



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO DE UN TABLERO DE CONTROL Y MONITOREO EN CAMPO  
DE LOS TANQUES DE REFRIGERACIÓN DE GAS PROPANO Y  
BUTANO EN UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LICUADO  
DE PETRÓLEO”

### **INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

VIVIANA MARÍA VACAS MÁRQUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos y darme esa fortaleza para no desvanecer ante las adversidades.

A mi padre, Miguel, por guiar mi camino en el ámbito profesional y haberme dado las oportunidades para que forme parte de varios proyectos eléctricos en el país , impartiendo sus conocimientos y depositando toda su confianza en mí.

A mi familia, ellos siempre mantienen sus brazos abiertos para acogerme y apoyarme incondicionalmente.

Al Ing. Elio Sánchez G. por brindarme todo su cariño y confianza en la realización de este trabajo, siendo partícipe en el desarrollo de la misma. No bastará una vida para agradecer lo que día a día hace por mí, convirtiéndose en mi mejor amigo y aliado.

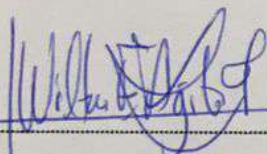
Al Proyecto Monteverde, Flopec, Consorcio GLP, en especial al Ing. Wolfgang Velásquez por los conocimientos brindados para el desarrollo de este documento.

Al Ph.D. Wilton Agila, por su preocupación constante y asesoría para la entrega de este proyecto.

## DEDICATORIA

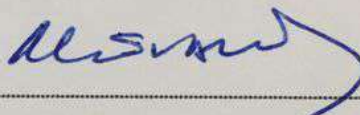
El presente proyecto lo dedico a Dios, mi familia y amigos.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



**Ph.D Wilton Agila**

PROFESOR EVALUADOR



**MSc. Holger Cevallos**

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

*Viviana Vacas M.*

VIVIANA MARÍA VACAS MÁRQUEZ

## RESUMEN

Este proyecto se basa en el diseño del sistema de monitoreo y automatización en campo de dos de los cuatro tanques de almacenamiento de propano y butano refrigerados en la planta de GLP en la Estación Monteverde del país.

Actualmente, esta planta se encuentra en operación, y todo el sistema se encuentra automatizado, y su monitoreo se realiza en un cuarto de control.

Sin embargo, en campo no existen dispositivos de accionamiento y visualización que permitan el control y la lectura de variables físicas como nivel, temperatura y presión.

El presente trabajo va enfocado hacia la consideración de la implementación de un tablero de control en sitio que contemplará la programación de un PLC S7-1200 como controlador y la configuración de un KTP-400 como dispositivo visual de las variables físicas dentro de los tanques incluyendo el desarrollo de los respectivos documentos de ingeniería.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 Explicación del Problema.....	1
1.2 Generalidades del GLP. ....	4
1.3 Áreas Peligrosas. ....	7
1.4 La Automatización y su Clasificación.....	9
1.5 El PLC y la HMI. ....	12
1.6 Comunicación Industrial. ....	15
1.6.1 Direccionamiento IP de Dispositivos.....	15
1.6.2 El Protocolo de Comunicación PROFINET .....	16
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
2. BOSQUEJO DE LA SOLUCIÓN. ....	18
2.1 Generalidades del Proceso.....	18

2.1.1	Instalaciones de Descarga del Muelle. ....	18
2.1.2	Almacenamiento de productos refrigerados.....	20
2.1.3	Grupo frío del propano.....	22
2.1.4	Grupo frío del butano.....	23
2.2	Documentos de Ingeniería en Instrumentación.....	23
2.2.1	Diagramas de Flujo del Proceso.....	23
2.2.2	Diagramas de Tubería e Instrumentación.....	25
2.3	Instrumentación de Campo.....	28
2.3.1	Consideraciones sobre la instrumentación. ....	28
2.3.2	Típicos de Montaje de Instrumentos.....	32
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>35</b>
3.	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.....	35
3.1	Documentos Adicionales de la Ingeniería en Instrumentación.....	35
3.1.1	Listado de entradas y salidas del PLC.....	35
3.1.2	Tablero de Control.....	38
3.1.3	Diagrama de Estados.....	39
3.2	Implementación de la Red Local de Equipos de Automatización.....	40
3.2.1	Arquitectura de Control.....	41
3.2.2	Programación del PLC.....	43
3.2.3	Configuración del HMI.....	62
3.2.4	Análisis económico de los dispositivos.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		71
BIBLIOGRAFÍA.....		73
ANEXOS .....		74



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

GLP	Gas Licuado de Petróleo.
CNC	Control Numérico Computarizado.
FMS	Sistemas de Manufactura Flexible.
CAD	Diseño Asistido por Computador.
CAE	Ingeniería Asistida por Computador
CAM	Manufactura Asistida por Computador.
TIA	Automatización Totalmente Integrada.
PLC	Controlador Lógico Programable.
PC	Ordenador Personal.
E/S	Entradas/Salidas.
HMI	Interfaz Hombre Máquina.
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Internet
NPT	Rosca de Tubería Cónica Nacional

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Muelle para recibimiento de buques en estación “Monteverde”, Ecuador.	2
Figura 1.2 Tanques y esferas de GLP en estación “Monteverde”, Ecuador. ....	3
Figura 1.3 Islas de Carga en terminal “El Chorrillo”, Ecuador.....	3
Figura 1.4 Esquema Molecular del gas Propano y Butano.....	4
Figura 1.5 Curvas de Comportamiento del Propano y Butano Comercial. ....	6
Figura 1.6 Ejemplo de automatización fija con máquina de fabricación de platos. ..	10
Figura 1.7 Ejemplo de automatización programable con máquina de fabricación de manguetas.....	10
Figura 1.8 Ejemplo de automatización flexible en fábrica de “Tesla Motors”.....	11
Figura 1.9 Ramas que conforman la automatización integrada.....	12
Figura 1.10 Diagrama de bloques típico de un autómeta programable. ....	13
Figura 1.11 Diagramas de bloques típicos de: a) un panel de operación y b) una pantalla táctil. ....	14
Figura 1.12 Direccionamiento IP de una computadora.....	16
Figura 1.13 Arquitectura de Control con PROFINET.....	17
Figura 2.1 Muelle en Estación Monteverde para Recibimiento de Propano y Butano. .....	19
Figura 2.2 Diagrama de Bloques del Proceso de Almacenamiento de Propano y Butano en Tanques Refrigerados. ....	20
Figura 2.3 Proceso de Almacenamiento de Propano y Butano, y Formación de GLP. .....	22
Figura 2.4 Diagrama de Flujo del Proceso de los Tanques de Propano.....	24
Figura 2.5 Diagrama de Flujo del Proceso de los Tanques de Butano.....	25
Figura 2.6 Simbología Estándar de Instrumentos. ....	26
Figura 2.7. Tipos de Líneas Para Conexión de Instrumentos.....	27
Figura 3.1 Vista Externa e Interna de tablero PLC-P&B-001.....	38
Figura 3.2 Diagrama de estados del proceso para el tanque de propano o butano.	40
Figura 3.3 Arquitectura de control.....	42

Figura 3.4 Ventana para la creación del proyecto. ....	43
Figura 3.5 Ventana para la configuración del dispositivo. ....	44
Figura 3.6 Ventana para la selección del CPU.....	44
Figura 3.7 Ventana para la inserción de módulos de expansión. ....	45
Figura 3.8 Tabla de variables estándar – entradas discretas. ....	46
Figura 3.9 Tabla de variables estándar – salidas discretas.....	46
Figura 3.10 Tabla de variables estándar – entradas analógicas. ....	47
Figura 3.11 Ventana de creación del FB TQ-001X.....	48
Figura 3.12 Implementación del primer segmento en TIA PORTAL.....	48
Figura 3.13 (a) Implementación del segundo segmento en TIA PORTAL (b) diagrama lógico.....	49
Figura 3.14 (a) Implementación del tercer segmento en TIA PORTAL, (a) diagrama lógico.....	50
Figura 3. 15 Implementación del cuarto segmento en TIA PORTAL. ....	50
Figura 3.16 Gráfica entre el número de bits y la corriente de la interfaz de entrada.51	
Figura 3.17 Gráfica entre las variables físicas y el número de bits normalizado.....	52
Figura 3. 18. Implementación del quinto segmento en TIA PORTAL. ....	53
Figura 3.19 Implementación del sexto segmento en TIA PORTAL, junto con su diagrama lógico. ....	53
Figura 3. 20 Implementación del séptimo segmento en TIA PORTAL.....	54
Figura 3. 21 Ventana de creación del DB para un temporizador. ....	54
Figura 3. 22 (a) Implementación del octavo segmento en TIA PORTAL (b) diagrama lógico.....	55
Figura 3. 23 Implementación del noveno segmento en TIA PORTAL. ....	56
Figura 3.24 Implementación del décimo segmento en TIA PORTAL.....	56
Figura 3. 25 (a) Implementación del décimo primer segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico. ....	57
Figura 3. 26 (a) Implementación del último segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.....	58
Figura 3.27 Ventana de creación del DB TQ-001X_DB. ....	59
Figura 3.28 Implementación del primer segmento del OB en TIA PORTAL. ....	59

Figura 3.29 Implementación del primer FB para el tanque de propano en TIA PORTAL.....	60
Figura 3.30 Implementación del segundo FB para el tanque de butano en TIA PORTAL.....	61
Figura 3.31 Selección de la KTP400 Basic. ....	62
Figura 3.32 Selección del PLC dentro de la configuración del HMI.....	63
Figura 3.33 Confirmación de la conexión entre el PLC Y HMI.....	63
Figura 3.34 Configuración de avisos.....	64
Figura 3.35 Selección del número de pantallas de usuario en el HMI. ....	64
Figura 3.36 Selección de los botones del sistema en la pantalla del HMI. ....	65
Figura 3.37 Pantalla Principal del HMI. ....	65
Figura 3. 38 Pantalla HMI correspondiente al tanque de propano TQ-001A .....	66
Figura 3. 39 Configuración de los niveles mínimos y máximos de la temperatura del tanque TQ-001A. ....	66
Figura 3. 40 Pantalla HMI correspondiente al tanque de butano TQ-001B.....	67
Figura 3. 41 (a) Panel de Alarmas de válvulas para el tanque de propano TQ-001A (b) Panel de Alarmas de válvulas para el tanque de propano.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Zonas, Áreas y Divisiones Peligrosas.....	8
Tabla 2. Grupos de Elementos Peligrosas.....	9
Tabla 3. Índice de Instrumentos.....	31
Tabla 4. Tabla de direccionamiento en red de área local.....	42
Tabla 5. Lista de Precios .....	69

## INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se introducen los fundamentos teóricos acerca de los gases de propano y butano, las características de los tanques de almacenamiento de estos gases pesados, las áreas peligrosas en las que estos productos se encuentran, además se hace una reseña ingenieril de la necesidad de automatizar procesos, direccionamiento de los dispositivos a emplearse y del tipo de comunicación industrial.

En el capítulo siguiente se analiza los procedimientos necesarios para la resolución de este proyecto. Se describe el proceso desde cuando ingresan los productos refrigerados a los tanques, hasta cuando se requiera la salida de estos gases para la producción del GLP, considerando el tipo de instrumentación necesaria para este tipo de ambientes explosivos, salinos y corrosivos.

En el capítulo final, se obtendrán las señales provenientes de los instrumentos de los tanques para luego realizar la configuración correspondiente de equipos electrónicos y así obtener la automatización y el control de esta etapa del proceso.

Como futuro aporte la comunicación entre el S7-1200 y la KTP400 se podría establecer por vía inalámbrica, utilizando un enrutador TL-WA5110G de largo alcance que se encuentre como base en el cuarto de control.

Una de las principales razones para que un país tenga la necesidad de implementar un sistema de almacenamiento, transporte, envasado y distribución de gas licuado de petróleo es para eliminar los altos costos de almacenamiento flotante y las operaciones de alijes reemplazando por un almacenamiento en tierra y además garantizando el abastecimiento oportuno y confiable.

El almacenamiento de gas combustible se caracteriza por ser un proceso que crece en complejidad y se hace necesario automatizar debido a que se tienen altas

presiones y bajas temperaturas, con esto se debe utilizar equipamiento especializado como pueden ser reguladores o autómatas programables.

El objetivo del proyecto es diseñar un sistema de automatización dedicado para los tanques de almacenamiento de propano y butano para una planta de GLP con un PLC y una HMI, considerando también la instrumentación que este proceso requiera.

Como resultado esperado general, e importante, es que el diseño del sistema de automatización de los tanques de almacenamiento de propano y butano sea óptimo y fiable, con la ayuda del desarrollo de la ingeniería en detalle para una mejor interpretación e implementación a futuro, y también para que el operador pueda familiarizarse de una mejor manera con el comportamiento de las variables, o incluso, del proceso de almacenamiento de propano y butano.

# CAPÍTULO 1

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

En este primer capítulo se expondrá el contexto del presente proyecto de la materia integradora enfocada en automatización y control, en donde se iniciará con la descripción del problema junto con su fundamentación teórica la misma que incluye características del GLP y sistemas de automatización.

### 1.1 Explicación del Problema.

Uno de los temas con más relevancia en materia de política pública energética en el mundo es la capacidad de brindar productos derivados de petróleo como GLP a los sectores doméstico, transporte, comercial e industrial.

Según la revista publicada en la página web de ekosnegocios, en Ecuador, el GLP es una necesidad básica ya que su demanda diaria en todo el país asciende a 3.000 toneladas métricas y es utilizado tanto en los hogares como en los procesos industriales. Con este análisis fue necesario que el país considere el aumento de la capacidad instalada y mejorar equipos, procesos y tecnología en la producción de este gas combustible.

Esta idea constituyó la primera piedra en la construcción de una de las obras más significativas del sector: la empresa EP Petroecuador impulsó el sistema de GLP Monteverde-Chorrillo que está en operación y funcionamiento desde Junio de 2014.

Durante su construcción, los retos fueron desafiantes ya que el objetivo era contar con un complejo compacto en donde se receipte, almacene, transporte y distribuya el GLP al país permitiendo un ahorro de 40 millones de dólares anuales.



La estructura de este complejo compacto consta de cinco componentes, donde el primer componente es un muelle de 1.350 metros de longitud, capaz de recibir buques de hasta 75 000 toneladas de peso muerto por la proa del buque, y de 25 000 toneladas por la popa del buque. El muelle para el recibimiento de buques en la estación Monteverde, Ecuador se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Muelle para recibimiento de buques en estación “Monteverde”, Ecuador.

El segundo componente es la estación marítima “Monteverde” con una capacidad de almacenamiento de 60 000 toneladas métricas, y el tercero es una estación de bombeo compuesta por bombas centrífugas con capacidad de bombeo de 5.300 toneladas métricas por día que van por el cuarto componente que es un ducto de 124 kilómetros de longitud desde la estación Monteverde hasta la terminal “El Chorrillo”, que sería nuestro quinto componente, y que consta de casetas de control, válvulas de seccionamiento y detectores de fugas e intrusos para brindar seguridad en cada una de las operaciones. En la Figura 1.2 se visualizan los tanques de almacenamiento de gas propano y butano, y las esferas de GLP en estación Monteverde, Ecuador.



Figura 1.2 Tanques y esferas de GLP en estación “Monteverde”, Ecuador.

La terminal “El Chorrillo” posee una capacidad de almacenamiento de 15.760 toneladas métricas, distribuidas en tanques horizontales y esferas de GLP, con una capacidad de despacho de 8.530 toneladas métricas por día, a través de islas de carga a auto-tanques, con brazos de carga y carruseles de llenado de cilindros de gas. En la Figura 1.3 se muestra las islas de carga de GLP en terminal Chorrillo, Ecuador.



Figura 1.3 Islas de Carga en terminal “El Chorrillo”, Ecuador.

Enfocándose en el almacenamiento de GLP en la estación marítima “Monteverde”, se tienen los tanques de propano y butano que pueden ser extraídos del GLP y tratados por procesos consistentes, como por ejemplo la refrigeración y la destilación, para obtener temperaturas muy bajas en estos gases, y está claro que estos procesos de manufactura continuos requieren precisión, confiabilidad, y seguridad, en donde realizando un análisis se puede lograr el diseño de un sistema de automatización dedicado para que satisfaga las exigencias de este proceso.

La automatización como proceso ha sido una de las mayores técnicas del hombre ya que a partir de sus resultados obtenidos se ha logrado disminuir significativamente fallas de tipo humano mejorando así los niveles de producción y de vida [1].

## 1.2 Generalidades del GLP.

El GLP es fundamentalmente una combinación de moléculas de propano ( $C_3H_8$ ) y butano ( $C_4H_{10}$ ), con trazas de otros compuestos. En la Figura 1.4 se muestra el esquema molecular del gas propano y butano.

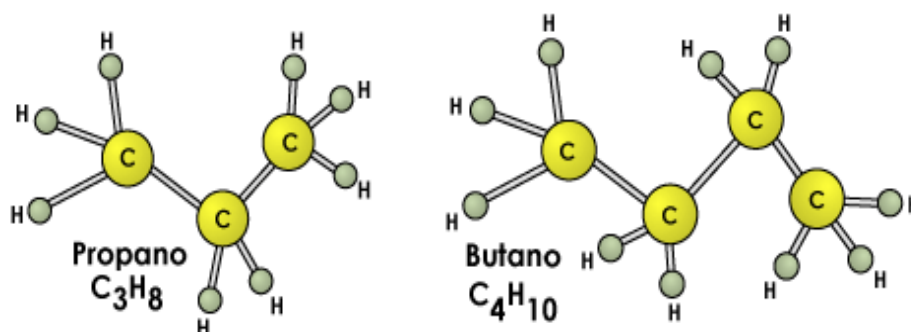


Figura 1.4 Esquema Molecular del gas Propano y Butano.

Los componentes del GLP se los puede obtener de dos maneras: el 60% de la extracción del gas natural y petróleo del suelo, mientras que el 40% restante del proceso de refinación del petróleo [2].

Cuando se extrae de la tierra gas natural y crudo de petróleo se obtiene una mezcla de distintos tipos de gases y líquidos, de los cuales son eliminados elementos como el agua, compuestos ácidos como óxidos de carbono y sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, helio, otros sólidos e impurezas, que de no ser eliminados pueden destruir progresivamente los gaseoductos y contaminar el medio ambiente.

Sin embargo, otros componentes que se encuentran en estos reservorios gasíferos y petrolíferos, como los gases de propano y butano, son extraídos mediante procesos consistentes que corresponden a la reducción de la temperatura del gas hasta que estos componentes se condensan. Estos procesos utilizan equipos de refrigeración, por ejemplo turboexpansores, para alcanzar temperaturas inferiores a  $-40^{\circ}\text{C}$  para recuperar el propano. Estos líquidos pasan por el proceso de purificación mediante trenes de destilación para producir independientemente propano y butano líquido o directamente GLP [3].

