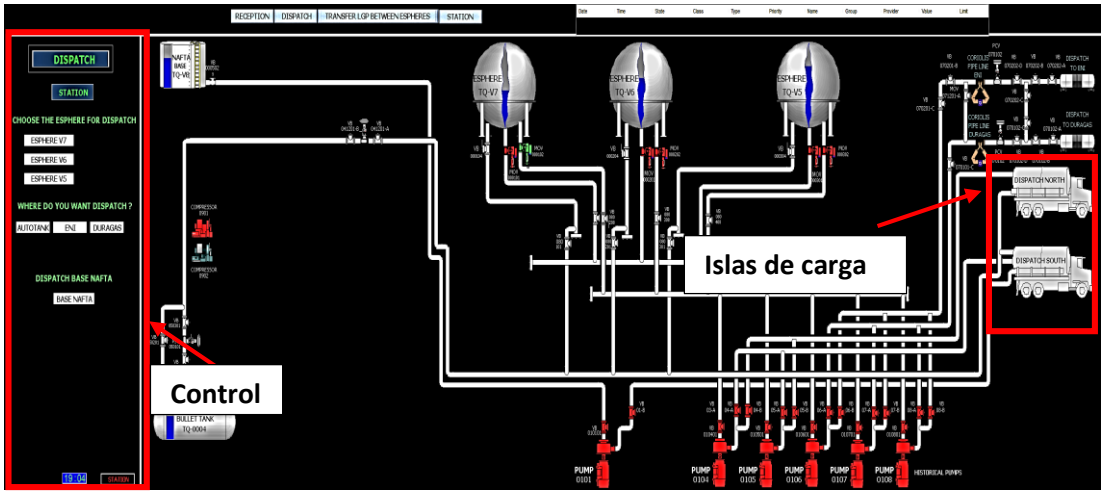



**Figura 38.** HMI operación de las islas de carga.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

### 4.1.3.10. Gasoductos

El terminal de GLP Oyambaro posee gasoductos redundantes que permiten el despacho del GLP hacia las comercializadoras ENI y Duragas (figura 73), ya que estas son aledañas a la estación de GLP Oyambaro, estos gasoductos cuentan con medidores de flujo tipo Coriolis los cuales se encargan del envío de datos tales como: densidad, flujo másico, flujo volumétrico, etc. hacia la HMI, también está implementado con una línea de retorno que se conecta a la tubería y a la vez a las entradas de las esferas siendo utilizadas para la calibración de la instrumentación que se encuentra en los mencionados gasoductos.

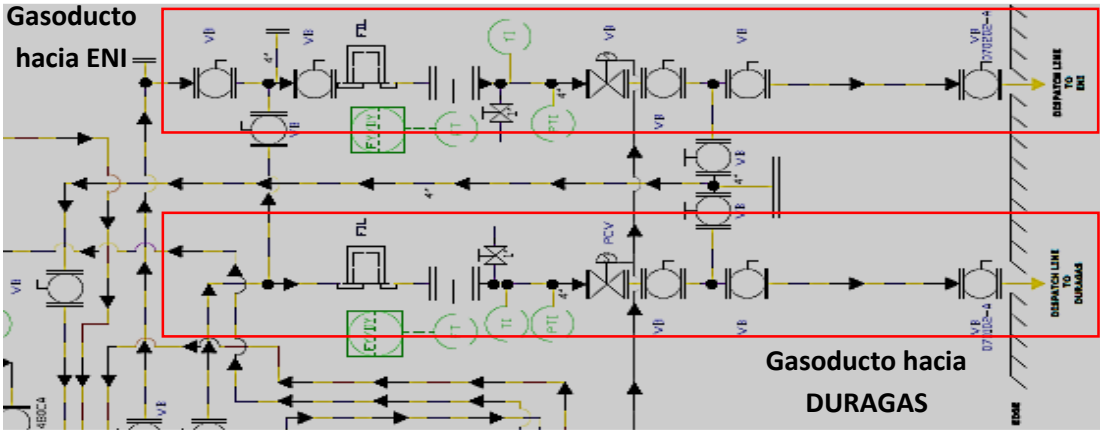



**Figura 39.** Gasoductos.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

Los gasoductos forman parte de la operación de despacho, la ejecución de esta operación se la realiza siguiendo una serie de pasos que serán mostrados por medio de los paneles que se desplegarán conforme el operador seleccione el equipo como son: esfera, bomba y hacia donde se desea realizar el despacho. Los medidores de flujo tipo Coriolis envían información hacia su respectivo panel donde se apreciará información que este provee. El diagrama de flujo es el mismo de despacho mostrado anteriormente en la figura 71.

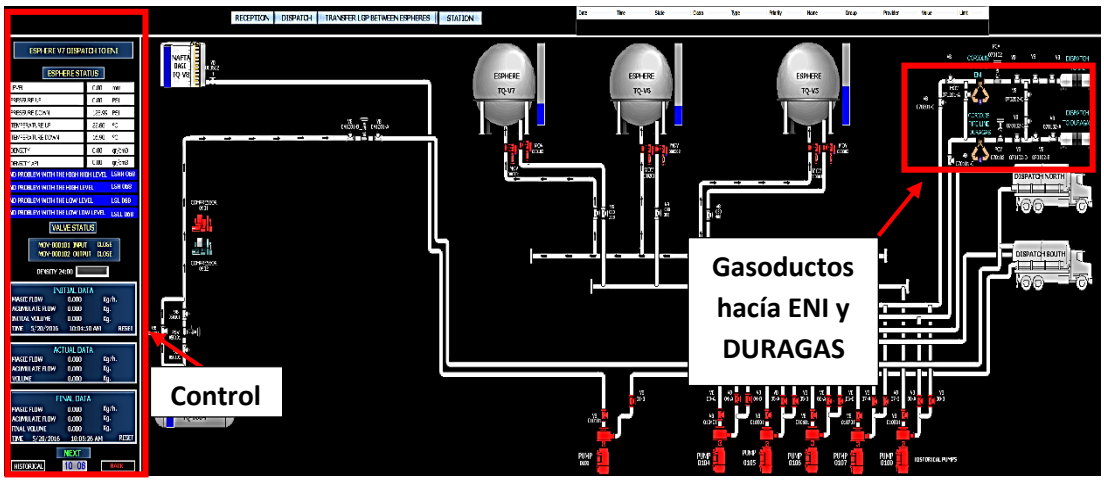



**Figura 40.** HMI del gasoducto.

### 4.1.3.11. Unidad API

Esta unidad (figura 75), se encarga de la separación de hidrocarburo del agua que se obtiene del tanque de almacenamiento de Gasolina Base, permitiendo el envío de agua no contaminada hacia el medio ambiente y que el hidrocarburo retorne al tanque.