Los gases de propano y butano están atrapados en el crudo de petróleo. En el proceso de refinación del crudo, estos gases son los primeros productos en desprenderse a lo largo del proceso de preparación de combustibles más pesados como gasolinas, gasóleos, combustibles de avión, entre otros. Aproximadamente el 3% de un barril de crudo típico se refina para proporcionar GLP, donde un litro de líquido de GLP corresponde a 272.6 litros de gas propano y 237.8 litros de gas butano.

El GLP comercial es de dos tipos: refiérase a “propano” como propano comercial, y “butano” como butano comercial, donde el propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios, tales como etano y butano, y puede tener hasta un máximo de 30% de butano, y en cambio, el butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios, tales como propano y pentanos, y puede tener un máximo de 50% de propano.

Este hidrocarburo normalmente se encuentra en estado gaseoso, a presión atmosférica de 1 atmósfera y temperatura de 20°C, de hecho existen dos formas de mantener en líquido los principales componentes del GLP: por aumento de presión a temperatura ambiente y/o descenso de temperatura a presión atmosférica.

Una diferencia significativa entre el propano y el butano son sus puntos de ebullición ya que para obtener líquido de estos gases a presión atmosférica, la temperatura del propano debe ser inferior a -42.2°C y la del butano -0.5°C. Por lo tanto, a -18°C el butano no se evaporizará a presión atmosférica mientras que el propano sí lo hará, y no obstante, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter el GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser mayor que 2 atmósferas, en cambio para el propano, la presión debe ser más de 8 atmósferas.

En la Figura 1.5 se muestra las curvas de comportamiento del propano y butano comercial que relaciona la presión manométrica y la temperatura de estos dos productos.

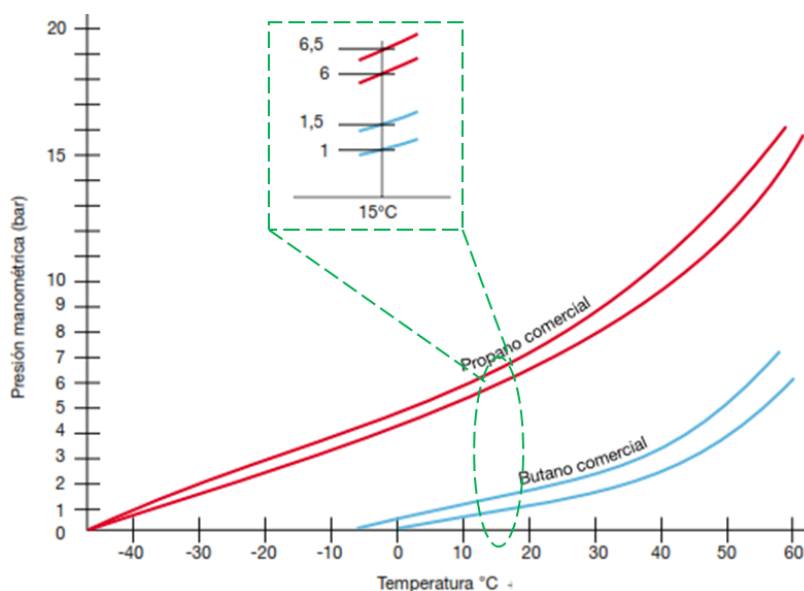


Figura 1.5 Curvas de Comportamiento del Propano y Butano Comercial.

### **1.3 Áreas Peligrosas.**

Las áreas clasificadas o peligrosas son aquellas donde el peligro de fuego o explosión pueda existir, debido a la presencia de gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, fibras o partículas volátiles inflamables.

Los procesos industriales del ámbito petrolero o petroquímico son de alto grado de complejidad y criticidad, por esto se amerita que las instalaciones posean sistemas de instrumentación complejos con alto rendimiento y eficiencia a fin que brinde confiabilidad y seguridad.

Las áreas peligrosas se clasifican en zonas según la frecuencia de aparición y el tiempo de permanencia de una atmósfera explosiva de acuerdo a la definición de la norma IRAM-IEC-60079-10.

Por otra parte, para determinar la clase de área se toma en cuenta la naturaleza del producto que en ella escapa a la atmósfera.

La división indica el nivel de riesgo presente en el área a clasificar. Cuando se evalúa la división, es necesario tomar en cuenta la frecuencia de escape y el nivel de ventilación del área bajo estudio. En este trabajo consideraremos dos divisiones.

En la Tabla 1 se encuentra la clasificación por zonas, áreas y divisiones peligrosas [4].

Tabla 1. Tabla de Zonas, Áreas y Divisiones Peligrosas.

<b>ZONAS PELIGROSAS</b>	<b>ZONA 0</b>	Una mezcla explosiva de gases, vapor o niebla, está presente permanentemente.
	<b>ZONA 1</b>	Una mezcla explosiva de gases, vapor o niebla es susceptible de formarse en servicio normal de la instalación.
	<b>ZONA 2</b>	Una mezcla explosiva puede aparecer con menor frecuencia o en casos (fugas o negligencias de utilización).
	<b>ZONA 20</b>	Existe una atmósfera explosiva, en forma de una nube de polvo combustible mezclado con aire, todo el tiempo o durante largos periodos o frecuentemente.
	<b>ZONA 21</b>	La atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible, mezclado con aire ocurre ocasionalmente durante la operación normal.
	<b>ZONA 22</b>	La atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo mezclado con aire no está presente durante la operación normal del equipo. Sin embargo puede estar presente durante periodos breves.
<b>AREAS PELIGROSAS</b>	<b>CLASE I</b>	Su atmósfera está o pueden estar presentes gases o vapores inflamables en cantidad suficiente como para producir una mezcla inflamable o explosiva. Los varios gases y vapores están organizados en cuatro grupos: Grupo A, Grupo B, Grupo C y Grupo D.
	<b>CLASE II</b>	Son peligrosos debido a la presencia de polvos combustibles. Para los polvos las categorías están agrupadas en: Grupo E, Grupo F, y grupo G.
	<b>CLASE III</b>	Son aquellas áreas donde existen condiciones de peligrosidad debido a la presencia de fibras o materiales que produzcan pelusas inflamables. Esta clase de áreas no tienen grupos específicos que las identifiquen.
<b>DIVISIONES PELIGROSAS</b>	<b>DIVISIÓN 1</b>	Se encuentran aquellas áreas donde bajo condiciones normales de operación o debido a labores frecuentes de reparación y mantenimiento, existen fugas de gases o vapores en concentraciones inflamables. También a las que debido a rotura u funcionamiento anormal del equipo de proceso puedan liberarse gases o vapores en concentraciones inflamables y simultáneamente pueda ocurrir una falla en el equipo eléctrico.
	<b>DIVISIÓN 2</b>	Se manejan, procesan o almacenan productos inflamables, pero normalmente no existen concentraciones peligrosas, los productos se encuentran en recipientes o sistemas cerrados de los cuales solo pueden escapar en caso de rotura o funcionamiento anormal de los equipos de proceso, así como también, donde las concentraciones inflamables de gases o vapores son impedidas.

Dependiendo de las propiedades químicas del producto liberado a la atmósfera, que determinan específicamente la facilidad con la que este tiende a incendiarse, define el grupo como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Grupos de Elementos Peligrosas.

GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D	GRUPO E	GRUPO F	GRUPO G
Acetileno	Gases derivados del Hidrógeno	Ether Etílico, Etileno	Gasolina, Propano, Gas Natural, Butano	Aluminio, Magnesio	Carbón	Harina, Granos, Madera, Plásticos, Químicos

#### 1.4 La Automatización y su Clasificación.

La automatización se puede definir como la aplicación de la tecnología para llevar a cabo procesos que se prueban y autocorrigien, por lo tanto puede decirse que es una combinación entre la tecnología electromecánica, la electrónica y sobretodo la teoría de control ya que los sistemas de control son fundamentales para el manejo de procesos de producción. La automatización se puede clasificar en cuatro grandes clases: automatización fija, programable, flexible e integrada.

La automatización fija está constituida por una secuencia sencilla de operaciones, además que se necesita una inversión elevada en equipos especializados, tanto en los procesos continuos como en los discretos, obteniendo elevados ritmos de producción siendo muy inflexible para acomodarse a cambios de producción. En la Figura 1.6 se muestra un ejemplo de la automatización fija con máquina de fabricación de platos.





Figura 1.6 Ejemplo de automatización fija con máquina de fabricación de platos.

Por otra parte, la automatización programable se identifica con sistemas de fabricación en donde el equipo de producción es diseñado para ser capaz de cambiar la secuencia de operaciones para adaptarse a la fabricación de productos distintos. Esta clase de automatización se inició en equipos basados en CNC, se caracteriza por una gran inversión en equipos de aplicación general, por la necesidad de cambiar el programa y la disposición física de los elementos en las máquinas de producción para cada lote de productos diferentes como se muestra en la Figura 1.7.



Figura 1.7 Ejemplo de automatización programable con máquina de fabricación de manguetas.

Se puede decir que la automatización flexible es una extensión de la automatización programable que nos brinda como resultado sistemas de fabricación en los que no solo se pueden cambiar los programas sino también que se puede cambiar la relación entre los diversos elementos que constituyen, y es así como este tipo de automatización ha dado lugar a los sistemas FMS. En la Figura 1.8 se muestra un ejemplo de la automatización flexible en la fábrica de Tesla Motors.



Figura 1.8 Ejemplo de automatización flexible en fábrica de “Tesla Motors”.

Finalmente, como se tenía la necesidad de disminuir el tamaño de los lotes de fabricación y los plazos de industrialización se impulsó la necesidad de implementar sistemas aún más flexibles dando lugar a la automatización integrada que es un sistema de fabricación que integra el diseño CAD, la ingeniería CAE y la fabricación CAM con la verificación, comercialización y distribución, tal como se muestra en la Figura 1.9. Cabe mencionar de que como a partir de esta clase de automatización se llevan a cabo la gran mayoría de tareas de manera cotidiana, se la conoce también por las siglas TIA en donde las herramientas basadas en computador complementan a la combinación interdisciplinaria de lo que es la automatización .

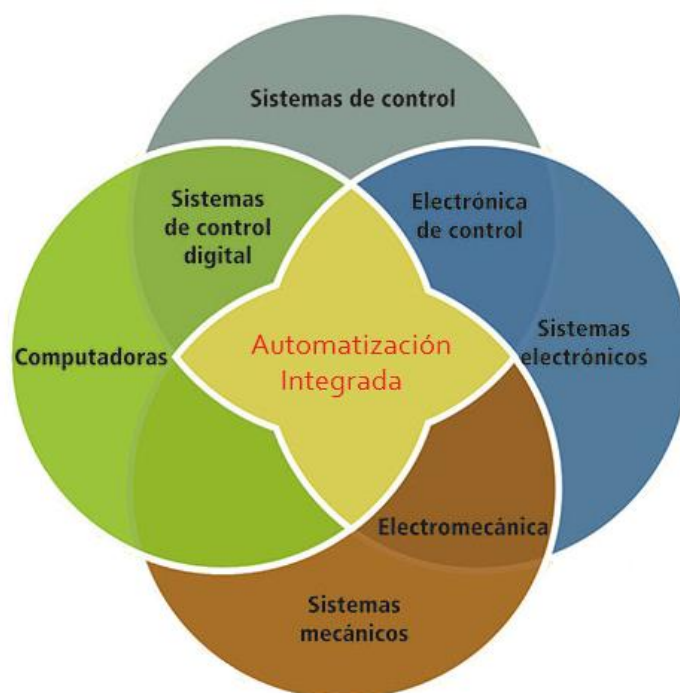


Figura 1.9 Ramas que conforman la automatización integrada.

Está comprobado que se puede obtener una mayor productividad con la ayuda de la automatización de los procesos en la medida que se haga uso óptimo de los equipos y sistemas asociados al proceso, ya que actualmente la tecnología permite establecer una serie de estrategias de control que tenían una implementación muy complicada hace solamente unos años [5].

### 1.5 EI PLC y la HMI.

Un autómata programable, o PLC, es un equipo electrónico y programable en un lenguaje no informático diseñado especialmente para procesos secuenciales en tiempo real y en ambientes industriales, y de hecho en procesos discretos, el PLC tiene una competencia muy mínima ya que se uso es universal porque puede manejar fácilmente señales continuas, o análogas, y algoritmos de control.

Hoy en día este elemento es muy importante en la automatización integrada ya que se programa mediante una PC o un programador portátil, por este

motivo es que como desventajas podemos decir que hace falta un programador y que el costo inicial también puede ser elevado, pero como principales ventajas podemos decir que es confiable, flexible, veloz, entrega diagnósticos y posee funciones avanzadas donde se pueden interactuar con otros equipos en automatización con la ayuda de procesadores de comunicaciones.

Adicionalmente podemos mencionar que las variables digitales se pueden acoplar a través de módulos, de manera similar a las variables análogas pero con la ayuda de convertidores análogos a digitales, aunque también se tienen contadores o temporizadores que actuarían como E/S especiales, y este tratamiento de señales se lo realizaría con la ayuda de una memoria de datos, junto con la memoria de programa que realizará las tareas indispensables tales como la carga de un programa de control al autómeta. Toda esta estructura interna de un PLC se detalla en el diagrama de bloques en la Figura 1.10.

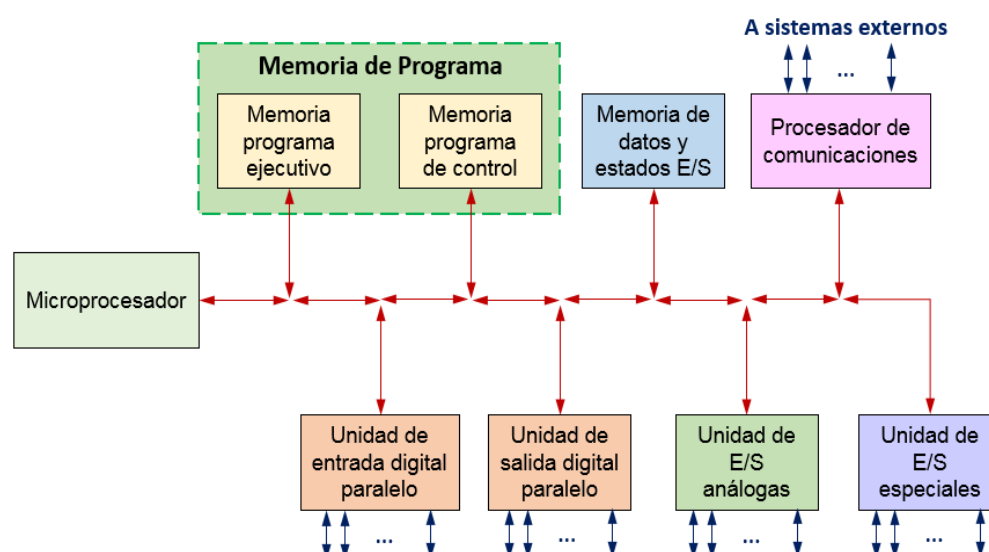


Figura 1.10 Diagrama de bloques típico de un autómeta programable.

Cabe mencionar que cuando una máquina en un proceso industrial se controla por medio un PLC, el control es sencillo, pero al momento de que la máquina es compleja el sistema electrónico debe proporcionarle al usuario información

sobre determinadas variables del proceso y la posibilidad de modificar parámetros, dicho en otras palabras se necesita un periférico que sirva como una unidad de acoplamiento entre el usuario y la máquina, o bien una HMI, que puede ser elaborada con la ayuda de: paneles de operación formados por una pantalla gráfica y un teclado, o sino con paneles táctiles donde se suprime el teclado, y en ambos equipos se tiene un procesador que controla la pantalla y/o teclado, y una unidad de interfaz que se comunicaría con un PLC. Las estructuras internas de los paneles que pueden utilizados en una HMI se detallan en los diagramas de bloques de la Figura 1.11.

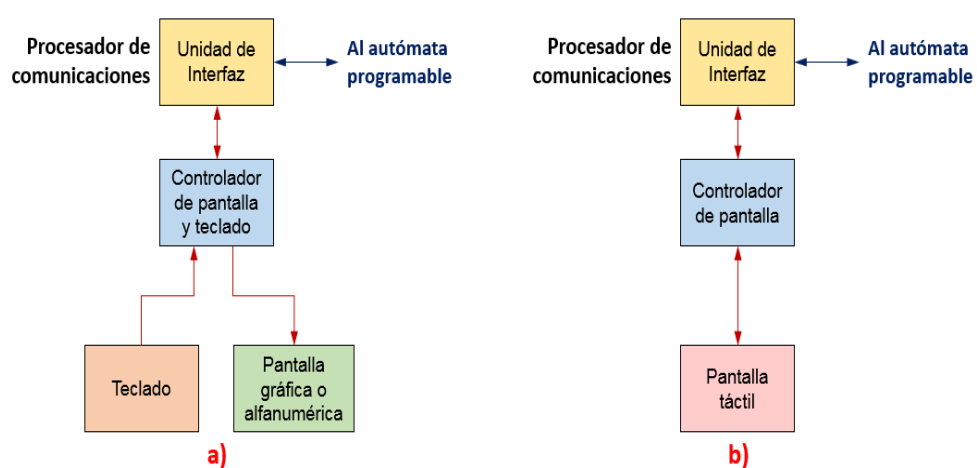


Figura 1.11 Diagramas de bloques típicos de: a) un panel de operación y b) una pantalla táctil.

Los paneles de operación y las pantallas táctiles pueden poseer distintas características como por ejemplo sus dimensiones y capacidades gráficas y de teclado, pero en sí, en cada aplicación se debe elegir el tipo de unidad HMI adecuada y de hecho existen máquinas donde es conveniente que el sistema electrónico de control se encuentre empotrado en ellas ocupando el mínimo espacio posible [5].

## **1.6 Comunicación Industrial.**

La integración de la tecnología de la información en automatización abre significativamente varias opciones de comunicación desde los elementos que constituyen a una red extensa hasta una comunicación entre un PLC y una HMI, y estas funciones han sido parte integrante de PROFINET desde un principio [6].

### **1.6.1 Direccionamiento IP de Dispositivos.**

Cuando se desea realizar una comunicación de extremo a extremo para una red Ethernet, el uso de direcciones IP, ya sean IPv4 o IPv6, es el principal medio para permitir que los dispositivos se ubiquen entre sí

La estructura de una dirección IP se denomina notación decimal punteada y se representa con cuatro números decimales entre 0 y 255, y estas direcciones IP son asignadas a cada dispositivo conectado.

Se necesita una máscara de subred, que son un tipo especial de direcciones IP que, combinadas con las direcciones IP, determinan de qué subred específica de una red más grande forma parte el dispositivo.

Adicionalmente a estas redes, se suelen utilizar conmutadores y enrutadores para así manipular el tráfico de la red. En la Figura 1.12 se muestra el direccionamiento IP de una computadora.

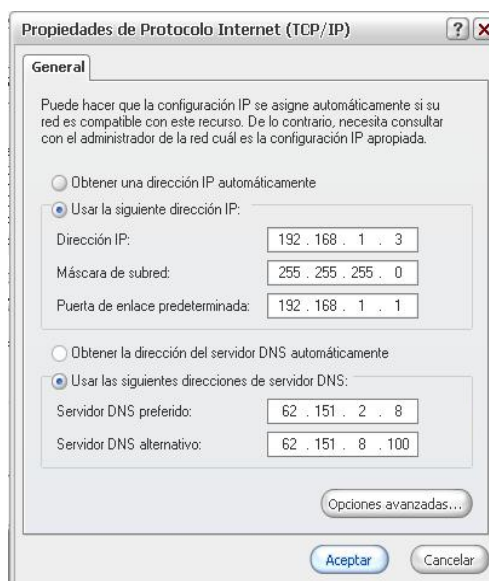


Figura 1.12 Direccionamiento IP de una computadora.

### 1.6.2 El Protocolo de Comunicación PROFINET.

El uso de la tecnología de buses de campo, como Profibus, ha hecho posible migrar de sistemas de automatización centralizados a descentralizados, y por otra parte en la tecnología de automatización de hoy, el protocolo Ethernet y tecnología de la información cada vez están a cargo de las normas establecidas como por ejemplo TCP/IP.

En el marco de la automatización totalmente integrada, Profinet es la evolución consecuente de Profibus, junto con la combinación de las propiedades de uso habituales con la incorporación de innovadores conceptos de la tecnología Ethernet, siendo un estándar abierto que permite conectar equipos desde un nivel de campo hacia un nivel de gestión satisfaciendo todos los requerimientos de automatización [6], como se muestra en la Figura 1.13.

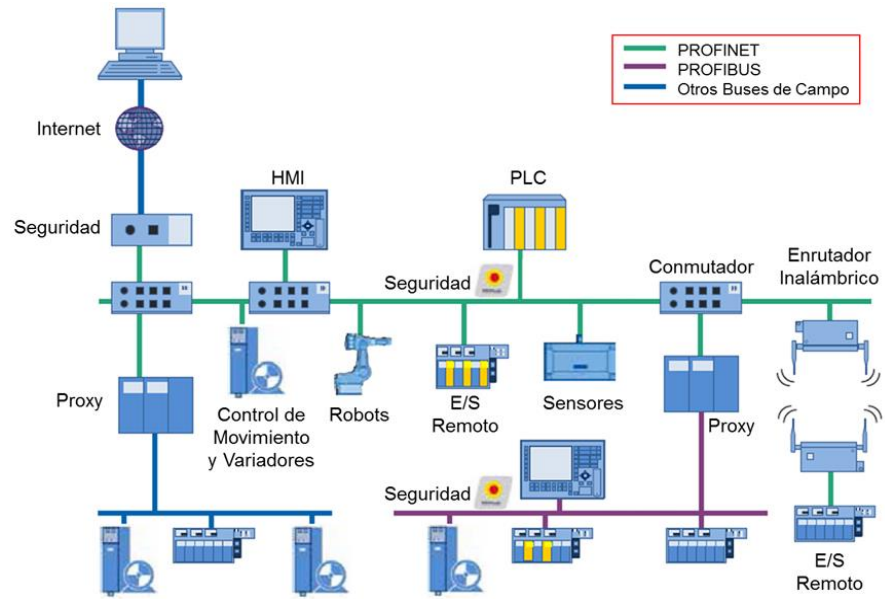


Figura 1.13 Arquitectura de Control con PROFINET.



## **CAPÍTULO 2**

### **2. BOSQUEJO DE LA SOLUCIÓN.**

#### **2.1 Generalidades del Proceso.**

A continuación se detallará el proceso de almacenamiento del gas propano y butano desde el proceso de descarga de los productos refrigerados a los tanques hasta cuando se requiera la salida de estos dos gases para la formación de GLP. Esta descripción es de vital importancia para el desarrollo de la ingeniería de procesos, instrumentación y control.

##### **2.1.1 Instalaciones de Descarga del Muelle.**

El proceso de almacenamiento de los tanques refrigerados de gas butano y propano empieza con el sistema de descarga que se ubica en el muelle.

En la actualidad, la empresa Petredec Limited de origen inglés proporciona con el abastecimiento de gas propano y butano al Ecuador, según Diario El Comercio.

Un buque transportará gas propano y butano en estado líquido. Estos dos productos serán enviados mediante bombas ubicadas en el buque hacia los tanques refrigerados de manera independiente, es decir mientras se está bombeando el propano quedará inhabilitado el bombeo del butano, y viceversa.

El proceso de descarga empieza con el botón de marcha que será accionado desde el cuarto de control una vez que el brazo de

descarga se acople con la salida del producto (propano o butano) del barco y con la línea de líquido de propano o butano. En la Figura 2.1 se muestra el muelle de la estación Monteverde para el recibimiento de propano y butano.



Figura 2.1 Muelle en Estación Monteverde para Recibimiento de Propano y Butano.

Esta operación se visualizará en el panel de campo propuesto. A partir de la señal de bombas encendidas de propano/butano que son accionadas desde el cuarto de control y enviadas como señal de confirmación al PLC de campo.

Cada línea de descarga de líquido, cuenta con un tanque hidroneumático de propano/butano cuya función principal es la protección de transientes en las tuberías (golpes de ariete), debiendo absorber todas las fluctuaciones de presión que puedan presentarse, y que pueden poner en peligro la operación de las tuberías y los equipos asociados. Estos tanques hidroneumáticos operan manteniendo un nivel medio de propano/butano mediante un volumen de nitrógeno, el cual se expande o se comprime según sea el caso. Las variables del tanque hidroneumático son controladas desde el cuarto de control.

Adicionalmente, las bombas elevadoras de presión-booster operan cuando la presión de descarga del buque es menor de 102.97 psig presión suficiente para garantizar al fluido la entrada al respectivo tanque de almacenamiento refrigerado [7].

### 2.1.2 Almacenamiento de productos refrigerados.

En la planta de almacenamiento de GLP se dispone de dos tanques para almacenamiento refrigerado. Los tanques que normalmente reciben propano son tanque de propano/butano refrigerado de mayor capacidad (32.700 m<sup>3</sup>), y los tanques que normalmente reciben butano son tanque de butano/propano refrigerado de menor capacidad (14.800 m<sup>3</sup>), con lo cual se dispone de una capacidad de almacenamiento total de 47.500 m<sup>3</sup> de líquido refrigerado. El detalle del proceso se ve en el siguiente diagrama de bloques mostrado en la Figura 2.2.

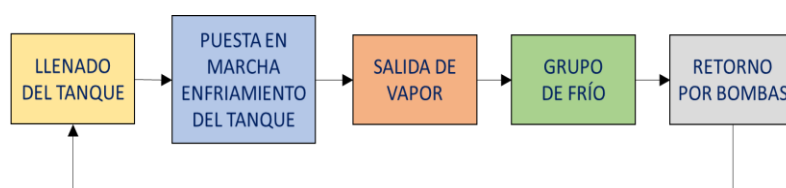


Figura 2.2 Diagrama de Bloques del Proceso de Almacenamiento de Propano y Butano en Tanques Refrigerados.

La entrada del propano/butano a los tanques es realizada por la línea principal, que se extiende hasta el fondo del tanque, donde un tubo con agujeros distribuidos permite una mejor distribución del flujo, evitando áreas de cúmulo del producto alimentado desde los buques, y que estarán más calientes que la temperatura de almacenamiento normal del propano/butano.

Los tanques que se encuentren trabajando con propano, deben encontrarse con las válvulas motorizadas abiertas ubicadas en la línea de vapor, de la misma forma se trabajan con el butano.

Los vapores de propano son alineados al grupo de frío (re licuefacciones). Con la elevación de los niveles de presión de los tanques, los compresores del grupo de frío son accionados de manera secuencial y con velocidad variable. El propano retorna al tanque de propano/butano refrigerado parcialmente vaporizado a temperaturas bajas, reduciendo la presión. Cuando la presión en los tanques refrigerados consigue niveles más bajos los compresores operan a menor velocidad.

El butano atiende el mismo principio con la recirculación de líquido. El butano líquido es bombeado a través de las bombas de recirculación de butano a chiller hacia el enfriador de butano, retornando con temperaturas bajas y reduciendo así la temperatura del tanque, re-licuando la fase de gases del butano y consecuentemente su presión. Durante la operación de descarga de buque, la presión es a su vez controlada por un controlador de presión que actúa sobre el soplador de butano ubicado en el header de transferencia de vapores (preferiblemente butano).

El grupo de frío será controlado desde el cuarto de control. No obstante, todas las señales de accionamiento del grupo de frío serán enviadas al tablero en el campo. El control del nivel, temperatura y presión dentro de los tanques serán controlados en el PLC de campo de la siguiente forma: el control del nivel actuará directamente sobre las válvulas ON/OFF de ingreso del producto. La temperatura será controlada a través del encendido o apagado de los enfriadores, y a su vez el control de la presión dentro del tanque accionará el funcionamiento de los sopladores de propano/butano.

En la salida de cada tanque se tiene una válvula ON/OFF que será accionada desde el cuarto de control cuando se desee producir GLP tomando en cuenta que el nivel, presión y temperatura del tanque sean los adecuados, realizando así la transferencia de propano y butano para ser enviados a calentadores y cuya mezcla producirá

GLP [7]. En la Figura 2.3 se muestra en forma general el proceso de almacenamiento de propano y butano, y formación de GLP.



Figura 2.3 Proceso de Almacenamiento de Propano y Butano, y Formación de GLP.

### 2.1.3 Grupo frío del propano.

El vapor de propano proveniente del tanque refrigerado es recibido por el recipiente de succión de propano, que tiene como función separar posibles gotas de líquido que pudieran ser arrastradas y que produciría daño a los compresores. El compresor trabaja a velocidad variable dependiendo de la demanda, comprimiendo los vapores hasta la presión requerida.

Una vez comprimido el gas, se enfría usando agua de mar como fluido frío en el enfriador de gas boil off. No obstante, se necesita enviar los vapores de propano al otro intercambiador enfriador de boil off que utiliza como fluido frío propano refrigerante. Los líquidos condensados y el gas remanente de propano, son llevados al recipiente acumulador de propano recuperado. El ingreso del propano parcialmente condensado a los tanques de almacenamiento tiene dos alternativas: retorno por línea superior

donde un sparge (tubo con agujeros distribuidos) distribuye el retorno frío en fase vapor del tanque y el retorno por línea inferior donde un sparge distribuye el retorno frío en la fase líquida en el fondo del tanque. Los gases que salen por el recipiente acumulador de propano son dirigidos hacia la antorcha [7].

#### **2.1.4 Grupo frío del butano.**

El enfriamiento de butano se produce en el enfriador de butano el cual cuenta con un control de nivel de líquido. El sub-enfriamiento del butano y retorno del mismo hacia los tanques refrigerados evita que se produzca evaporación del butano comercial en estos tanques. El ingreso del butano parcialmente condensado a los tanques de almacenamiento tiene dos alternativas: retorno por línea superior donde un sparge (tubo con agujeros distribuidos) distribuye el retorno frío en fase vapor del tanque y el retorno por línea inferior donde un sparge distribuye el retorno frío en la fase líquida en el fondo del tanque. Los gases que salen por el recipiente acumulador de propano son dirigidos hacia la antorcha [7].

## **2.2 Documentos de Ingeniería en Instrumentación.**

Cada disciplina técnica tiene su propia forma estandarizada de hacer diagramas descriptivos, y la instrumentación no es una excepción. El alcance de la instrumentación es tan amplio, sin embargo, ninguna forma de diagrama es suficiente para capturar todo lo que pueda necesitar. En este capítulo se discutirán diferentes documentos de la ingeniería de instrumentación.

### **2.2.1 Diagramas de Flujo del Proceso.**

Un diagrama de flujo de proceso contiene la siguiente información:

- Los equipos principales que intervienen en el proceso se presentarán en el diagrama con una descripción del mismo.
- Cada equipo tendrá asignado un único número y un nombre descriptivo, además las corrientes de flujo de proceso están

representadas por un número junto con una descripción de las condiciones de proceso y su composición química.

- Se muestran todas las corrientes de servicios que se suministran a los equipos principales o que brindan una función determinada en el proceso.
- Los lazos de control básicos, que muestran la técnica de control utilizada para que el proceso opere dentro de las condiciones normales.

Con todo lo detallado previamente sobre el proceso, el diagrama de flujo de proceso para el tanque de propano se muestra en la Figura 2.4.

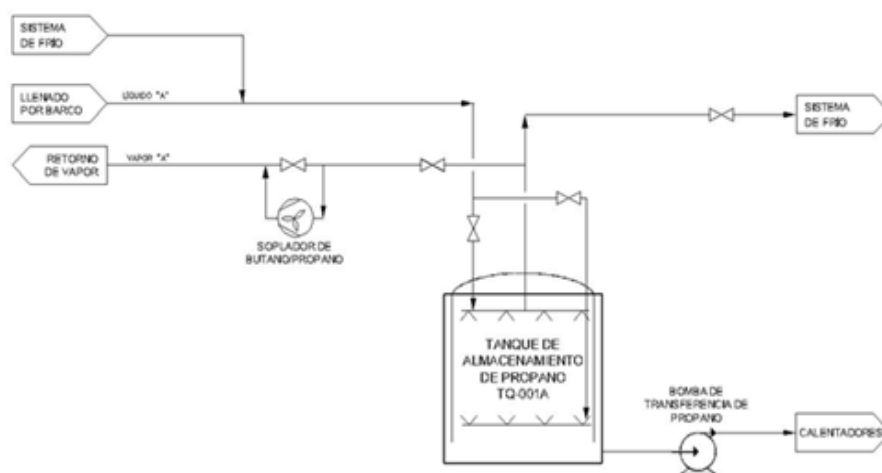


Figura 2.4 Diagrama de Flujo del Proceso de los Tanques de Propano.

A pesar de que las condiciones de operación de los tanques de propano y butano son distintas, el diagrama de flujo de proceso para el tanque de butano es similar al del propano, el mismo que se muestra en la Figura 2.5 donde la descarga del producto líquido se lo hace a través del brazo de carga ubicado en el muelle, ingresa propano/butano a los tanques de almacenamiento, cuando la temperatura se incrementa, el vapor se produce en la parte superior del tanque impulsado por el soplador y se dirige por el retorno de

vapor que conlleva al grupo de frío. El producto una vez refrigerado se enlaza a las tuberías de líquido. En el caso que se requiera producir GLP se accionan las bombas de transferencia que se direccionan hacia los calentadores [8].

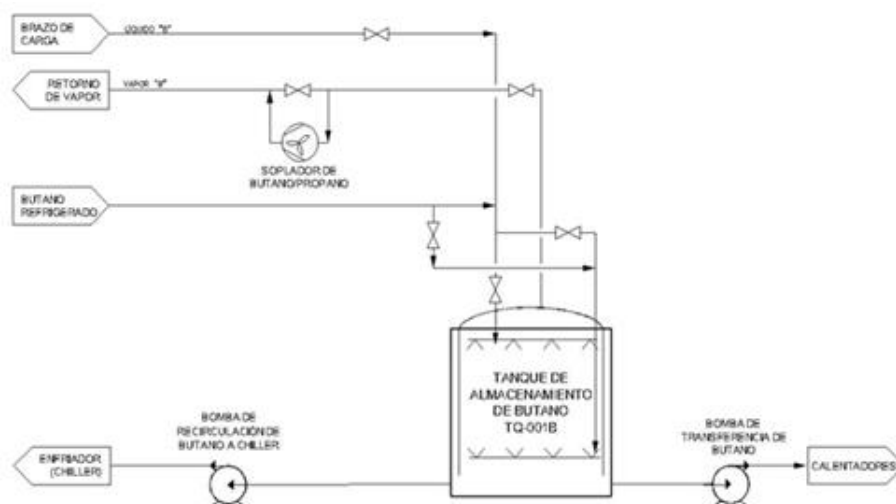


Figura 2.5 Diagrama de Flujo del Proceso de los Tanques de Butano.

### 2.2.2 Diagramas de Tubería e Instrumentación.

Estos diagramas contienen básicamente los equipos de un proceso determinado, sus tuberías, sus instrumentos y las estrategias de control del proceso. Estos diagramas son elementos únicos más importantes para definir y organizar un proyecto, mantener el control sobre una contratista durante la construcción, comprender la manera de la cual es controlada la planta después de finalizar el proyecto, mantener un registro de lo que fue acordado y aprobado formalmente para la construcción. Se deben respetar ciertas reglas para la identificación de instrumentos, las cuales se detallan a continuación:

- Cada instrumento a ser identificado se le asigna un código alfanumérico que consiste de un grupo de letras, donde la primera letra designa la variable inicial, como presión, temperatura o nivel, y una o más letras subsecuentes



identifican la función del instrumento, como indicar, controlar o transmitir.

- El número del instrumento puede incluir información del código de un área o serie específicas, aunque cabe mencionar que normalmente la serie de 900 a 99 suele utilizarse para instrumentos relacionados con sistemas de seguridad.
- El número de letras utilizado debe ser el mínimo para describir al instrumento, y la identificación funcional para cada letra la cual se adjunta en Anexo 1, donde los casilleros “\*” significan que esta letra puede ser utilizada por preferencia del usuario, y en ciertos diagramas, un instrumento multifuncional puede ser simbolizado por más de un instrumento, y las combinaciones más comunes que se presenta en Anexo 2.
- Los códigos alfanuméricos de los instrumentos son colocados dentro de círculos que se muestran en la Figura 2.6 donde existen varias normas de arreglos de círculos, y podemos notar que la identificación funcional está siempre en la mitad superior del globo mientras que el número de un lazo de control está en la mitad inferior.

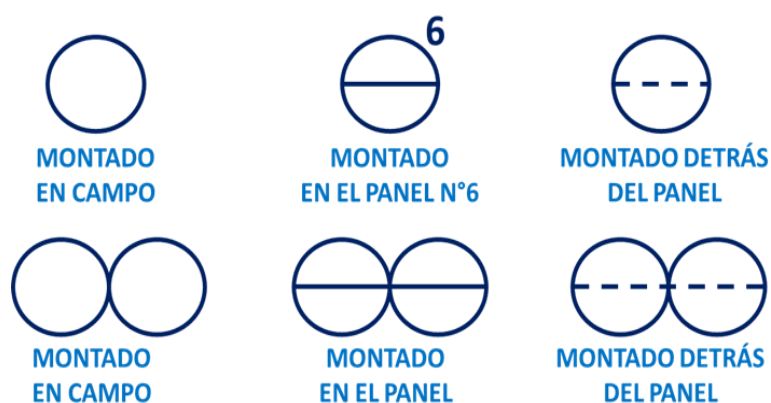


Figura 2.6 Simbología Estándar de Instrumentos.

- Además que una línea dibujada en el centro indica un instrumento montado en un panel de control, un círculo sin línea en el centro indica que está montado en forma local o en campo, como es en nuestro caso, una línea punteada indica que está montado detrás del tablero de control. En cambio, cuando dos círculos son dibujados unidos están indicando múltiples funciones, y un número colocado fuera del círculo identifica el tablero de control donde el instrumento está instalado [9].

Por otro lado, las señales de instrumentación son usualmente de los siguientes tipos: neumática, electrónica y/o eléctrica, capilar, hidráulica, sónica o indicando radioactividad [8], y cada señal tiene un símbolo diferente los mismos que se muestran en la Figura 2.7.