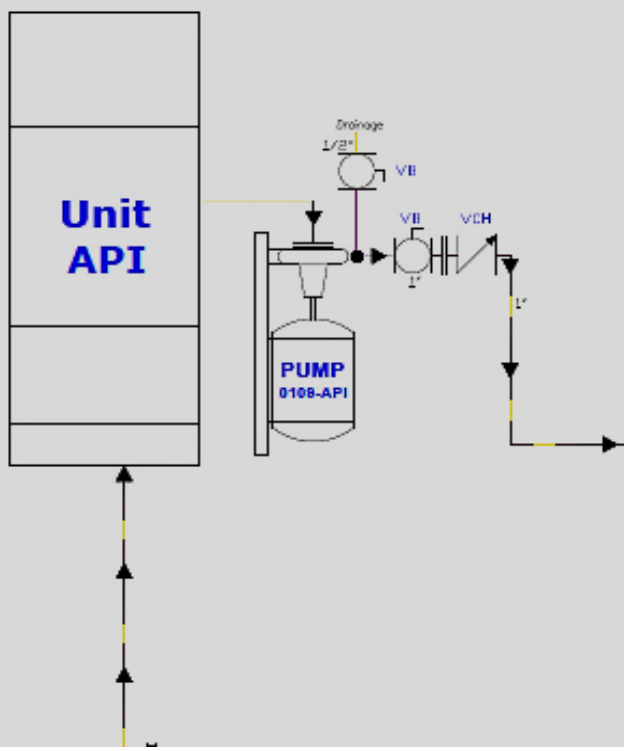



**Figura 41.** Unidad API.

Para un mayor detalle ver anexo 1.

La bomba de esta unidad también posee similares características que el resto de las bombas y su interfaz no es la excepción, ya que también permite la supervisión, monitoreo y control mediante indicadores que muestran el estado actual de la bomba y también posee pulsadores de encendido y apagado, ver figura 76. El diagrama de flujo es el mismo de las bombas anteriormente mencionado y se lo puede apreciar en la figura 62.

La asignación de los tags para la recepción de la información se describe en la tabla 14.

**Tabla 14**. Variables utilizadas para el control de la bomba API.

| TAGS | TIPO | COMUNICACIÓN |
|---|---|---|
| CM009 | Discreta | TCP/IP |
| START_009 | Discreta | TCP/IP |
| STOP_009 | Discreta | TCP/IP |
| ALIGN VALVES | Discreta | TCP/IP |

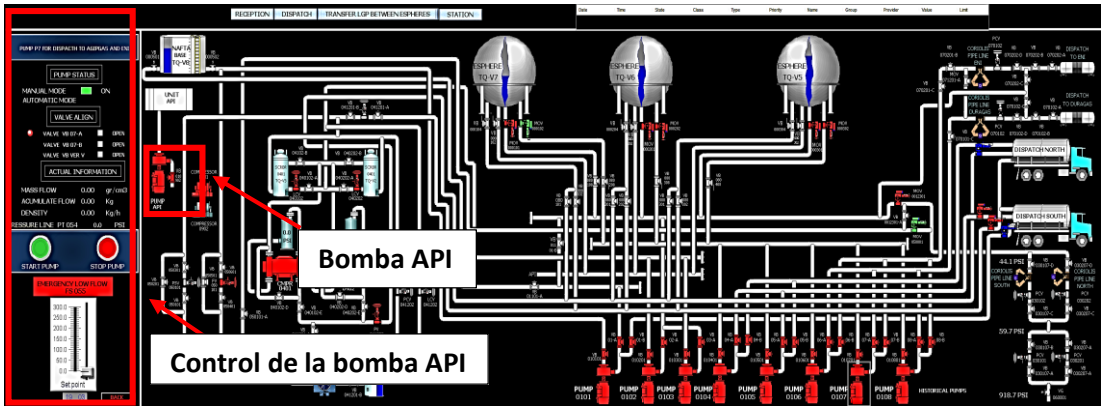



**Figura 42.** HMI bomba API.

## 4.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

A los subsistemas se les integró para tener como resultado un sistema general y de esta manera realizar un análisis de la sinergia de cada una de las partes. Una visualización de toda la estación se muestra en la figura 77.

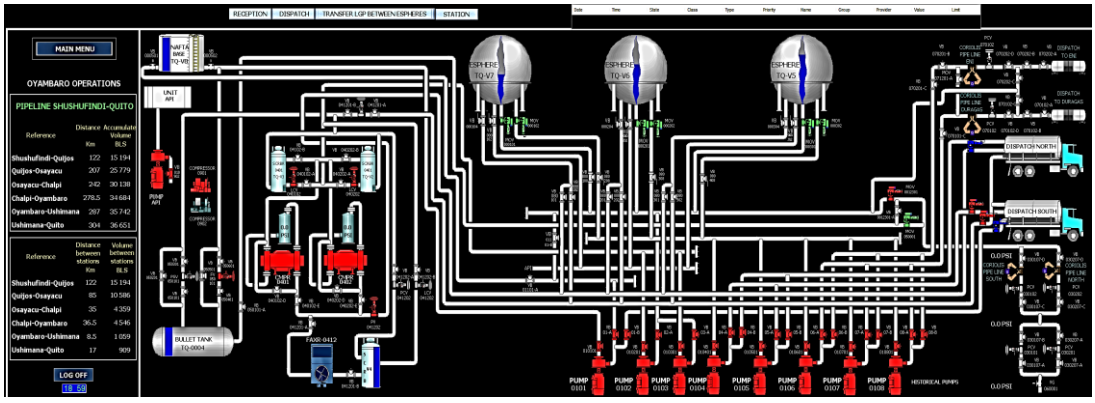


**Figura 77.** HMI estación de GLP Oyambaro.

### 4.2.1. BANCO DE PRUEBAS

Cuando se desarrolló la interfaz gráfica de la estación, la necesidad de un banco de pruebas no fue necesaria, pero cuando se dotó al sistema con algoritmos de control, un banco de pruebas pasa a ser una parte indispensable ya que se puede conocer acerca del funcionamiento de los subsistemas y a la vez saber los errores que este posee. El banco de pruebas se creó con equipos similares a los implementados en la estación de GLP Oyambaro. Este banco de pruebas posee un controlador lógico programable (PLC) que a la vez está implementado por módulos de comunicación, módulos de entradas/salidas digitales y analógicas que están alimentados por una fuente de 24V DC. El banco de pruebas se lo muestra en la figura 78.