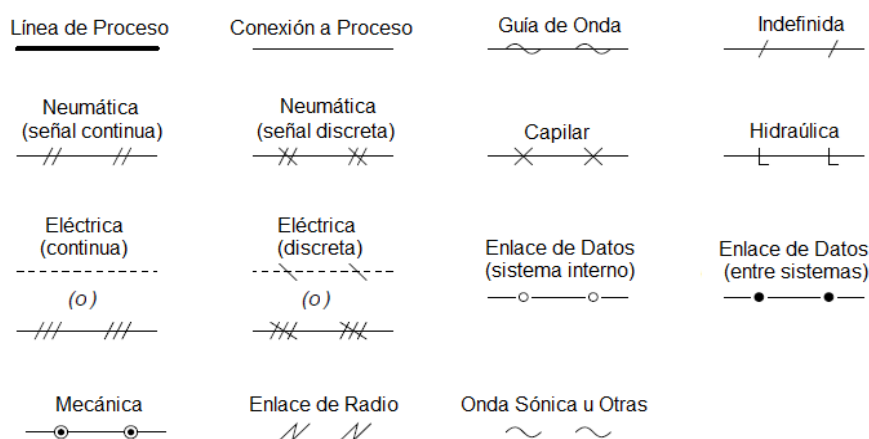


Figura 2.7 Tipos de Líneas Para Conexión de Instrumentos.

Para la respectiva elaboración de los diagramas de tubería e instrumentación, se han tomado las siguientes consideraciones con respecto al proceso:

- El tanque de propano y de butano respectivamente tendrán la siguiente nomenclatura: TQ-001A y TQ-001B.

- Se tienen tuberías de entrada: el retorno de las bombas, la puesta en marcha, el llenado de GLP desde el barco y el aire para ciertos instrumentos.
- Se tienen tuberías de salida: para la salida de vapor y para las esferas de GLP.
- Principalmente se debe medir presión, temperatura y nivel con la ayuda de transmisores, y con las respectivas seguridades del caso usando interruptores de sobrepresión y sub-presión y un transmisor de nivel de respaldo.
- En la descarga de cada tanque se tendrá una válvula de emergencia.
- Se añadirán válvulas de seguridad que para presiones elevadas.
- Un detalle importante es que la instrumentación utilizada en el tanque TQ-001A es la misma que del tanque TQ-001B.

Con todo lo mencionado, los diagramas de tubería e instrumentación se adjuntan como Anexo 3 y Anexo 4.

## **2.3 Instrumentación de Campo.**

### **2.3.1 Consideraciones sobre la instrumentación.**

Como se mencionó previamente, se van a tomar mediciones de presión, temperatura y nivel de propano o del butano, entonces al momento de seleccionar la instrumentación de campo, debemos tener en cuenta de que se está trabajando en una planta de gas, por lo tanto los equipos utilizados deben de ser a prueba de explosión.

Hasta ahora, la instrumentación utilizada serían transmisores de presión, temperatura y nivel, interruptores de presión y nivel, un panel electroneumático para la acción de los actuadores, válvulas de alivio, elementos de temperatura y termopozos para las mediciones de temperatura y una válvula en la salida de los tanques, Particularmente hablando tenemos que:

- Los manómetros suelen ser con un tamaño de 4½", de acero inoxidable con un material fenólico, a prueba de explosión, con una conexión roscada de ½" NPT por debajo del instrumento.
- El transmisor de presión sería a prueba de explosión, hecho de acero inoxidable de tipo 316 que es resistente a la corrosión, tendría una salida de 4 - 20 mA, con una conexión roscada de ½" NPT por debajo del instrumento y con un tipo de elemento de diafragma para la medición.
- Los interruptores de presión serían a prueba de explosión, para división 1 o 2, con un NEMA de 7 o 9, con un grado de protección IP66, donde el interruptor debe de ser herméticamente cerrado, con sello roscado de ½" NPT de acero inoxidable.
- Las válvulas de alivio de seguridad tienen hecho de acero inoxidable de tipo 316 y con teflón como material aislante con una entrada de conexión de ¾", y una salida de conexión de 1" FNPT, y con un tipo de capo venteado.
- Los elementos de temperaturas serían RTD's de tres hilos, con un bulbo tubular, intrínsecamente seguro, con una conexión roscada de ½" NPT y el termopozo tendría una brida de 2" de diámetro, hecho de acero inoxidable de tipo 316 y con teflón como material aislante.
- El transmisor de temperatura debe tener las mismas características del transmisor de presión.
- El interruptor de nivel sería herméticamente cerrado, instalado verticalmente, de tipo flotador, bridada de acero inoxidable de 4" para una presión de 300 lb.
- El transmisor de nivel debe tener las mismas características de resistencia de los demás transmisores, en donde se utilizarán transmisores, herméticamente cerrados y con un material de cubierta de vidrio, y de tipo ultrasónicos

- La válvula de paro de emergencia tiene que ser una válvula de bola, que permita el paso directo del GLP, bridada para una presión de y 600 lb, de nylon y vitón, además tiene un actuador a prueba de explosión para clase 1, división 1 y grupo D, con un grado de protección IP66, con una bobina con energización de 120 voltios AC y con interruptores indicadores de posición.
- La válvula neumática solenoide tendrá un cuerpo de bronce, con sellos y discos de PTFE, un tubo de acero inoxidable 304 que permite mejorar la ductilidad, la bobina tiene una energización de 120 voltios AC y con interruptores indicadores de posición.
- La válvula solenoide que se ubicará en la línea de vapor de cada tanque que ingresará al grupo de frío en el caso del propano y a las bombas de recirculación en el caso del butano tendrán las características de bronce, acero inoxidable 304 con sellos y discos de PTFE, con operación piloto.
- El interruptor de flujo que se encuentra en la entrada de cada tanque, será de acero inoxidable 316 y para ambientes corrosivos.
- La válvula que se ubicará a la salida del tanque será de apertura y cierre, con un ANSI de 300 lbs. y compuesta de nylon con un sello de vitón.

Como un documento importante en la ingeniería en instrumentación, se suele enlistar los instrumentos utilizados en campo en una lista alfanumérica que proporciona los datos de los mismos, esta lista se la conoce como el índice de instrumentos [10]. En nuestro caso, la instrumentación en cada tanque es la misma, y el índice de instrumentos para el tanque de propano se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Índice de Instrumentos.

No.	Tag	Descripción	Variable	Rango	Fabricante	Modelo
1	PI 001A1	Indicador de Presión a La Entrada del Tanque TQ-001A	Presión	0-400 PSIG	ASHCROFT	45-1279SS 04L XGV SG OS NH
2	PS 001A	Interruptor de Presión a La Entrada del Tanque TQ-001A	Presión	0-800 PSIG	ASHCROFT	B7-32-V-XBX-XNH- 600
3	FE 001A	Elemento de Flujo a La Entrada del Tanque TQ-001A	Flujo	0-200 TON/H	FMC TECHNOLOGIES	80F80-A-ABS-A-C- P-L-B-A-A-A-A
4	FSL 001A	Interruptor de Flujo a La Entrada del Tanque TQ-001A	Flujo	0-200 TON/H	MAGNETROL	F10-4-D26-JGF- BKB
5	SDV 001A1	Válvula en la Salida del Tanque TQ-001A	-	-	GWC / ROTORK	F300-1-BC-B2-B" / EH-085C-080F/C3
6	PI 001A2	Indicador de Presión en el Tanque TQ-001A	Presión	0-400 PSIG	ASHCROFT	45-1279SS 04L XGV SG OS NH
7	PSHH 001A	Interruptor de Presión - Alto Alto en el Tanque TQ-001A	Presión	0-800 PSIG	ASHCROFT	B7-32-V-XBX-XNH- 600
8	PSLL 001A	Interruptor de Presión - Bajo Bajo en el Tanque TQ-001A	Presión	0-800 PSIG	ASHCROFT	B7-32-V-XBX-XNH- 600
9	PIT 001A	Transmisor de Presión en el Tanque TQ-001A	Presión	0-800 PSIG	ROSEMOUNT	3051TG3A2B21AE5 Q4M5T1
10	PSV 001A1	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J
11	PSV 001A2	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J
12	PSV 001A3	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J
13	PSV 001A4	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J
14	VSV 001A1	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J
15	VSV 001A2	Válvula de Seguridad/Alivio en el Tanque TQ-001A	-	-	CROSBY	6Q8JLT-JOS-E-OR- 35-J

16	TIT 001A	Transmisor de Temperatura en el Tanque TQ-001A	Temperatura	-328– 1562 °F	ROSEMOUNT	3144PD1A1E5M5T1 Q4
17	LSHH 001A	Interruptor de Nivel - Alto Alto en el Tanque TQ-001A	Nivel	0–30 m	MAGNETROL	B12-2H4B-HMZ
18	LT 001A	Transmisor de Nivel en el Tanque TQ-001A	Nivel	0–30 m	ROSEMOUNT	RTG39 AERS02R01C016R S-60A1CQ
19	SOV 001A	Válvula Solenoide a la Entrada del Compresor de Aire	–	–	ASCO	8210G004
20	HV 001A	Panel Electroneumático	–	–	ASCO	8210G004
21	SDV 001A2	Válvula en la Salida del Tanque TQ-001A	–	–	GWC / ROTORK	F300-1-BC-B2-B" / EH-085C-080F/C3

### 2.3.2 Típicos de Montaje de Instrumentos.

Estos documentos son dibujos correspondientes a la ingeniería de detalle, donde se indica la forma en que deberá instalarse el instrumento y/o algún equipo para su correcto funcionamiento, además en estos documentos se desglosan los materiales mecánicos necesarios a suministrar para el montaje. Se asegura que la forma de instalación cumpla con las recomendaciones especificadas por los fabricantes y que sea la forma más adecuada de acuerdo a cada proceso específico, por ejemplo el montaje de un transmisor de presión en una tubería de agua no es el mismo que en una tubería de gas [8], como podemos ver las distintas alternativas para medición de variables en la Figura 2.10.






























	LÍQUIDO	VAPOR	AIRE O GAS
PRESIÓN	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA
PRESIÓN DIFERENCIAL	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA
FLUJO	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA	  PREFERIDA ALTERNATIVA
	VAPOR, AIRE O GAS		LÍQUIDO
ANÁLISIS	   PREFERIDA ALTERNATIVA PREFERIDA	  PREFERIDA ALTERNATIVA	
TEMPERATURA	   ALTERNATIVA PREFERIDA PREFERIDA	   PREFERIDA PREFERIDA PREFERIDA	

Figura 2.10 Ubicación de instrumentos para distintos procesos.

Entonces podemos concluir que para nuestro caso de medición de gas, los instrumentos deben de estar montajes en posición vertical preferiblemente, o con un ángulo de 45 grados. En la Figura 2.11, se muestran algunos típicos de montaje para uno de los indicadores de presión, del transmisor de presión, de la válvula de seguridad/alivio, de uno de los elementos de temperatura, del transmisor de nivel y de la válvula de emergencia.



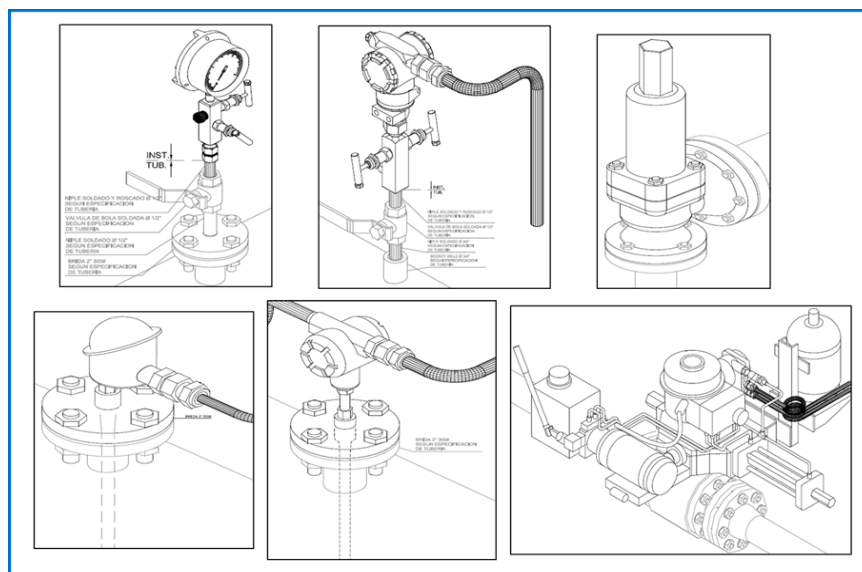


Figura 2.11 Típicos de montaje de instrumentos.

Está claro que no todos los instrumentos que hemos utilizado en este proceso, nos van a brindar una señal de control, ya sea análoga o digital, entonces podemos decir que los instrumentos más importantes para el monitoreo con el PLC serían los interruptores que nos brindan una señal discreta y los transmisores que nos brindan una señal analógica, siendo estos denominados como sensores, y obviamente los actuadores que en este caso sería la válvula solenoide en la salida del tanque de propano y/o butano.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.**

#### **3.1 Documentos Adicionales de la Ingeniería en Instrumentación.**

Ahora en el presente capítulo, se detallarán documentos adicionales de la ingeniería en instrumentación que son más relacionados con la automatización del sistema para que el programador pueda realizar el diseño del sistema de control para los tanques de propano y butano fácilmente.

##### **3.1.1 Listado de entradas y salidas del PLC.**

Como su nombre lo indica, este documento recopila el listado de todas las señales analógicas y discretas de un sistema de control y para la elaboración de este documento, se tiene que tener claro el tipo de señales que se pueden tener en un PLC.

Cuando se desee escoger un PLC, se debe efectuar este listado, ya que en la mayoría de los casos, el CPU tiene que procesar estas señales con la ayuda de módulos de entrada o salida, que son tarjetas electrónicas que proporcionan el vínculo entre el CPU del PLC y los dispositivos de campo del sistema, originando el intercambio de información, ya sea para adquirir de datos o para el control de máquinas presentes en un proceso.

Debido a que existen una gran variedad de dispositivos exteriores, como sensores, transmisores y actuadores, se han encontrado diversos tipos de módulos de entradas y salidas donde cada uno

maneja un tipo de señal, ya sea digital o analógica con un determinado valor de tensión o corriente, continua o alterna.

Los módulos de entradas y salidas se usan como enlaces entre los dispositivos externos y la CPU, y se encargan de leer datos, con la diferencia de que las entradas pueden ser sensores o transmisores, y las salidas pueden ser actuadores o señales de comando.

Para la elaboración del listado de entradas y salidas del PLC se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones a partir del índice de instrumentos detallado en el capítulo anterior:

- En cada tanque se tienen un transmisor de presión, uno de nivel y uno de temperatura, por ende se tuvieron 3 entradas analógicas para el PLC, y 6 en total.
- Adicionalmente como sensores, se tienen tres interruptores de presión, un interruptor de flujo y un interruptor de nivel, por ende se tuvieron 5 entradas discretas y 10 por el momento.
- Se considera que el cuarto de señal enviaría una señal de confirmación de habilitación de ambos grupos de frío teniendo 2 entradas digitales hacia el PLC.
- Por otra parte, como actuadores se tienen las válvulas de entrada y salida del tanque, una válvula en el grupo de frío y un panel electroneumático que consta de una válvula para aire, y cada una recibe una señal desde el PLC para su respectiva activación o desactivación, además cada válvula tiene los interruptores para indicar si la válvula se encuentra en posición cerrada o abierta, teniendo por cada válvula 2 entradas discretas para el PLC y 1 salida discreta, obteniendo en total por todas las válvulas 8 entradas discretas y 4 salidas discretas.
- Se han considerado señales de comando para accionar la bomba booster y el soplador de aire, teniendo 2 salidas discretas y 4 en total.

- En caso de que los actuadores fallen, o se tuviera un sobre nivel o ausencia de producto, el PLC enviará una señal de alarma al cuarto de control, teniendo 6 salidas discretas y 12 en total.
- Es importante, considerar el asunto de los paros de emergencia por cada tanque, entonces se tendrían dos entradas discretas adicionales así mismo como las señales de marcha enviadas desde el cuarto de control.
- No se tienen actuadores de control, por lo tanto este sistema no tiene salidas analógicas.
- Hay que considerar entradas y salidas libres para señales de reserva, ya sea por motivos de ampliación o incluso si una interfaz de entrada, o salida, llegase a fallar.
- En total se tuviera un sistema con 6 entradas analógicas, 32 entradas discretas y 24 salidas discretas de tipo relé.

Con todas estas consideraciones presentes, y sabiendo que el PLC a utilizarse es un S7-1200, y siendo más específicos, se utilizará un PLC con CPU 1214C AC/DC/Relé, el mismo que consta de 14 entradas discretas, 10 salidas discretas tipo relé y 2 entradas analógicas, entonces se necesitan módulos de expansión para la cantidad contemplada de entradas y salidas.

Suelen haber módulos de expansión de entradas y salidas típicamente de 4, 8 y 16 interfaces, y en este caso se necesitaría.

- Un módulo de 8 entradas analógicas.
- Dos módulos de entradas discretas, uno de 16 señales y otro de 8 señales.
- Dos módulos de 8 salidas discretas tipo relé.

Con todas estas consideraciones mencionadas, el listado de entradas y salidas del PLC se detalla en la tabla adjuntada en Anexo 5, donde en las filas que se tiene el término "SPARE" significa que se tiene una señal de reserva.

### 3.1.2 Tablero de Control.

En la parte de ingeniería de detalle, para el respectivo diseño del tablero tenemos que considerar puntos muy importantes:

- El material del tablero debe de ser a prueba de explosión para un área peligrosa de clase 1 y división 1, y deberá recibir tratamiento especial con pintura, como la norma ISO-8501-1, ya que su ubicación de la estación presenta alto nivel de salinidad.
- El nombre del tablero será "PLC - B&P - 001".
- En la parte externa del tablero se tendrán la pantalla HMI de 4" junto con dos pulsadores de emergencia.
- En la parte interna del tablero se tendrán el PLC con sus módulos de expansión, una fuente de 24 voltios para la alimentación de los módulos, borneras y relés para las señales de campo, disyuntores para la alimentación del PLC, un dispositivo conmutador de redes para la conexión del PLC, la pantalla HMI, y una estación de diseño o programación.

Por lo tanto, ubicando correctamente los dispositivos mencionados, se tiene un tablero cuyas dimensiones y distribución de equipos se encuentran detallados en la Figura 3.1.