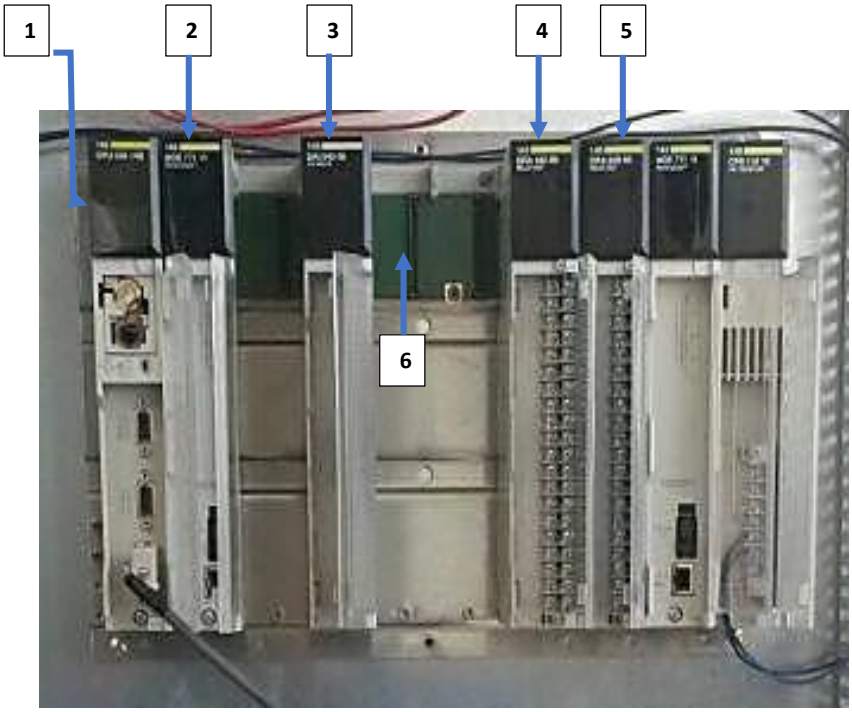



**Figura 43.** Banco de pruebas.

1. PLC 140 CPU 43412/U.
2. Módulo de comunicación 140 NOE 77111.
3. Módulo de entradas digitales 140 DAI 54000.
4. Módulo de salidas analógicas 140 DRA 84000.
5. Fuente de poder CPS 11410.
6. Backplane de 10 slots.

### 4.2.2. TRÁFICO DE DATOS EN ARCHESTRA SYSTEM MANAGEMENT CONSOLE

Mediante el servidor se puede observar el tráfico de datos que este posee indicando el estado de cada variable así también si la conexión es satisfactoria (figura 79). Cabe señalar que la interfaz maneja un nombre para cada tagname al igual que nuestro programa en el PLC, por lo que se hace énfasis en que el servidor despliega el estado de las variables por medio de un nombre y un número de registro. Para la programación de la interfaz se señala que se buscará en el servidor cada variable por su nombre, ver figura 80, más no por el registro, permitiendo así una respuesta mucho más rápida y haciendo al sistema más eficiente.

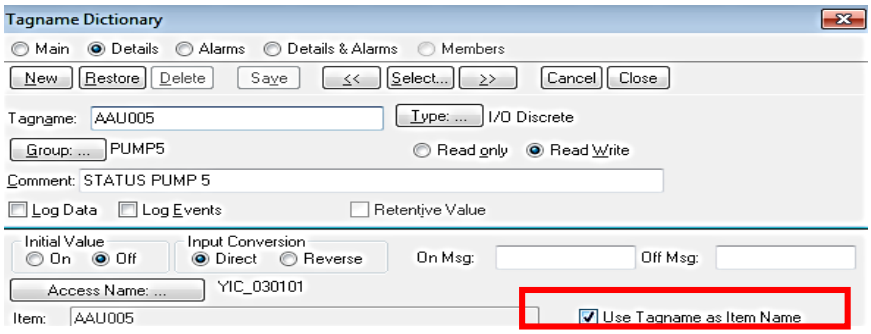



**Figura 44.** Descripción de un tagname.

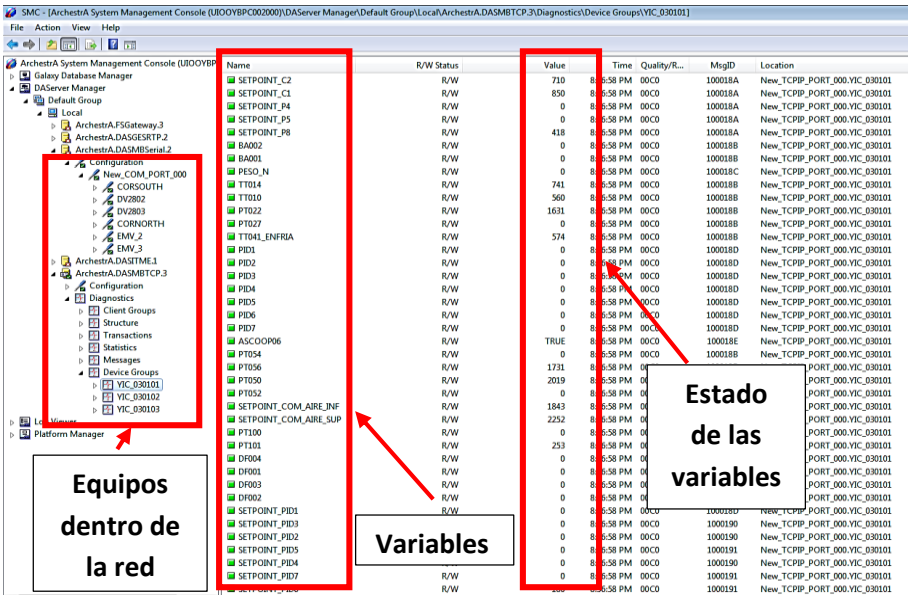



**Figura 450.** Variables leídas desde el PLC.

# 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5.1. CONEXIÓN CON LA RED INDUSTRIAL

Mediante la realización de un ping al PLC y a otros dispositivos que se encuentran dentro de la red industrial se verificará su conexión, ver figura 81.