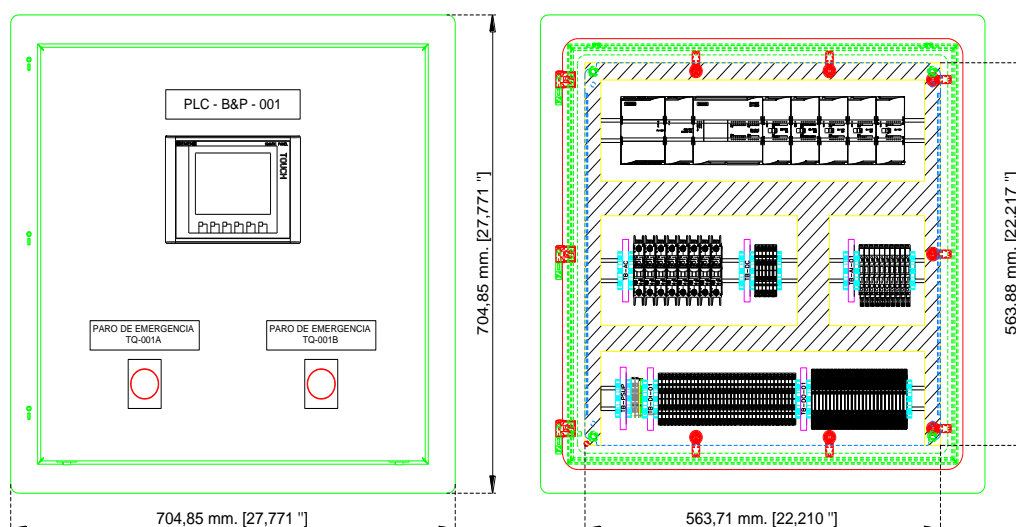


Figura 3.1 Vista Externa e Interna de tablero PLC-P&B-001.

### 3.1.3 Diagrama de Estados.

Ahora comprendiendo toda la información preliminar, se va a elaborar un diagrama de estados que es un diagrama esquemático para caracterizar los cambios en un sistema, es decir que los objetos componentes modifican sus estados como respuesta a algún suceso o al tiempo [10], entonces considerando que el comportamiento del proceso para el tanque de propano y de butano es muy similar, el diagrama de estados para cada tanque tendría los siguientes estados:

- Estado TA: inicio del proceso.
- Estado TB: accionamiento de la válvula de entrada del tanque.
- Estado TC: el tanque se llena y el grupo de frío actúa.
- Estado TD: se verifica el estado de la válvula a la entrada del tanque en caso de que no haya flujo en la tubería de ingreso.
- Estado TE: se enciende la bomba booster.
- Estado TF: el tanque sigue llenándose con producto.
- Estado TG: se detecta un nivel alto, y se envía una señal hacia el cuarto de control para apagar las bombas del barco.
- Estado TH: Al detectar un nivel muy alto, se desactiva la válvula a la entrada del tanque.
- Estado TI: Accionamiento de la válvula del enfriador.
- Estado TJ: Se tiene una presión normal de operación.
- Estado TK: Se acciona el equipo soplador.
- Estado TL: Accionamiento de la válvula de salida del tanque.
- Estado TM: Finaliza del proceso con la transferencia del producto a las esferas de GLP.

Por lo tanto, el diagrama de estados se representa en la Figura 3.2.

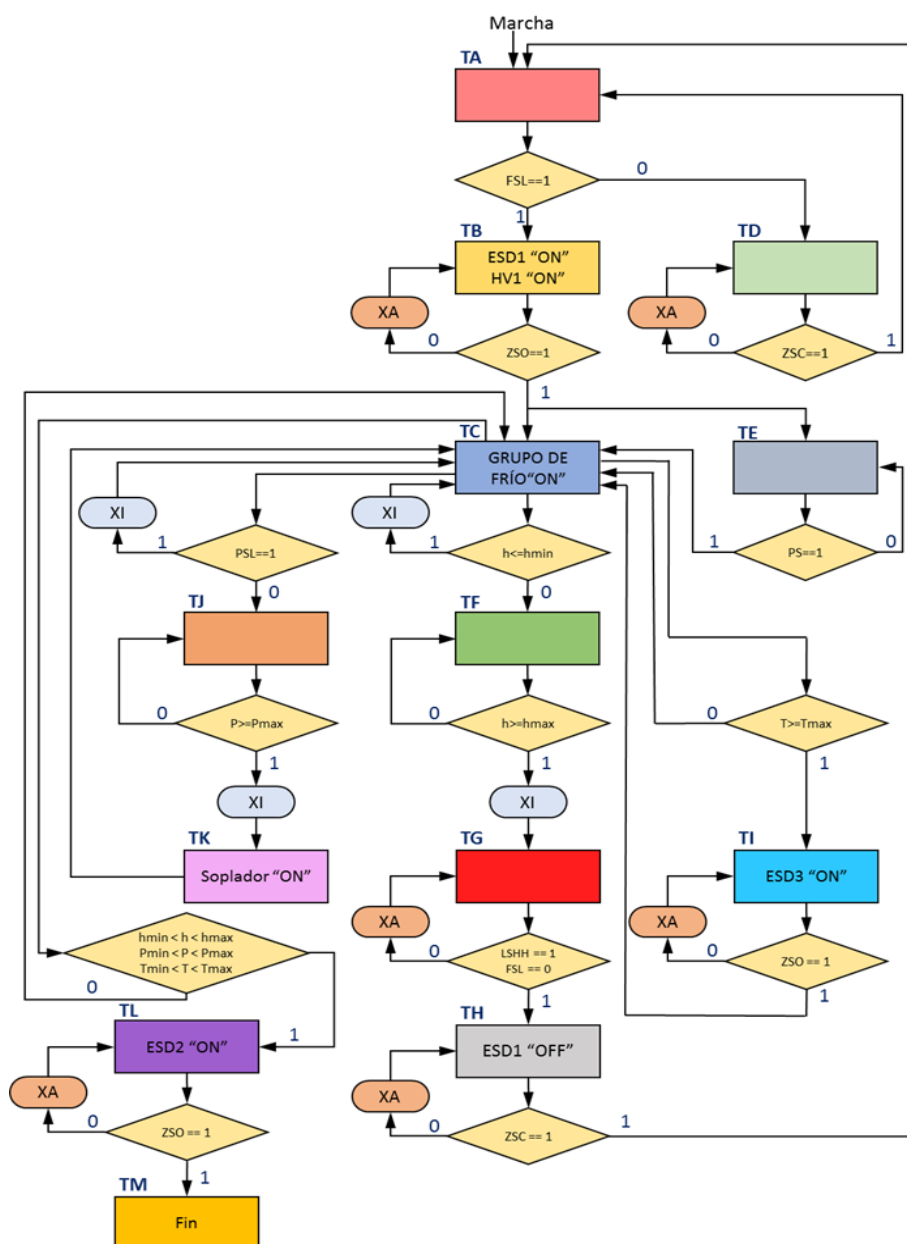


Figura 3.2 Diagrama de estados del proceso para el tanque de propano o butano.

### 3.2 Implementación de la Red Local de Equipos de Automatización.

El primer paso para la implementación de la red local es establecer una arquitectura de control para representar de manera más amigable el diseño de una red de comunicaciones. Podríamos decir que una arquitectura de control

es una representación general, y de carácter muy similar a un diagrama de flujo de procesos.

### **3.2.1 Arquitectura de Control.**

Se puede definir a la arquitectura de control de un sistema como su organización fundamental donde se incluyen sus componentes, sus relaciones entre sí, sus ambientes y los principios que gobiernan su diseño y futura evolución [10].

Desde un punto de vista más práctico, una arquitectura se puede entender como un concepto abstracto para describir un sistema, donde típicamente se dividen en tres niveles:

- Nivel de campo: se consideran los dispositivos situados en campo como compresores, turbinas, recuperadores de calor y balance de planta, por ejemplo.
- Nivel de control: se consideran los dispositivos de recopilación de señales provenientes del nivel de campo para tomar una acción correspondiente y enviar estos datos por un medio de comunicación.
- Nivel de supervisión: se consideran los dispositivos que le ayudarían a un usuario con el monitoreo de las señales receptadas desde el nivel de campo, así también como los equipos para el envío de estos datos a otras redes.

En el nivel de campo se consideran los tanques de propano y de butano, en el nivel de control se tendría el PLC encargado de recopilar los datos medidos de presión, temperatura y nivel, junto con sus alarmas, y en el nivel de supervisión se tendrían la pantalla HMI para visualización de los datos, la estación de diseño para la respectiva programación y configuración de los equipos, la misma que con la ayuda de un conmutador de red para que existe comunicación con los equipos de control y supervisión. El diseño se muestra en la Figura 3.3.



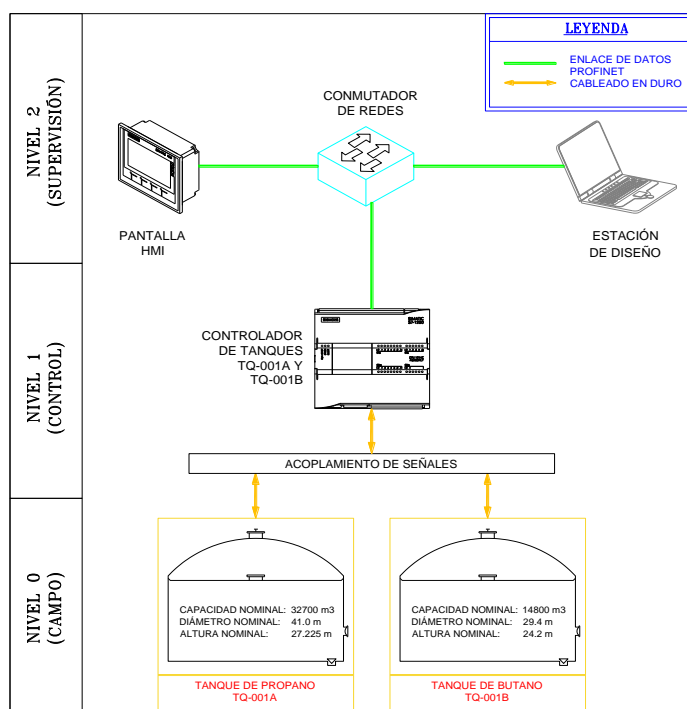


Figura 3.3 Arquitectura de control.

Para que exista una comunicación Profinet, se debe de tener un direccionamiento IP para cada los equipos dentro de la red. La tabla de direccionamiento de equipos se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de direccionamiento en red de área local.

No.	Equipo	Dirección IP	Máscara de Subred
1	PLC	192.168.0.1	255.255.255.0
2	HMI	192.168.0.2	255.255.255.0
3	Estación de Diseño	192.168.0.25	255.255.255.0

El fabricante del PLC y del HMI recomienda que a partir de la dirección IP 192.168.0.25 se puedan configurar dispositivos adicionales, en este caso la estación de diseño.

### 3.2.2 Programación del PLC.

Como habíamos mencionado en los objetivos del proyecto, el software a utilizarse en la programación del PLC será TIA PORTAL V13, donde al momento de ejecutar la aplicación del software, en la ventana inicial tenemos varias opciones de operación sobre proyectos, como abrir un proyecto existente, crear uno nuevo y migrar, o actualizar, un proyecto desde una versión anterior. Cuando creamos un nuevo proyecto Figura 3.4, editamos su información principal, como su nombre, su ubicación en la estación de diseño, el autor y algún comentario o referencia, en este caso el proyecto de la materia integradora de control y automatización.

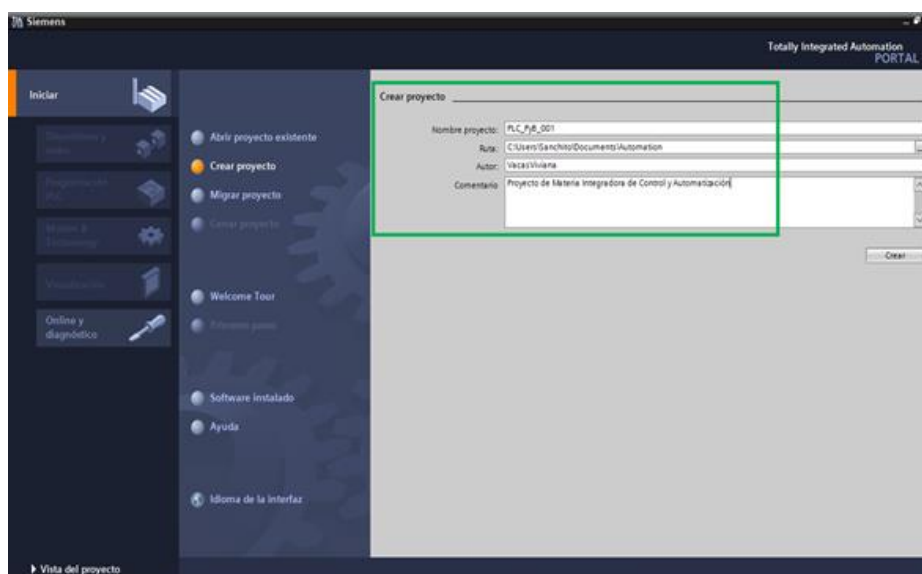


Figura 3.4 Ventana para la creación del proyecto.

Luego de esto, aparece una ventana donde el software nos recomienda los primeros pasos de un proyecto, e inicialmente podemos decir que el primer paso principal es la configuración del dispositivo PLC. En las Figuras 3.5 y 3.6, podemos visualizar que hemos configurado el hardware de nuestro equipo configurando nuestro dispositivo considerando de que es un S7-1200, con un CPU 1214C y de tipo

AC/DC/RLY, además podemos notar que el software es tan amigable que nos muestra el número de parte del PLC, junto con su versión y una descripción breve de sus capacidades.

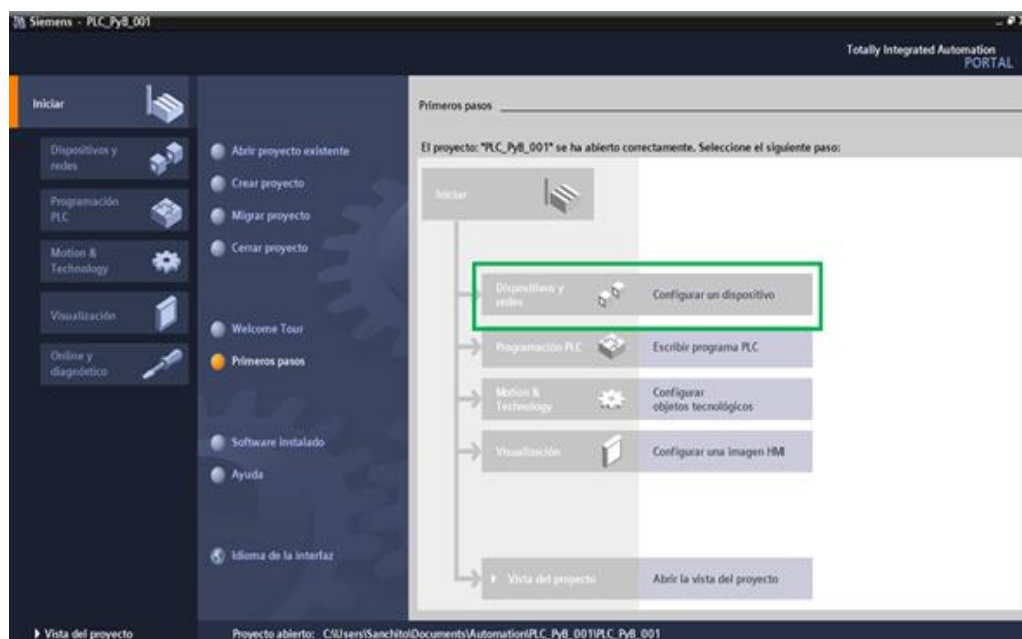


Figura 3.5 Ventana para la configuración del dispositivo.

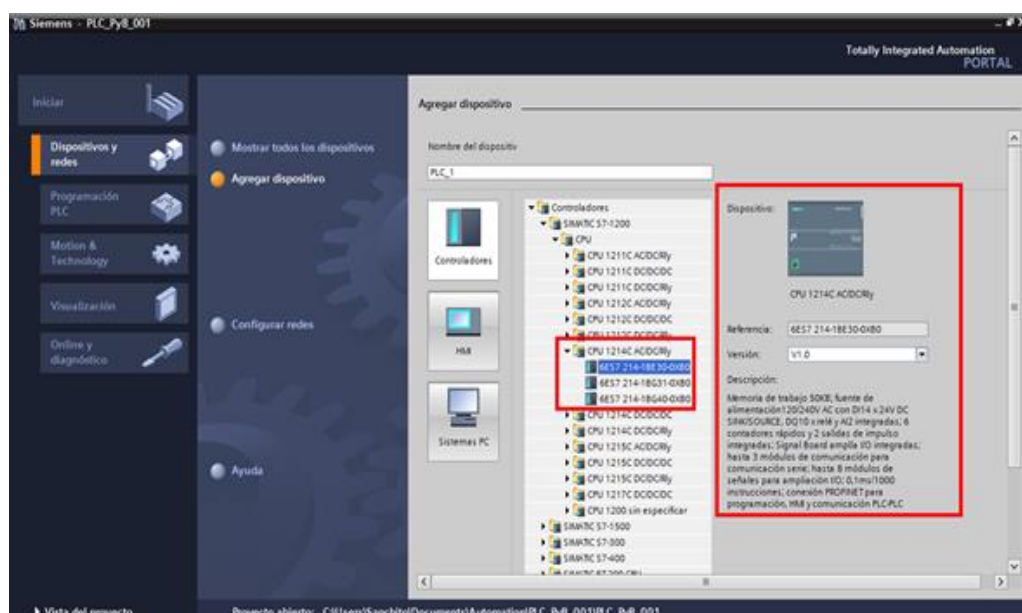


Figura 3.6 Ventana para la selección del CPU.

Está claro que tenemos que añadir los módulos de expansión que tenemos en nuestro equipo físicamente ya sean módulos de entradas, salidas o de comunicación. Para ello, seleccionaremos del catálogo de la derecha los módulos correspondientes, en este caso se requiere un módulo de 8 y 16 entradas discretas, dos módulos de 8 salidas discretas tipo relé y un módulo de 8 entradas analógicas. Cabe recalcar que en el PLC S7-1200 con CPU 1214C se admiten máximo 8 módulos de entradas y salidas colocados a la derecha del PLC y máximo 3 módulos de comunicación colocados a la izquierda del PLC como se muestra en la Figura 3.7.

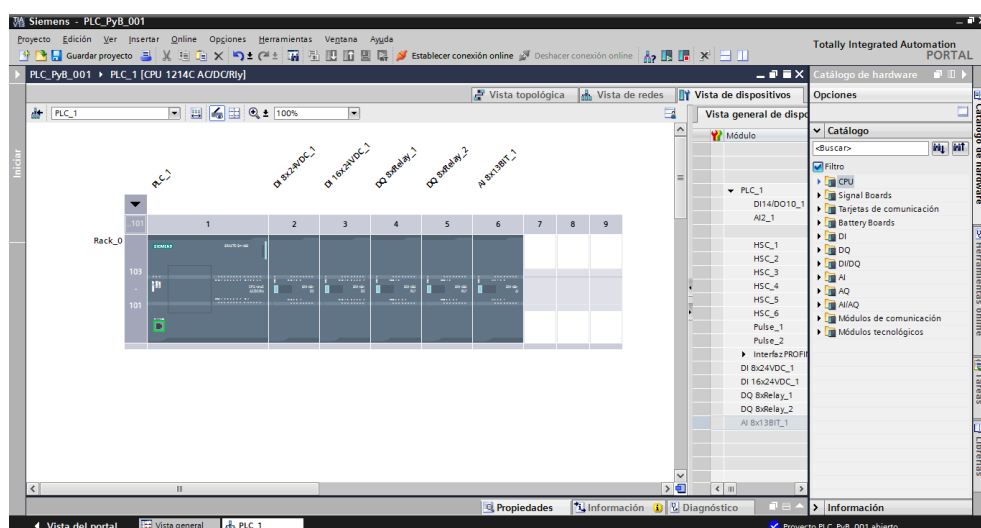


Figura 3.7 Ventana para la inserción de módulos de expansión.

Para escribir el programa, se ha escogido el lenguaje de esquema de contactos del sistema normalizado IEC1131-3, ya que recibe este nombre porque la tarea que debe realizar el PLC se especifica gráficamente mediante un esquema de contactos, además facilita el cambio de un sistema de control realizado con relés por un PLC. Como en la programación moderna, no se consideran direcciones absolutas, sino con variables globales que son nombres descriptivos con comentarios para cada señal del PLC. Como gran ventaja, en el listado de entradas y salidas del PLC se tienen definidos los TAG's,

junto con la descripción de cada señal y la dirección en el PLC. En las Figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se tienen las distintas tablas de variables estándar para las entradas discretas, salidas discretas y entradas análogas respectivamente.

The screenshot shows the 'Tabla de variables estándar' (Standard Variable Table) for discrete inputs in the Siemens TIA Portal. The table lists 25 variables with their names, data types, directions, and comments.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1 XS-01	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Marcha Para la Carga de Propano
2 PB-01	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Paro de Emergencia TQ-001A
3 PS-001A	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión - Entrada TQ-001A
4 PSL-001A	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Flujo Bajo - Entrada TQ-001A
5 ZSC-001A1	Bool	%I0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Abierta de SDV-001A1
6 ZSC-001A1	Bool	%I0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Cerrada de SDV-001A1
7 PSH-001A	Bool	%I0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión Alta - TQ-001A
8 PSL-001A	Bool	%I0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión Baja Baja - TQ-001A
9 LSH-001A	Bool	%I1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Nivel Alto - TQ-001A
10 ZSC-001A2	Bool	%I1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Abierta de SDV-001A2
11 ZSC-001A2	Bool	%I1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Cerrada de SDV-001A2
12 ZSC-001A3	Bool	%I1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Abierta de SDV-001A3
13 ZSC-001A3	Bool	%I1.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Cerrada de SDV-001A3
14 XS-001A	Bool	%I1.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GDF1 Habilitado
15 HS-001A	Bool	%I8.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Descarga de Propano
16 ZSC-001A4	Bool	%I8.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Abierta de HV-001A
17 ZSC-001A4	Bool	%I8.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Cerrada de HV-001A
18 XS-02	Bool	%I8.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Marcha Para la Carga de Butano
19 PB-02	Bool	%I8.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Paro de Emergencia TQ-001B
20 PS-001B	Bool	%I8.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión - Entrada TQ-001B
21 PSL-001B	Bool	%I8.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Flujo Bajo - Entrada TQ-001B
22 ZSC-001B1	Bool	%I8.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Abierta de SDV-001B1
23 ZSC-001B1	Bool	%I12.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ind. de Posición Cerrada de SDV-001B1
24 PSH-001B	Bool	%I12.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión Alta Alta - TQ-001B
25 PSL-001B	Bool	%I12.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Int. de Presión Baja Baja - TQ-001B

Figura 3.8 Tabla de variables estándar – entradas discretas.

The screenshot shows the 'Tabla de variables estándar' (Standard Variable Table) for discrete outputs in the Siemens TIA Portal. The table lists 24 variables with their names, data types, directions, and comments.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
35 ESD-001A1	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001A1
36 ESD-001A2	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001A2
37 ESD-001A3	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001A3
38 HV-001A	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de HV-001A
39 RS-001A1	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activación del Soplador de Aire 1
40 RS-001A2	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activación del GDF 1
41 XA-001A1	Bool	%Q0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001A1
42 XA-001A2	Bool	%Q0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001A2
43 XA-001A3	Bool	%Q0.10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001A3
44 XA-001A4	Bool	%Q0.11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en HV-001A
45 XA-001A5	Bool	%Q16.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de Ausencia de Flujo 1
46 XA-001A6	Bool	%Q16.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de Sobrenivel de Propano
47 ESD-001B1	Bool	%Q16.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001B1
48 ESD-001B2	Bool	%Q16.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001B2
49 ESD-001B3	Bool	%Q16.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de SDV-001B3
50 HV-001B	Bool	%Q16.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accionamiento de HV-001B
51 RS-001B1	Bool	%Q16.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activación del Soplador de Aire 2
52 RS-001B2	Bool	%Q16.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activación del GDF 2
53 XA-001B1	Bool	%Q20.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001B1
54 XA-001B2	Bool	%Q20.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001B2
55 XA-001B3	Bool	%Q20.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en SDV-001B3
56 XA-001B4	Bool	%Q20.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma en HV-001B
57 XA-001B5	Bool	%Q20.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de Ausencia de Flujo 2
58 XA-001B6	Bool	%Q20.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de Sobrenivel de Butano
59 PIT-001A	Int	%W160		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Presión - TQ-001A

Figura 3.9 Tabla de variables estándar – salidas discretas.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
59 PT-001A	Int	%IW160		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Presión - TQ-001A
60 TT-001A	Int	%IW162		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Temperatura - TQ-001A
61 LT-001A	Int	%IW164		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Nivel - TQ-001A
62 PT-001B	Int	%IW166		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Presión - TQ-001B
63 TT-001B	Int	%IW168		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Temperatura - TQ-001B
64 LT-001B	Int	%IW170		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trans. de Nivel - TQ-001B
65 <Agregar>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 3.10 Tabla de variables estándar – entradas analógicas.

La utilización de funciones tiene como objetivo facilitar la labor del programador, y ventajosamente en el lenguaje de esquema de contactos se pueden emplear funciones que para nuestro caso serán implementadas para el tanque de propano y butano, de hecho para la programación estructurada en el S7-1200 existen los bloques [11]:

- **OB:** es llamado por el sistema operativo de forma cíclica y constituye la interfaz entre el programa y el sistema operativo.
- **FB:** necesita un área de memoria asignada para cada instancia y al llamar a un FB se le puede asignar un DB como bloque de datos instancia.
- **FC:** no tiene ningún área de memoria asignada, y los datos locales de una función se pierden tras ejecutar la función, aunque pueden ser llamados otros FB y FC.
- **DB:** se utilizan para proporcionar espacio de memoria para las variables de datos, y existen DB globales, en los que todos los OB, FB y FC pueden leer los datos almacenados o incluso escribir datos en los DB; y DB de instancia que están asignados a un FB determinado.

Entonces, procedemos a crear un bloque FB en el árbol del proyecto, llamado "TQ-001X" para cada tanque como se muestra en la Figura 3.11.

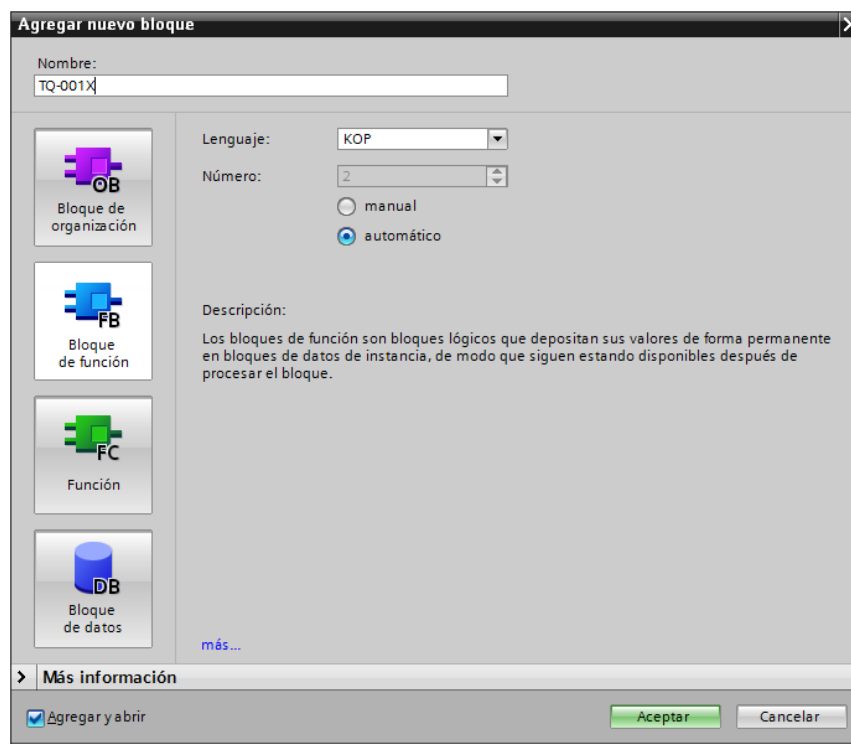


Figura 3.11 Ventana de creación del FB TQ-001X.

Ahora para la creación del FB vamos a implementar varios segmentos, o bien "líneas de código", donde el primer segmento corresponde al accionamiento de las válvulas de la entrada del tanque y la línea de aire para instrumentos, la implementación se la puede observar en la Figura 3.12.

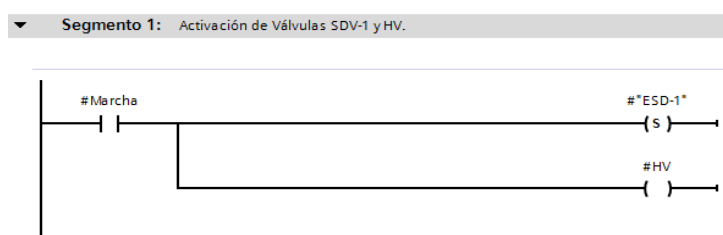


Figura 3.12 Implementación del primer segmento en TIA PORTAL.

En el segundo segmento se contempla que si las válvulas de la entrada del tanque y la línea de aire para instrumentos están abiertas, se tiene como verdadero el valor de la variable de marca %M5.0, y a su vez si se tiene una presión mayor a los 102 PSIG, para ambos casos, se enciende la bomba booster, como se muestra en la Figura 3.13.

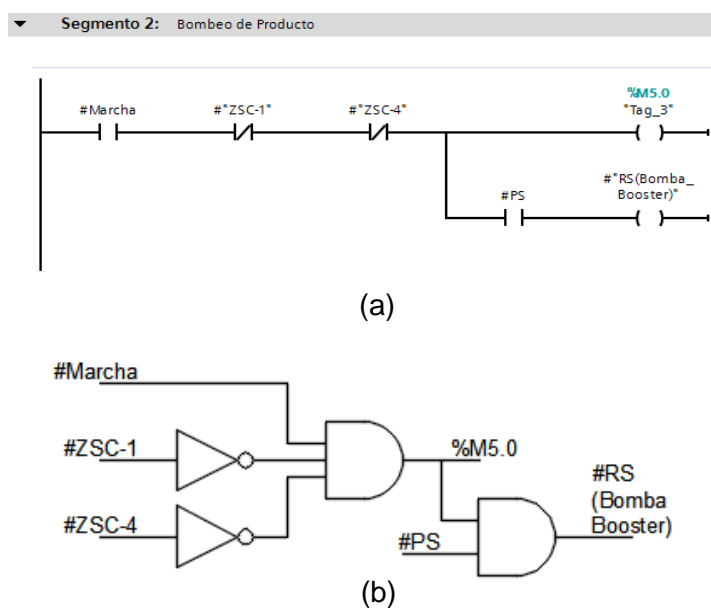


Figura 3. 13 (a) Implementación del segundo segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.

En el tercer segmento, siendo la variable %M5.0 verdadera y reconociendo la señal de accionamiento del grupo de frío enviada desde el cuarto de control se tiene como verdadero el valor de la variable de marca %M5.1, como se observa en la Figura 3.14.



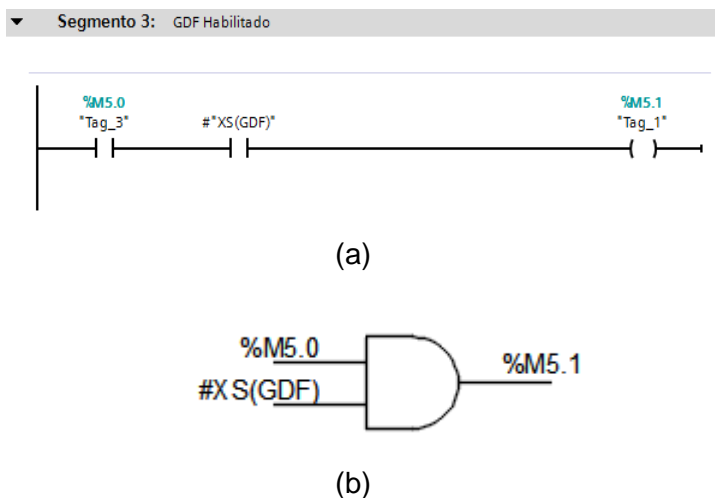


Figura 3.14 (a) Implementación del tercer segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.

En el cuarto segmento, se obtienen los valores del nivel, presión y temperatura de los tanques refrigerados con la ayuda de bloques de conversión de datos, la implementación de este segmento se muestra en la Figura 3.15.

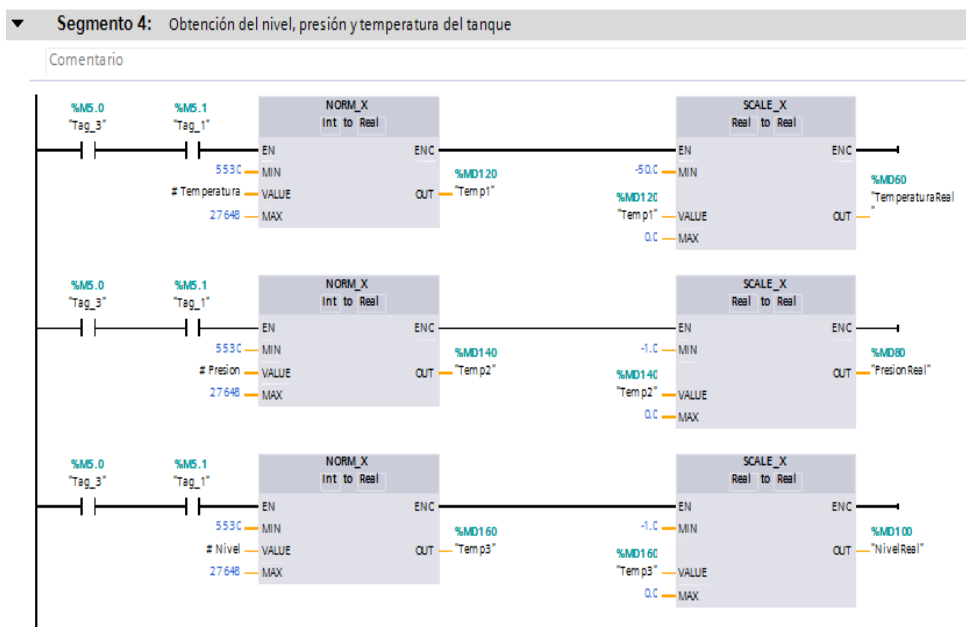


Figura 3. 15 Implementación del cuarto segmento en TIA PORTAL.

El primer bloque a utilizarse es un bloque para normalizar el valor de la dirección de memoria de la entrada analógica especificando un número de bits mínimo y máximo. Entiéndase que normalizar es expresar un valor entre un valor mínimo y un máximo en un valor entre 0% y 100%. El número de bits que tiene una entrada analógica depende del tipo de interfaz electrónica de medición, es decir que sea de voltaje o de corriente, ya que revisando las hojas de datos de los módulos de expansión, se tiene que para una corriente de 20 miliamperios el número de bits es de 27648, para 15 miliamperios el número de bits es de 20736 y para 0 miliamperios el número de bits es nulo. Se recomienda que la corriente electrónica que va a la interfaz de entrada tenga valores entre 4 y 20 miliamperios, y graficando el número de bits versus la corriente, se concluye que para 4 miliamperios el número de bits es de 5529.6. En la Figura 3.16 se muestra la gráfica de número de bits versus la corriente de interfaz de la máquina.

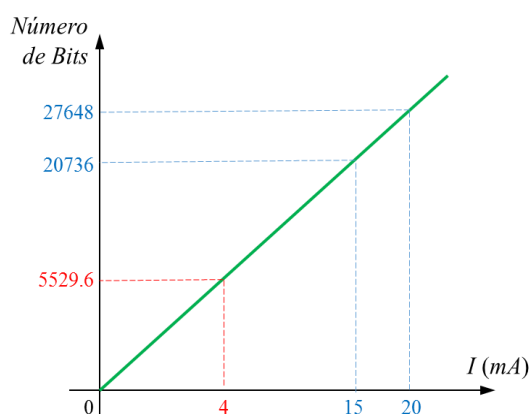


Figura 3.16 Gráfica entre el número de bits y la corriente de la interfaz de entrada.

El segundo bloque a utilizarse es un bloque propiamente para realizar el escalamiento de las variables normalizadas a valores que abarquen los rangos de calibración de los transmisores en cada tanque como se muestra en la Figura 3.17. Se ha escogido de que para un 0%, se tiene una temperatura de  $-50.0^{\circ}\text{C}$ , una presión de  $-1.0$  PSIG y un nivel de

0.0 metros, en cambio para un 100%, se tiene una temperatura de 0.0°C, una presión de 2.0 PSIG y un nivel de 25.0 metros, y como podemos comprobar con la ayuda del listado de entradas y salidas, estos niveles abarcan los niveles de alarma de las variables físicas.

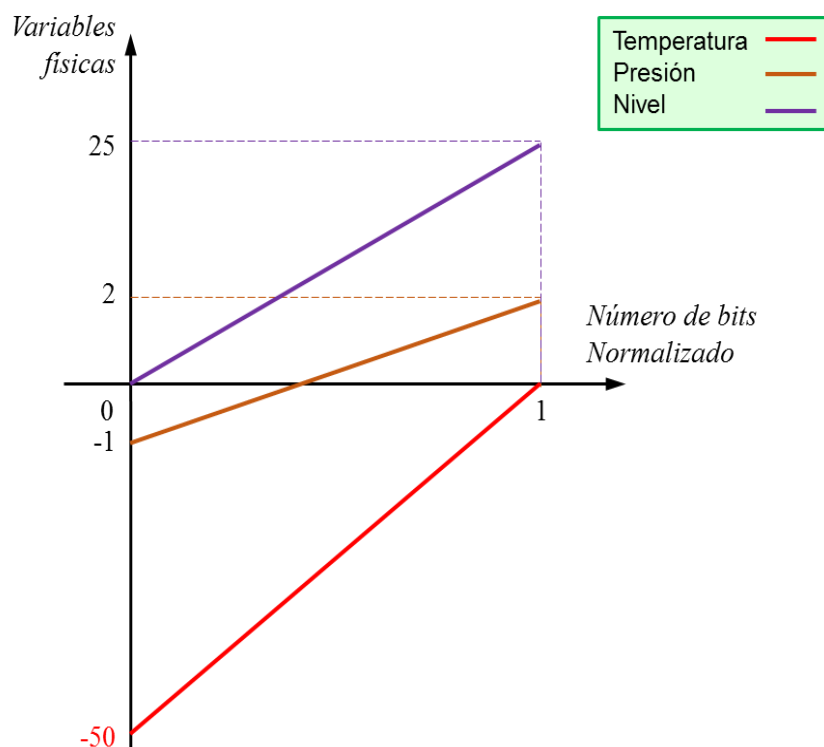


Figura 3.17 Gráfica entre las variables físicas y el número de bits normalizado.