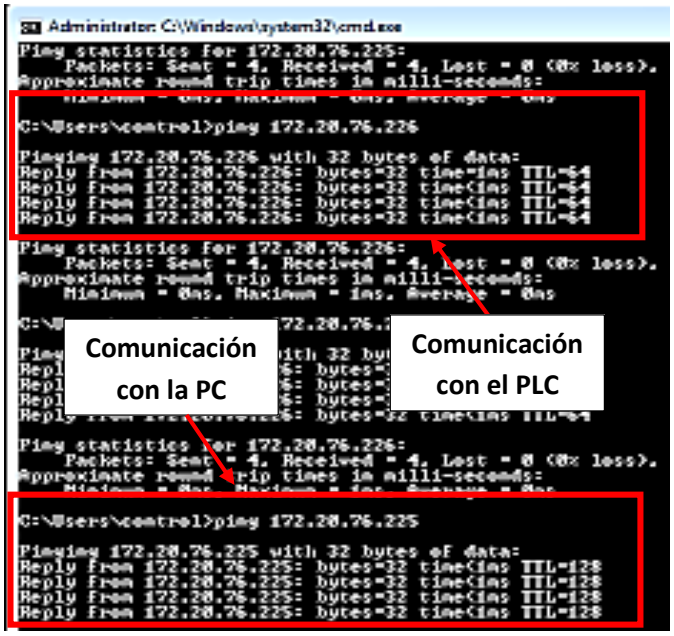



**Figura 46.** Comunicación con la red industrial.

## 5.2. CONEXIÓN CON EL PLC

La conexión del PLC es exitosa y se verifica mediante la carga de programa con la respectiva configuración de los módulos de entradas/salidas, módulos de comunicación y fuentes.

## 5.3. LECTURAS DEL ESTADO DE VARIABLES

Todas las variables se muestran por medio del servidor Archestra System Magement Console, el cual realiza un barrido donde se irán desplegando conforme se ingrese a las distintas ventanas de la interfaz.

## 5.4. ARRANQUE DE LA APLICACIÓN

La aplicación posee distintos niveles de acceso, que permite la visualización de algunos componentes adicionales o a su vez la modificación de los

algoritmos de control. La ventana principal posee botones de acceso donde se debe ingresar el usuario y su respectiva contraseña permitiendo el acceso a la navegación de la HMI, ver figura 82.

**Figura 472.** Inicio de la aplicación.

## 5.5. NAVEGACIÓN EN LA APLICACIÓN

Por medio de botones de acceso la HMI muestra las distintas operaciones que la estación dispone, como son la operación de recepción del GLP, despacho de GLP hacia las islas de carga y gasoductos, transferencia de GLP entre esferas que se muestran en las figuras 83, 84 85 respectivamente.

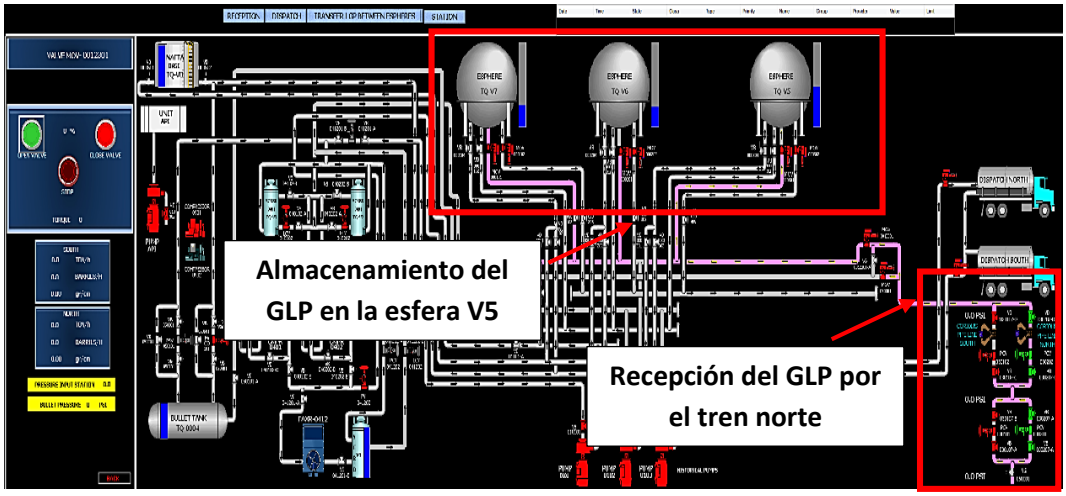



**Figura 483**. Recepción de GLP.

Para una mejor visualización del HMI ver anexo 2.