En el quinto segmento, luego de haber obtenido el valor del nivel del tanque brindado por el transmisor, se realizan comparaciones con los niveles bajo y alto de alarma del nivel, se energizarán las bobinas internas %M5.2 y %M5.3 respectivamente. La implementación de este segmento se la puede observar en la Figura 3.18.

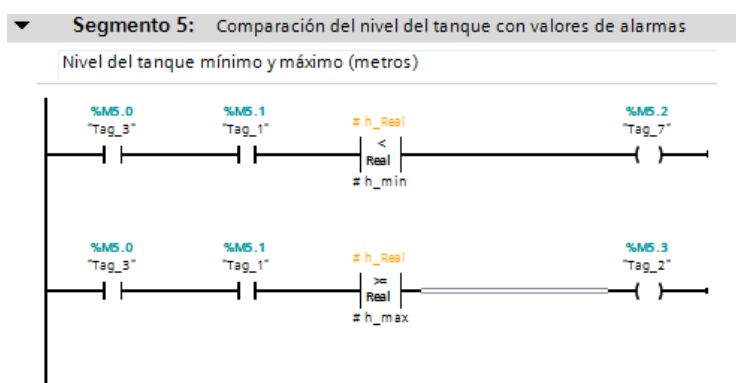


Figura 3. 18 Implementación del quinto segmento en TIA PORTAL.

En el sexto segmento, se controla el sobrenivel de producto siendo las variables de marca %M5.0 y %M5.1 verdaderas, y el sensor ultrasónico al detectar el nivel de alto-alto de 24.5 metros para el tanque de propano y 21.78 metros para el tanque de butano, se energiza la bobina interna de %M5.4 que generará una alarma de sobrenivel de producto en el HMI. La misma alarma también se producirá cuando la variable %M5.3 sea verdadera. En la Figura 3.19 se muestra implementación del sexto segmento en TIA PORTAL, junto con su diagrama lógico.

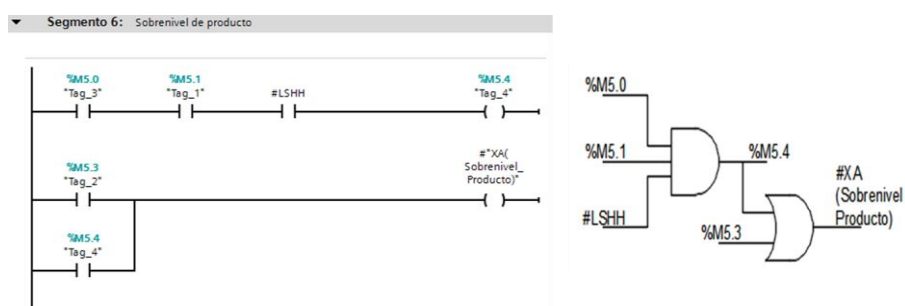


Figura 3.19 Implementación del sexto segmento en TIA PORTAL, junto con su diagrama lógico.

En el séptimo segmento, siendo las variables de marca %M5.3 o %M5.4 verdaderas y receptando desde el cuarto de control la señal XS(BOMBAS) que es verdadero cuando se apaguen las bombas del buque. Cumplidas estas condiciones, se activa un retardo de 3

segundos para cerrar la válvula de entrada del producto al tanque como se muestra en la Figura 3.20.

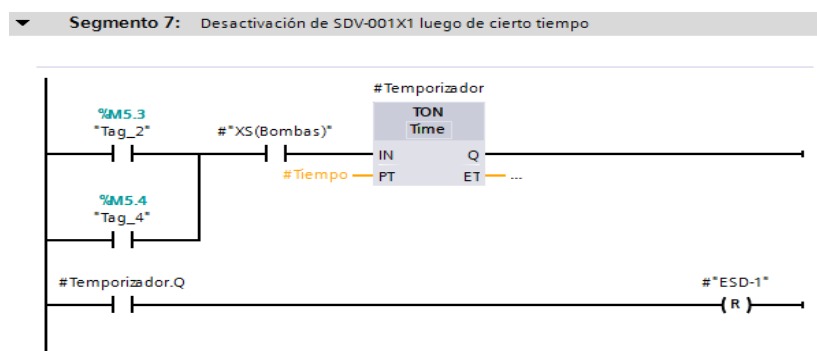


Figura 3. 20 Implementación del séptimo segmento en TIA PORTAL.

Al insertar la instrucción TON en el segmento se crea automáticamente un DB de instancia única para almacenar los datos del temporizador. En la Figura 3.21 se muestra la ventana de creación del DB para un temporizador.

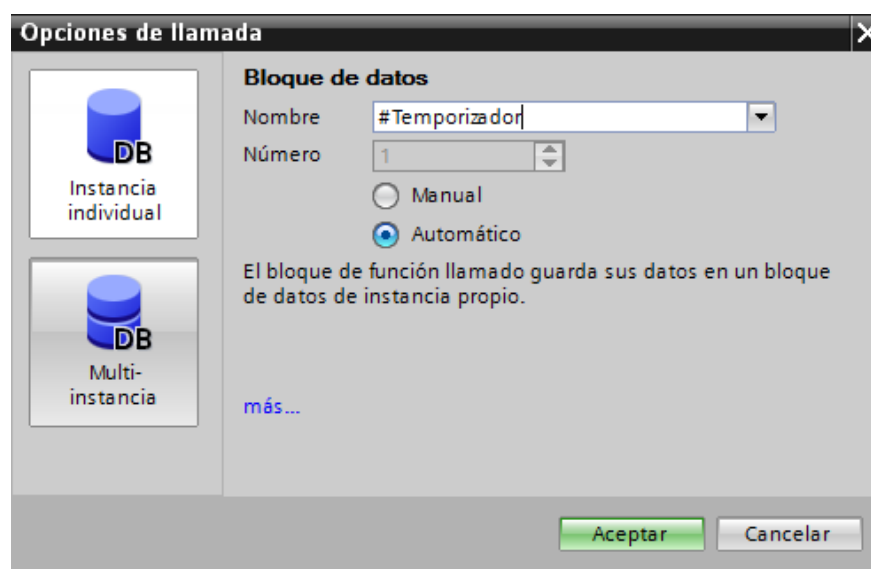


Figura 3. 21 Ventana de creación del DB para un temporizador.

En el octavo segmento se puede observar que mientras las variables de marca %M5.0 Y %M5.1 sean verdaderas y mientras se activen los interruptores de presión para los tanques de propano/butano, se energizarán las bobinas internas %M5.5 y %M5.6 indicando que hay alarmas en presión. En la Figura 3.22 se muestra la (a) implementación del octavo segmento en TIA PORTAL, y (b) diagrama lógico.

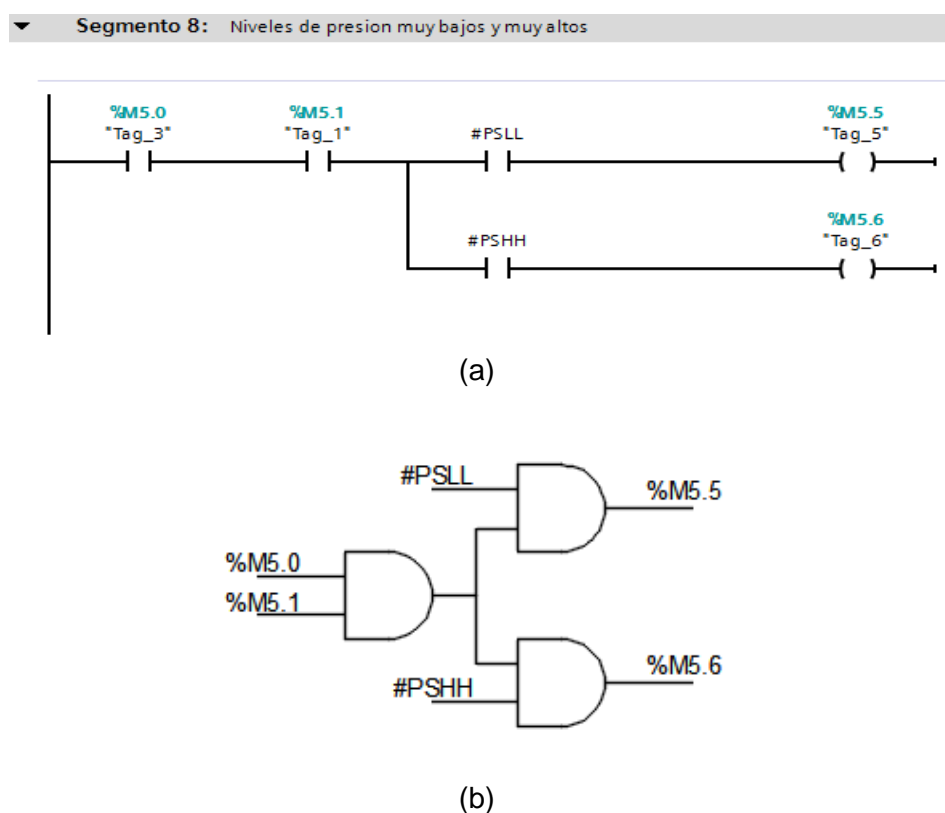


Figura 3. 22 (a) Implementación del octavo segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.

En el noveno segmento, el valor de la presión del tanque brindado por el transmisor se compara con los niveles bajo y alto de alarma de la presión y se energizarán las bobinas internas %M5.7 y %M6.0 respectivamente, pero adicionalmente a la bobina %M6.0, se acciona el soplador. La implementación de este segmento se muestra en la Figura 3.23.

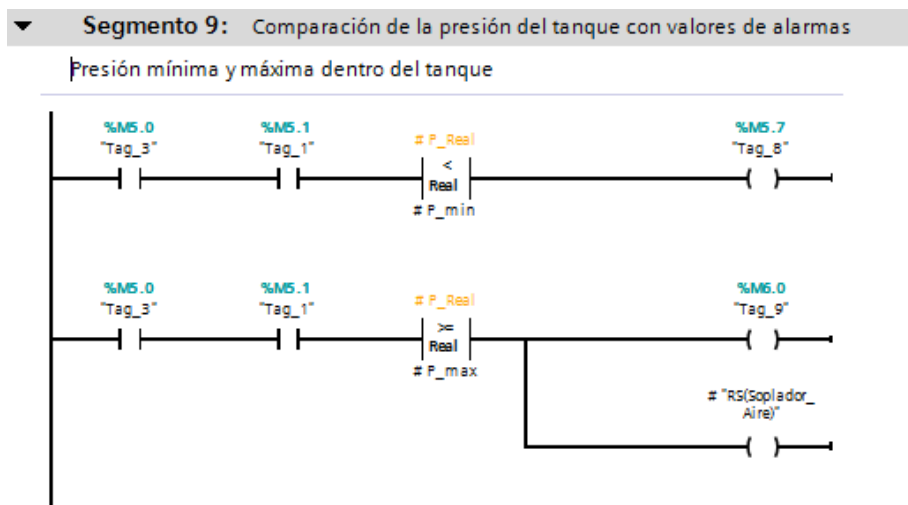


Figura 3. 23 Implementación del noveno segmento en TIA PORTAL.

De manera similar al segmento previo, en el décimo segmento, se obtiene el valor del nivel del tanque brindado por el transmisor, se realizan comparaciones con los niveles bajo y alto de alarma del nivel y se energizarán las bobinas internas %M6.1 y %M6.2 respectivamente como se muestra en la Figura 3.24.

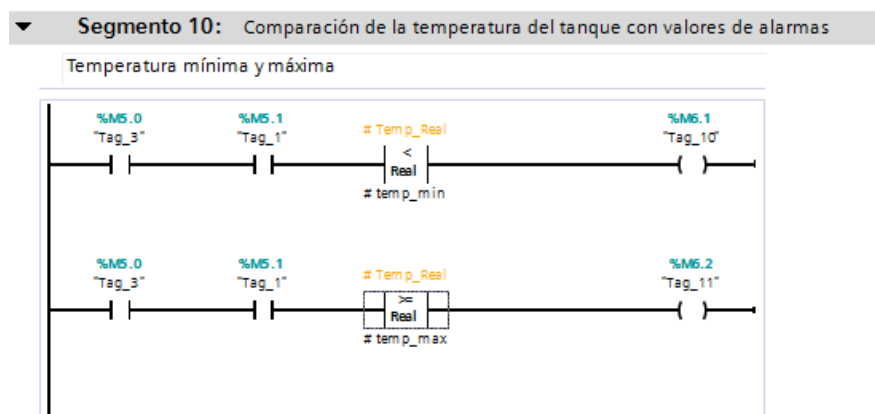


Figura 3.24 Implementación del décimo segmento en TIA PORTAL.

En el décimo primer segmento, la válvula de descarga del tanque se accionará si las variables físicas se encuentran entre los niveles adecuados y también se reciben desde el cuarto de control una señal

para la descarga de producto para la formación de GLP. En la Figura 3.25 se muestra la implementación de este segmento en TIA PORTAL, y el diagrama lógico.

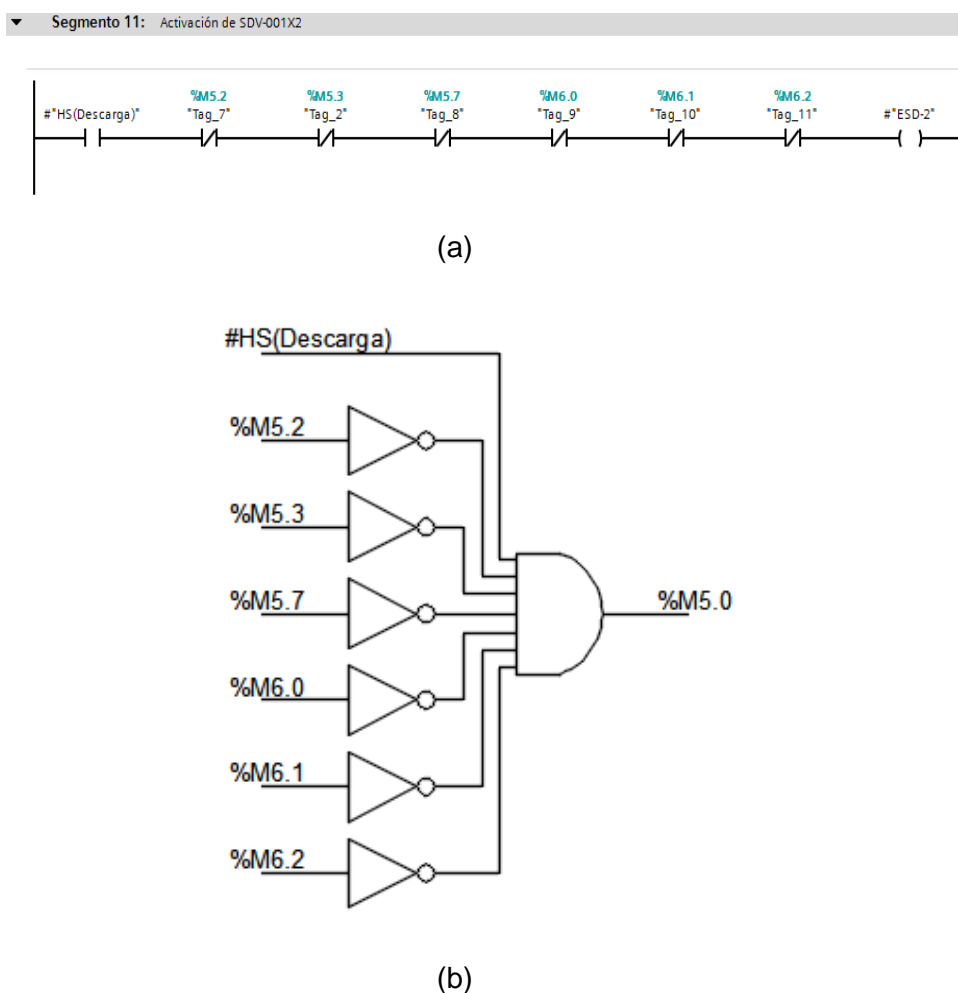
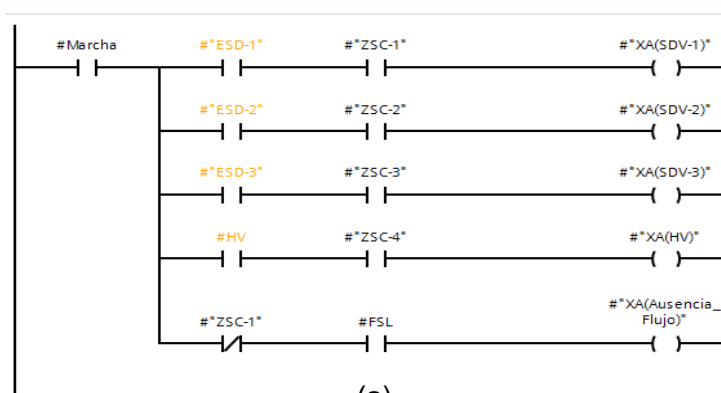


Figura 3. 25 (a) Implementación del décimo primer segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.

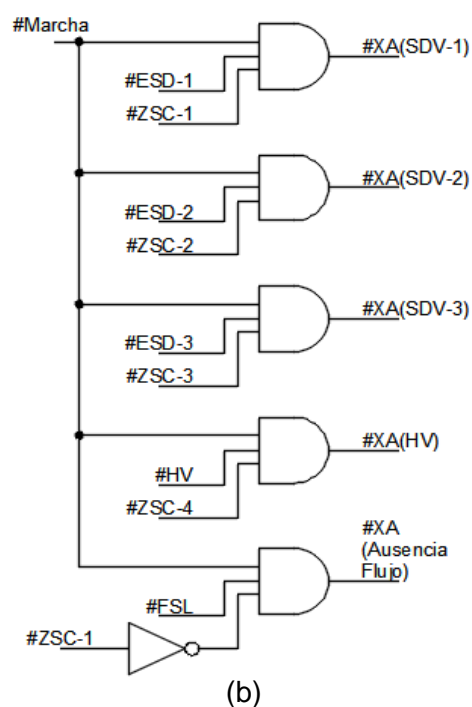
En el último segmento, se contemplarán las alarmas en las válvulas en el caso de que se envié la señal de comando para la apertura y las válvulas no obedezcan a estas señales, además se tiene una alarma que indica ausencia del flujo a la entrada del tanque mientras la válvula en la entrada del tanque esté abierta como se muestra en la Figura 3.26.