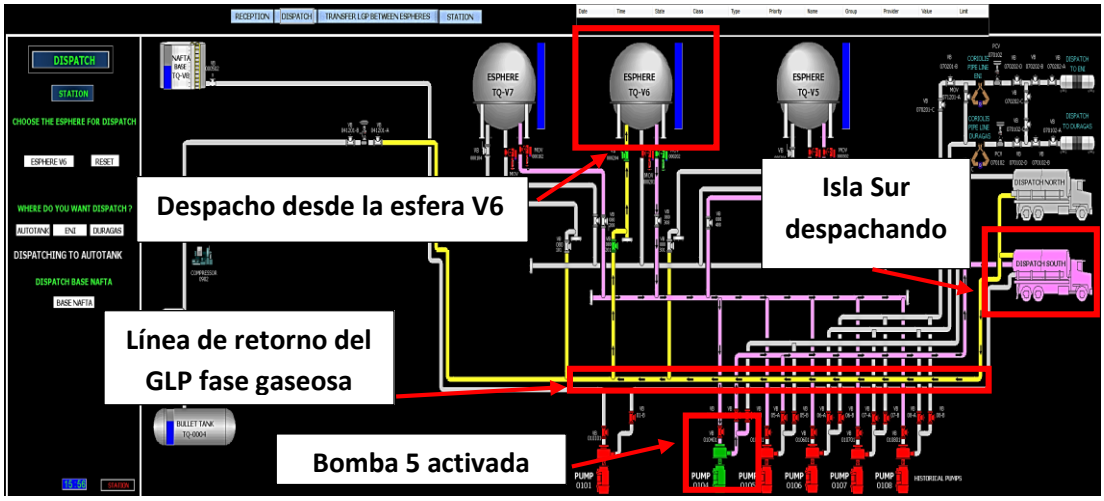



**Figura 84.** Despacho de GLP.

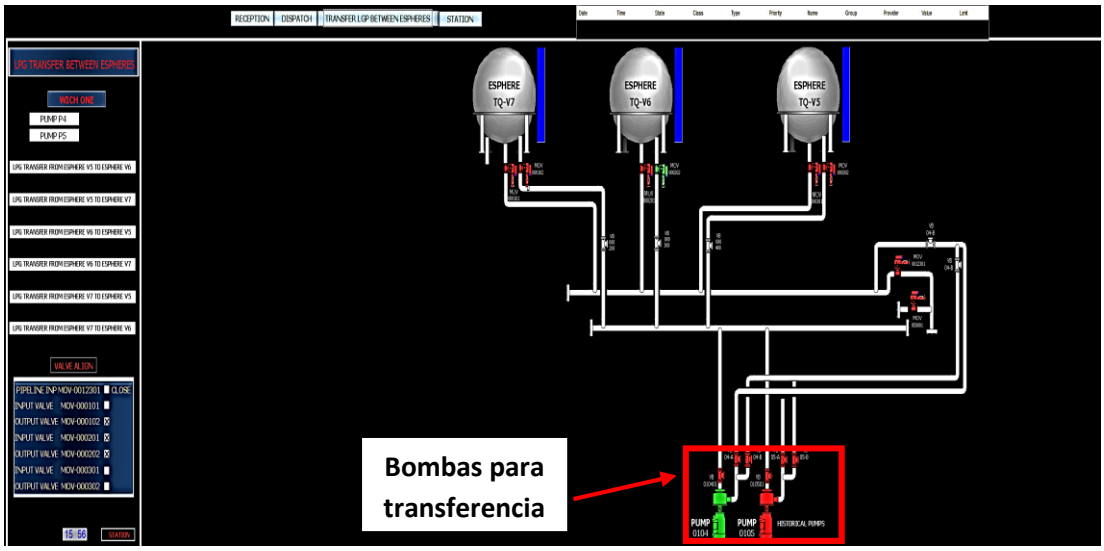



**Figura 85.** Transferencia de GLP.

# 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

- Se verificó que la estructura de la HMI contiene un diseño simple que establece el mismo modo de navegación para todos los equipos de la estación, mostrando la información mediante áreas pre-establecidas que facilitan la supervisión, monitoreo y control de la estación; así también posee información estrictamente necesaria y si se desea obtener información no tan relevante esta se accede por medio de botones adicionales.
- El diseño de la HMI comprende a toda la estación, asemejándose a la estación real, observando cómo se lleva a acabo los distintos procesos y qué sucede con el producto mediante dos pantallas de 21.5”, creando una conceptualización del funcionamiento de la estación.
- La asignación de tags indirectos redujo la implementación de ventanas para cada equipo, como en el caso de las bombas, ya que posee los mismos botones de control, los mismos indicadores en cuanto se trata a diseño, reduciendo así: tiempos de actualización de la aplicación, permitiendo que esta no se cuelgue por la gran cantidad de memoria que esta demanda, el número de ventanas de visualización se redujo de un promedio de 195 a 60 considerando todos los procesos.
- El proyecto se realizó siguiendo normas y experiencias obtenidas por los operarios y el departamento de mantenimiento eléctrico que son los encargados en desarrollar o modificar los sistemas de control.
- La actualización de los distintos equipos que posee la estación permite al operador realizar acciones directamente en la HMI evitándole ir a campo y realizarlo manualmente y evitar así el descuido del resto de operaciones.
- El aprendizaje de la supervisión, monitoreo y control de la HMI se vuelve sencilla ya que esta no posee menús para cada equipo, el acceso se realiza pinchando sobre estos, a la vez que se visualiza el estado en que se encuentran por medio de colores indicadores considerados a nivel estándar.

- Al momento de realizar una operación, la HMI está programada para suspender otras operaciones que sean independientes de la que se está ejecutando evitando así confusiones en cuanto a su control.

## Recomendaciones

- Al momento de dar inicio a la aplicación se debe esperar hasta que las condiciones iniciales pre-establecidas se hayan completado al igual que la comunicación con el servidor sea satisfactoria.
- Si se desea cambiar la aplicación a otras pantallas de mayor o menor tamaño se debe considerar el cambio de resolución de la aplicación evitando así que los gráficos e información se distorsionen o cambien de posición informando de manera errónea el estado de la estación.
- La implementación de la aplicación se la debe realizar con el consentimiento del personal autorizado, por si existiera algún tipo de fallo obtenido por la red de comunicación.
- Para el manejo de la aplicación por los operarios se les debe dar capacitación sobre el funcionamiento, navegación y modos de operación de la HMI, evitando así errores humanos por un mal control de los equipos.
- Evitar realizar cambios de nombre de los tags indirectos ya que estos anidan otros tags, que al ser modificados generarán errores en la aplicación.
- Para la mejora de este proyecto se recomienda montar un servidor independiente para la adquisición de datos y así tener una PC libre que solo se encargue de la supervisión, monitoreo y control de las operaciones de la estación.
- Incrementar la resolución de las pantallas o a su vez realizar una extensión de estas para así tener la información de la estación con mayor apreciación.
- Acondicionar a la HMI animaciones para situaciones adversas al proceso actual como el cambio de color de las tuberías para cuando se

realicen operaciones de almacenamiento de combustibles que se dan en situaciones emergentes.

- Establecer una red de comunicación de los sensores de flujo tipo Coriolis directa al PLC mediante protocolo Ethernet para así no crear otro servidor con un protocolo diferente.
- Manejar los permisivos directamente desde el PLC mas no desde la HMI ya que se tiene una mayor fiabilidad al momento de realizar las operaciones que realiza la estación.

# BIBLIOGRAFÍA

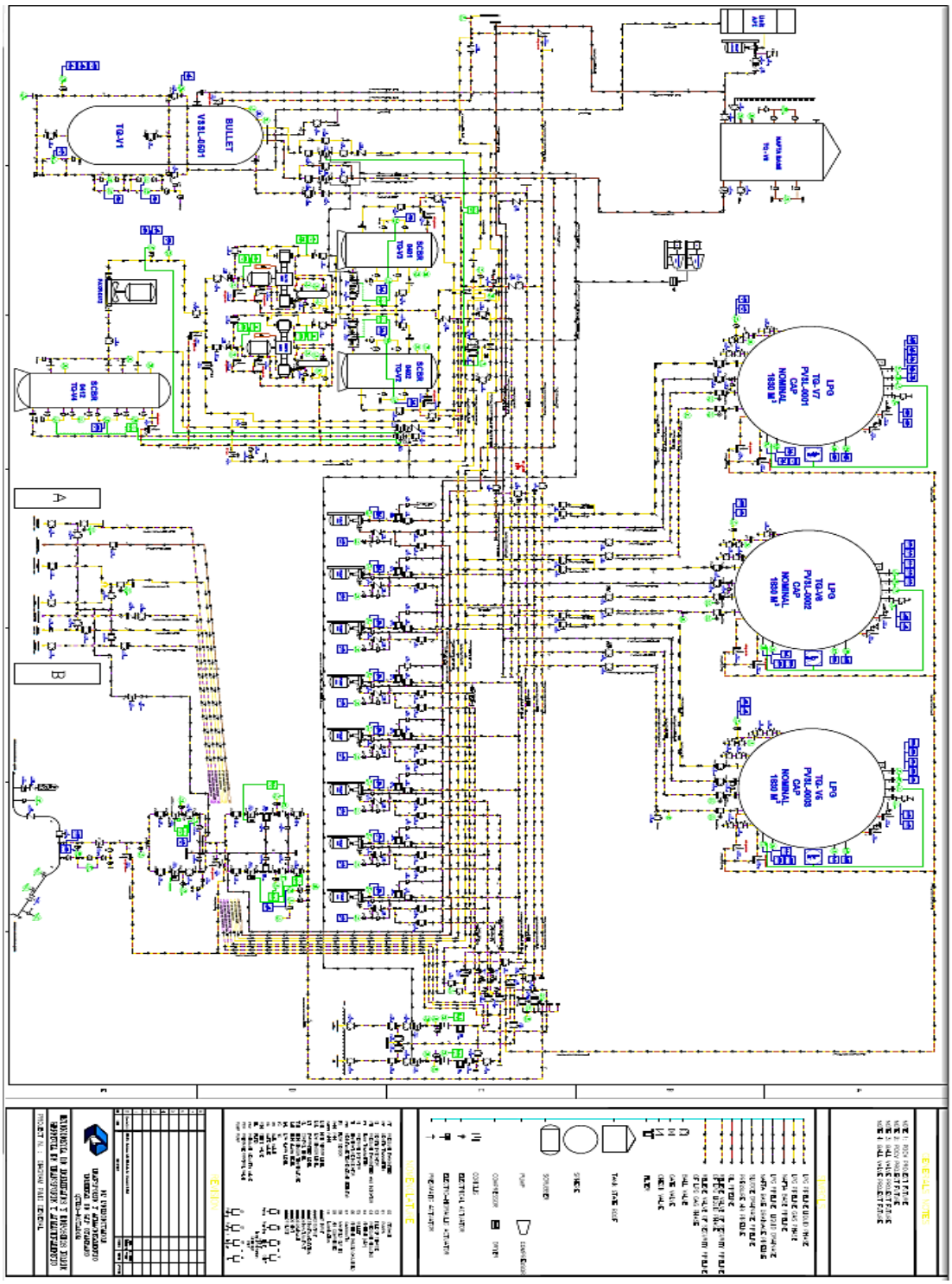

- Bolton, H. (2006). Ingeniería de Control. México: Alfaomega S.A.
- Bolton, W. (2006). Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y eléctrica. (3ª ed.). México: Alfaomega S.A.
- Bishop, R. C. & Dorf, R.H. (2005). Sistemas de control moderno. (10ª ed.). Madrid-España: Pearson Prentice Hall.
- Comunicaciones Industriales. (2015). Recuperado el 20 de diciembre de 2015, de: http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicaciones industrialesdocumento.pdf
- Controlador Lógico Programable (PLC). (2015). Recuperado el 13 de diciembre de 2015, de: http://www.microautomacion.com /capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf
- Cres, A. (1998). Instrumentación Industrial. (6ª ed.). Barcelona-España: Alfaomega S.A.
- Diagramas de Flujo de Procesos (PFD) y Diagramas de Proceso e Instrumentación (P&ID): Interpretación. (2010, Diciembre). Recuperado el 8 de noviembre de 2015, de http://www.instrumentacionycontrol. net/cursos - libres/instrumentacion/curso-practicodeinstrumentacion/ ítem/333-diagramas-de-flujo-de-procesos-pfd-y-diagramas-deproceso-e-instrumentaci%C3%B 3n - pid--interpretaci%C3%B3n.html.
- Interfaces de Comunicación Industrial. (2007, Octubre). Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de: http://bibdigital.epn.edu.ec /bitstream/15000/10020/1/PARTE%201.pdf.
- Ogata, K. (1998). Ingeniería de Control Moderna. (3ª ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.

- Protocolos de Comunicaciones Industriales. (2015). Recuperado el 9 de noviembre de 2015, de: http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/artículos /agosto-06.pdf.
- Redes de Comunicación Industriales. (2016). Recuperado el 9 de enero de 2016, de http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema13.pdf.
- Rodríguez, A. (2007). Sistemas SCADA. (2ª ed.). México D.F: Alfaomega S.A.
- Simbología y Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID). Recuperado el 9 de enero de 2016, de: https://www.academia.edu/11637282/Simbolog%C3%ADa_y_Diagrama_de_Tuberias_e_Instrumentaci%C3%B3n_P_and_ID.
- Sistemas Industriales Distribuidos. (2016). Recuperado el 9 de enero de 2016, de http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf.
- Corrales, L. (2005). Automatización e instrumentación Industrial. Quito: Dpto. De Automatización y Control Industrial.

# ANEXOS

# ANEXO 1

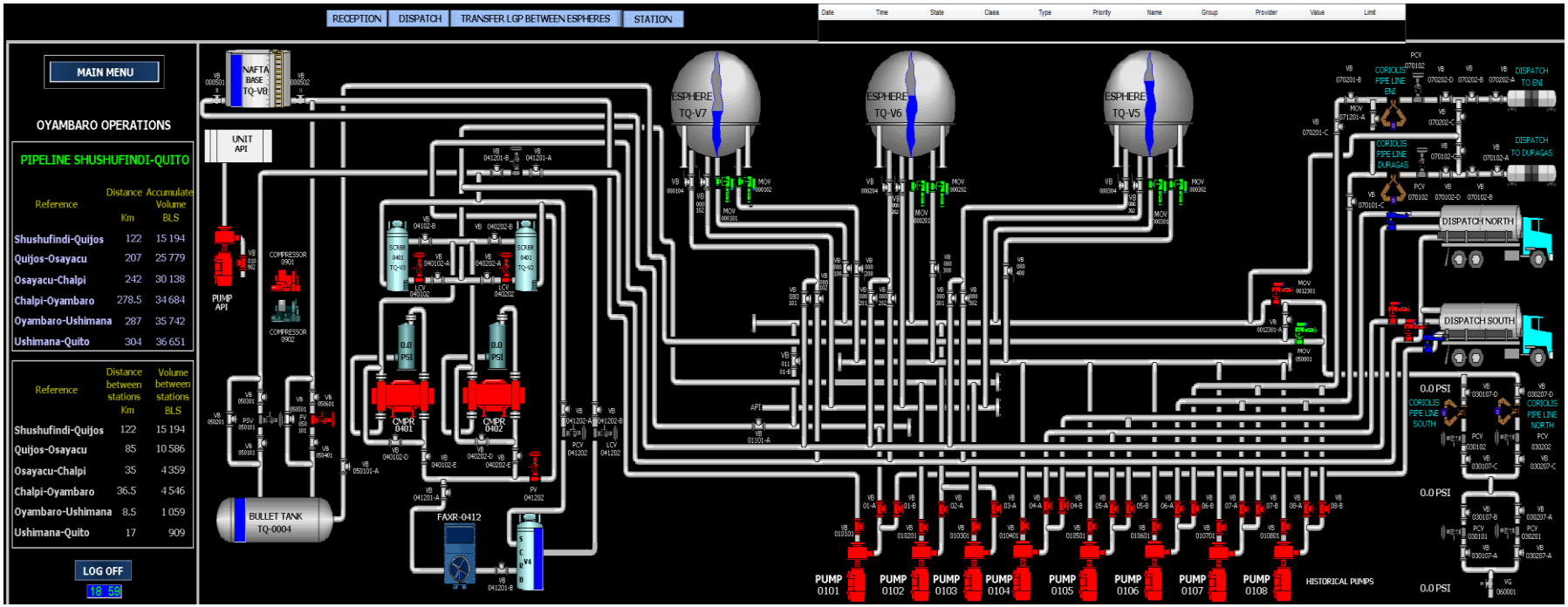
## Plano de la estación de GLP Oyambaro



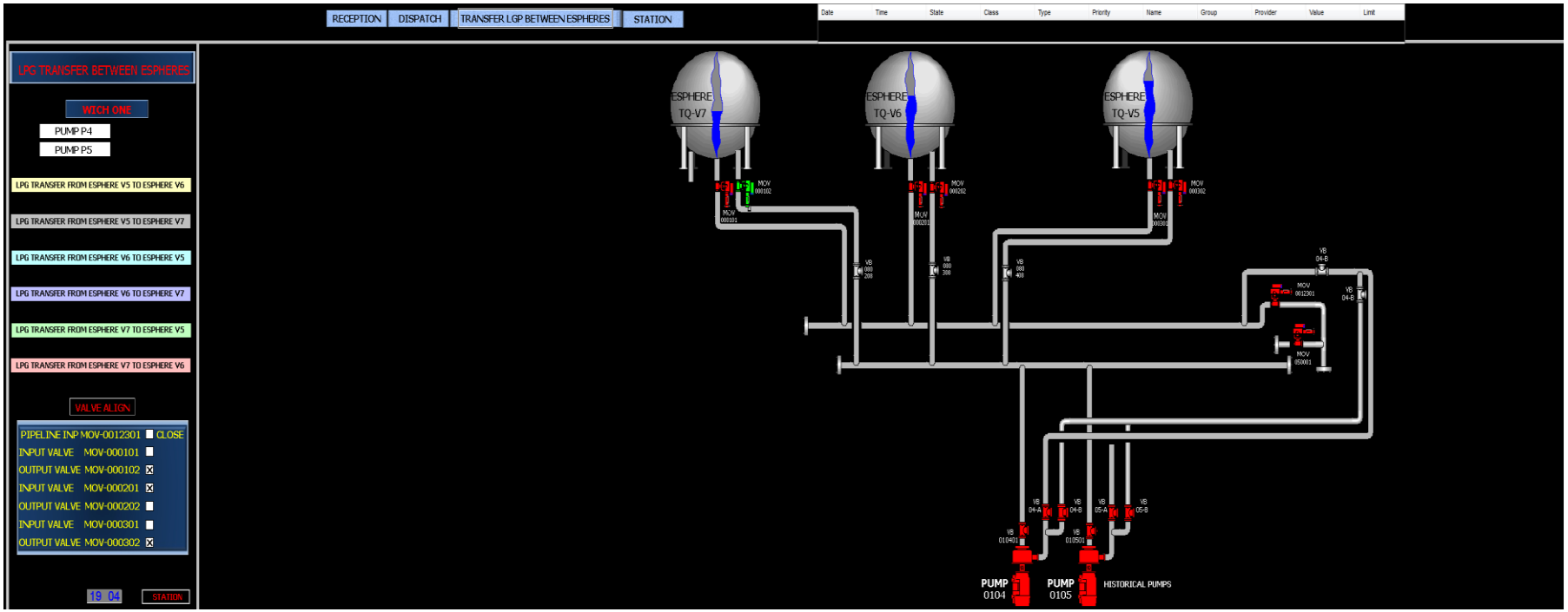
# ANEXO 2

## HMI de la estación de GLP Oyambaro

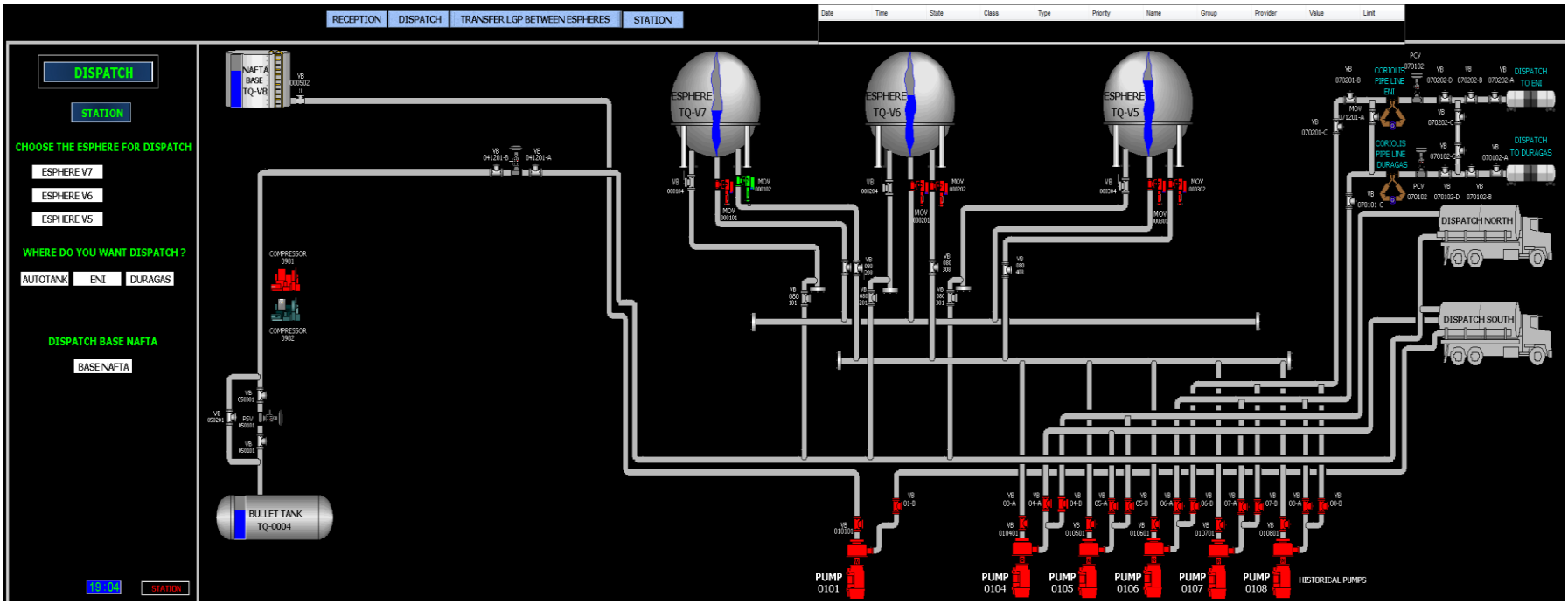
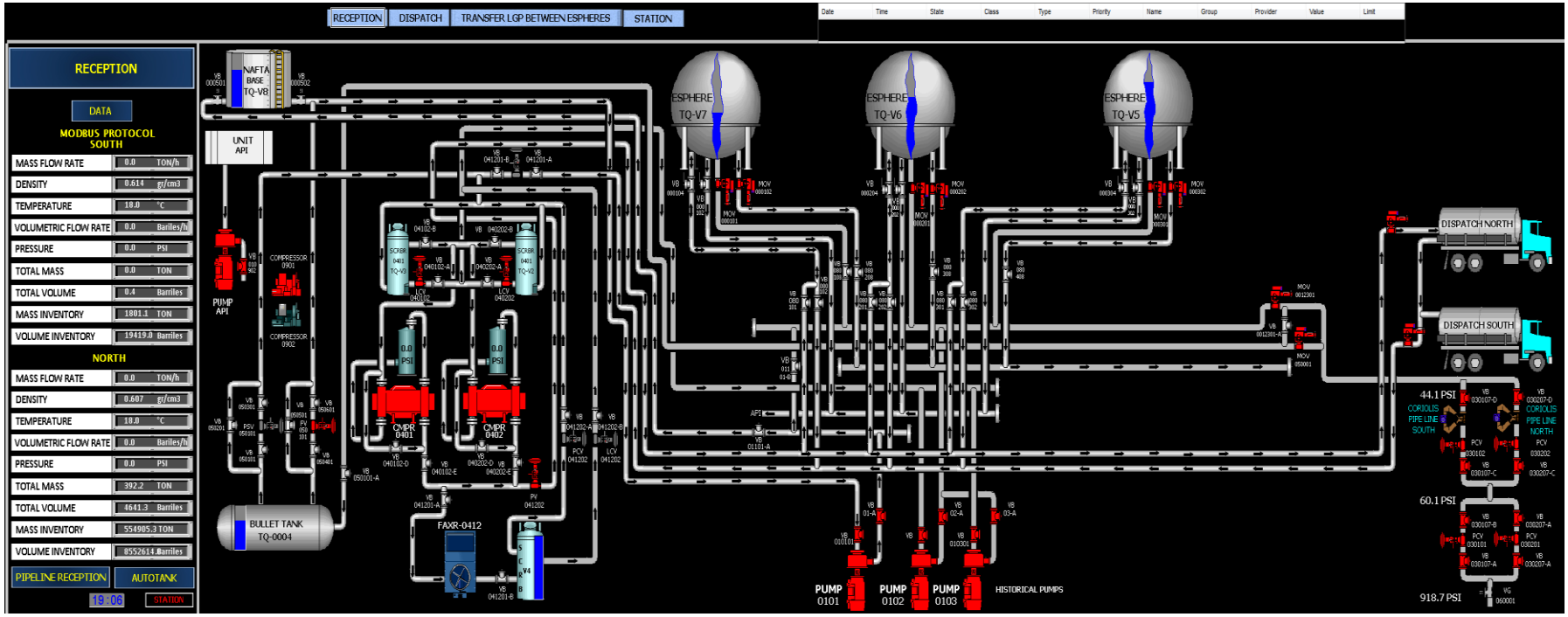
# PANEL DE OPERACIÓN PRINCIPAL



# PANEL DE LA OPERACIÓN DE TRANSFERENCIA



# PANEL DE LA OPERACIÓN DE DESPACHO



# PANEL DE LA OPERACIÓN DE RECEPCIÓN