▼ Segmento 12: Alarmas en válvulas y ausencia de flujo



(a)



(b)

Figura 3. 26 (a) Implementación del último segmento en TIA PORTAL, (b) diagrama lógico.

Luego de implementar estos segmentos, se agrega el FB creado y como se había mencionado previamente se tiene que insertando este bloque de función el OB principal, se crea un DB de instancia automáticamente, como se ve en la Figura 3.27.

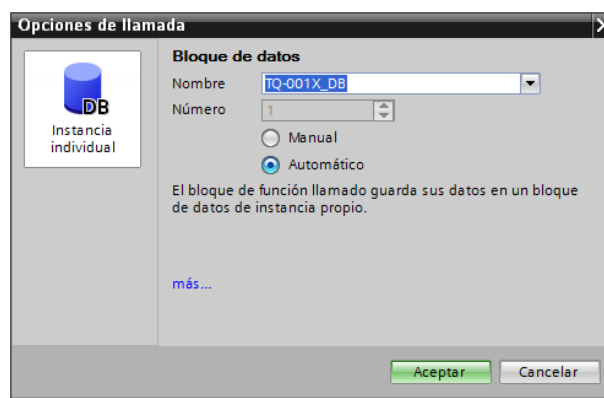


Figura 3.27 Ventana de creación del DB TQ-001X\_DB.

Adicionalmente se debe considerar de que cuando se inicia el proceso para el tanque de propano, el proceso para el tanque de butano queda inoperativo, y viceversa. Es por esto que en la programación del PLC se ha implementado el siguiente segmento donde cuando se active la variable %M0.1, se impida la activación de la variable %M0.2 como se observa en la Figura 3.28.

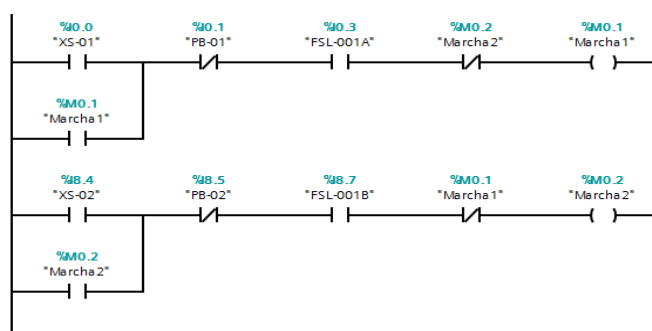


Figura 3.28 Implementación del primer segmento del OB en TIA PORTAL.

Entonces en el OB se añadirán dos bloques FB, uno para el tanque de propano y otro el tanque de butano, donde en cada FB se ingresarán las correspondientes variables del PLC como entradas y salidas del FB. En la Figura 3.29 y 3.30 se observa la implementación del FB para el tanque de propano/butano en TIA PORTAL.

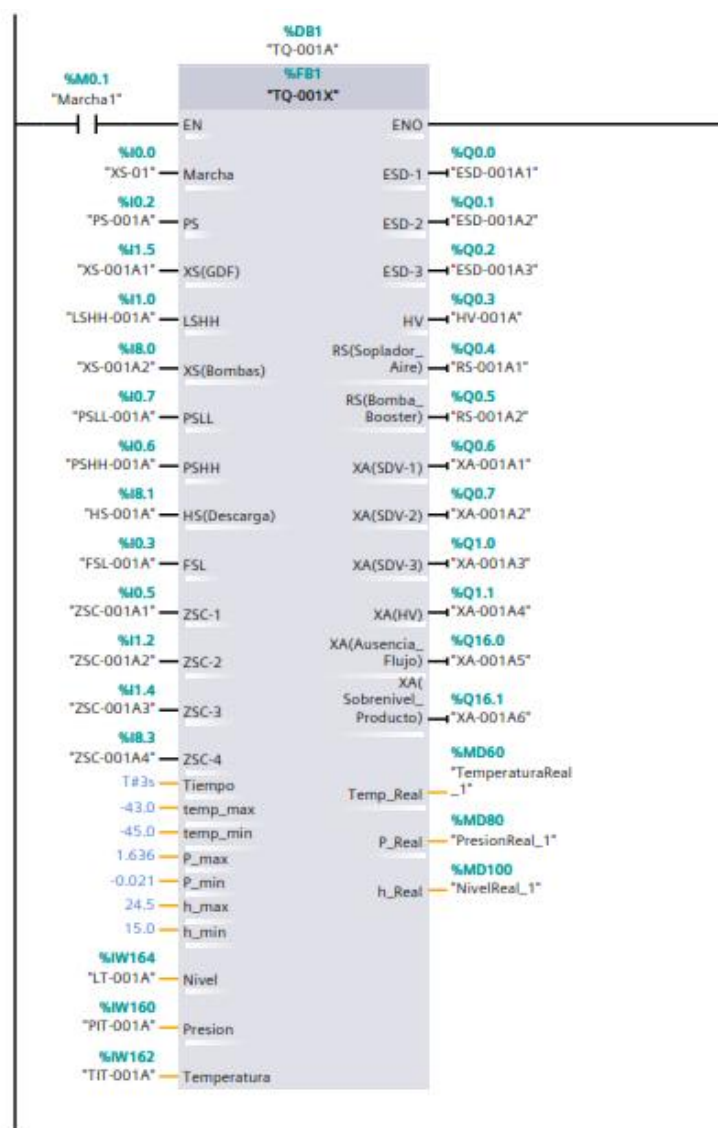


Figura 3.29 Implementación del primer FB para el tanque de propano en TIA PORTAL.



Figura 3.30 Implementación del segundo FB para el tanque de butano en TIA PORTAL.

### 3.2.3 Configuración del HMI.

Una vez concluida la programación del PLC, se configura la HMI, insertando la pantalla que tengamos, en este caso vamos a seleccionar una KTP 400 de cuatro pulgadas y monocromática. En la ventana de árbol de TIA PORTAL insertamos este equipo especificado. En la Figura 3.31 se selecciona el modelo de la KTP a utilizar.

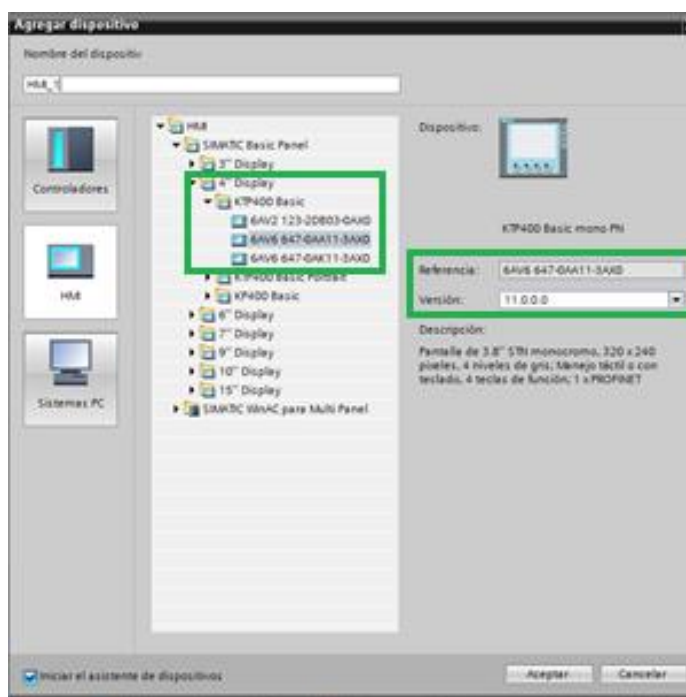


Figura 3.31 Selección de la KTP400 Basic.

Se genera la pantalla de asistente de panel de operador donde se seleccionará el modelo de pantalla que tengamos y se escogerá el PLC que se desea conectar. En examinar elegimos el PLC previamente configurado y aparecerá un esquema de conexión entre ambos equipos. La selección del PLC dentro de la configuración del HMI se muestra en la Figura 3.32, y la confirmación de la conexión entre el PLC Y HMI se encuentra en la Figura 3.33.

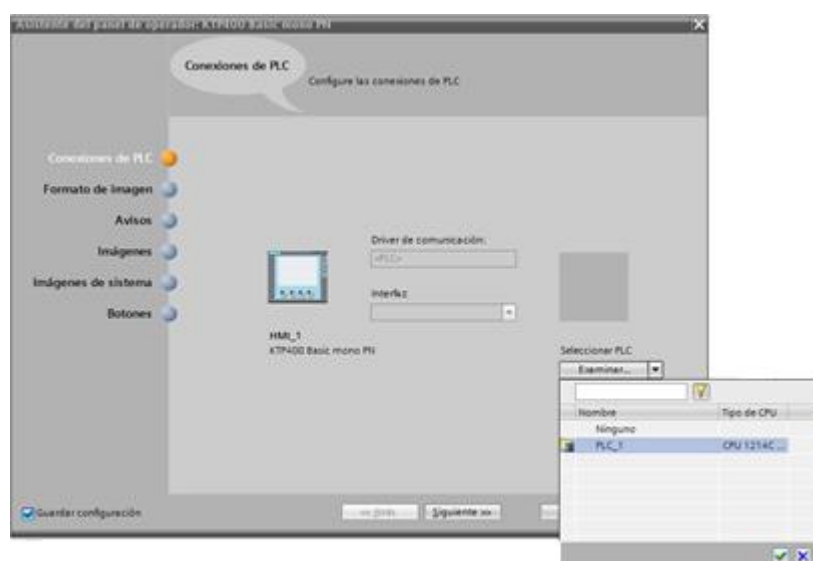


Figura 3.32 Selección del PLC dentro de la configuración del HMI.



Figura 3.33 Confirmación de la conexión entre el PLC Y HMI.

Al presionar siguiente, podemos elegir la opción que se genere avisos no adecuados, pendientes o de sistemas pendientes. Deshabilitamos esas opciones como se muestra en la Figura 3.34.

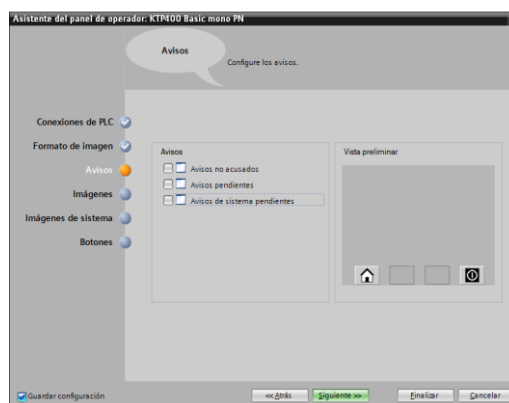


Figura 3.34 Configuración de avisos.

Este paso es para definir el número de ventanas de usuario que se desea crear. La pantalla imagen raíz corresponde a la pantalla principal del KT400. A partir de ella, se pueden seleccionar tres pantallas que corresponden al tanque de propano TQ-001A, tanque de butano TQ-001B y a la pantalla de indicadores y alarmas. La selección del número de pantallas de usuario en el HMI se muestra en la Figura 3.35.

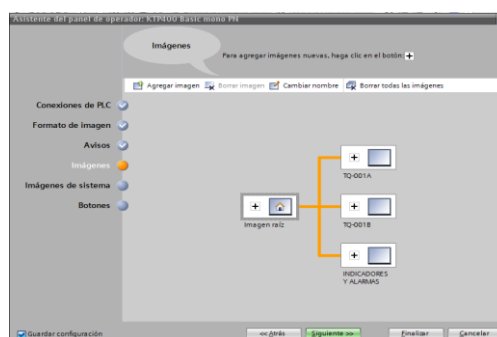


Figura 3.35 Selección del número de pantallas de usuario en el HMI.

Y por último, los botones que queremos que se nos presenten en todas las pantallas por defecto. Después le damos click a finalizar para comenzar a editar desde el editor de HMI. En la Figura 3.36 se muestra la selección de los botones del sistema en la pantalla del HMI.

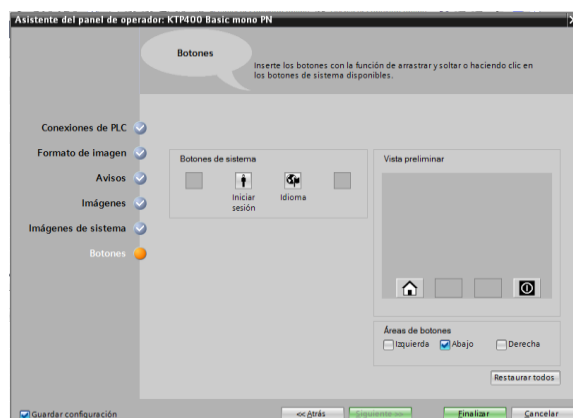


Figura 3.36 Selección de los botones del sistema en la pantalla del HMI.

A este paso lo llamamos editar pantallas de usuario. Una vez finalizado el asistente pasamos a hacer nuestras propias pantallas. Se empieza a editar las pantallas insertando objetos de la barra de herramientas arrastrando y soltando como se muestra en la Figura 3.37.

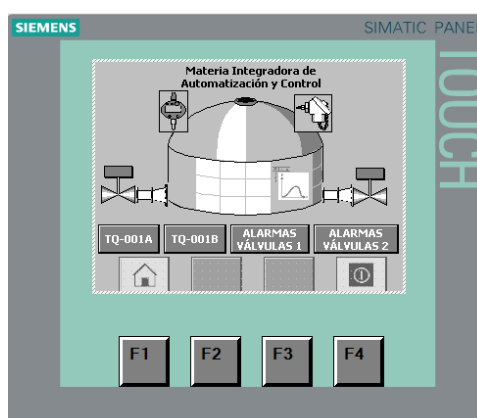


Figura 3.37 Pantalla Principal del HMI.

Al ingresar al botón de TQ-001A que corresponde al tanque de propano, se visualiza la temperatura, presión y nivel a través de tres indicadores analógicos como se puede observar en la Figura 3.38.



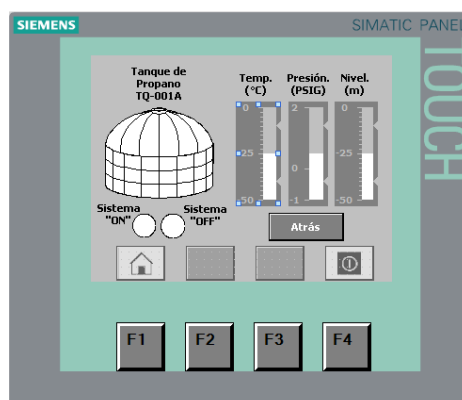


Figura 3. 38 Pantalla HMI correspondiente al tanque de propano TQ-001A.

Se configura la escala de la temperatura, en este caso se configura con el valor mínimo de  $-50^{\circ}\text{C}$  a un nivel máximo de  $0^{\circ}\text{C}$ , ya que los rangos de operación en que se va a encontrar el gas propano y butano se encuentran en este rango y cuya variable real medida es llamada como TemperaturaReal\_1 en la Figura 3.39 se muestra esta configuración.

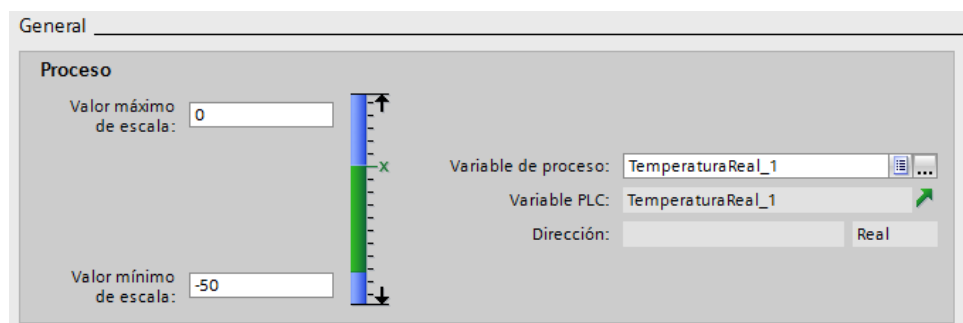


Figura 3. 39 Configuración de los niveles mínimos y máximos de la temperatura del tanque TQ-001A.

De la misma forma, al ingresar al botón de TQ-001 B que corresponde al tanque de butano, se visualiza la temperatura, presión y nivel a través de tres indicadores analógicos como se muestra en la Figura 3.40.

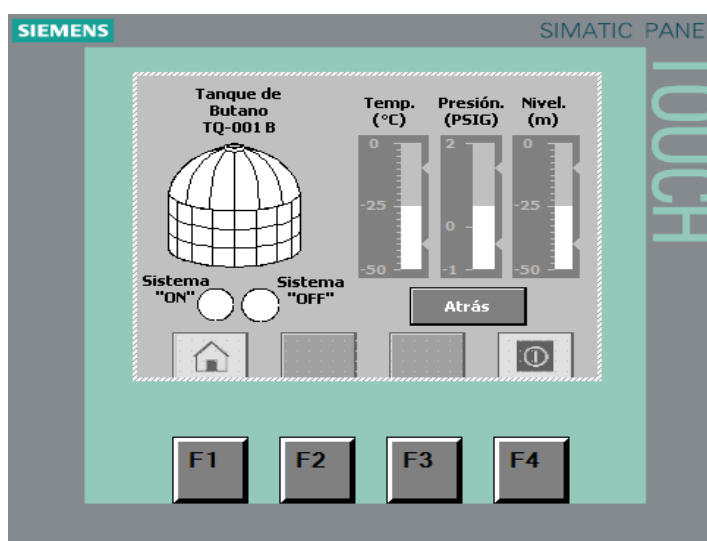
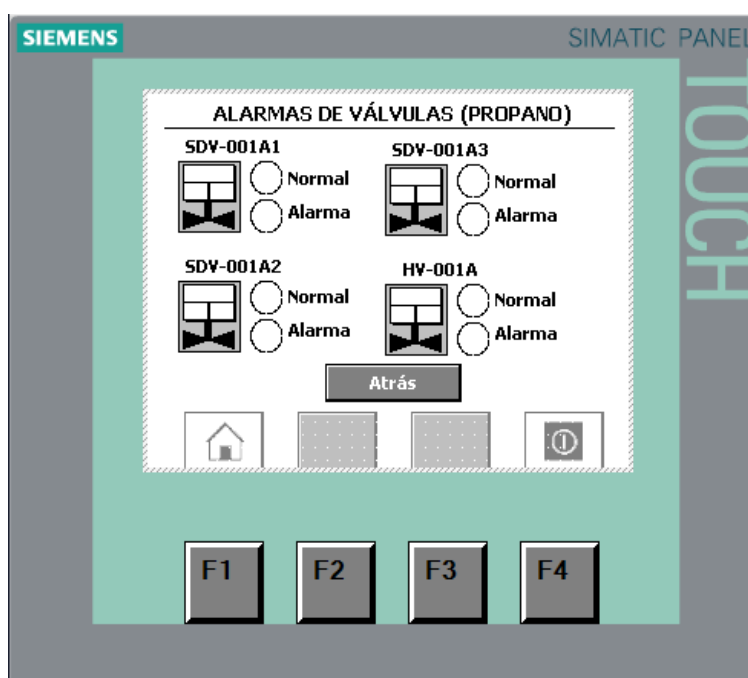
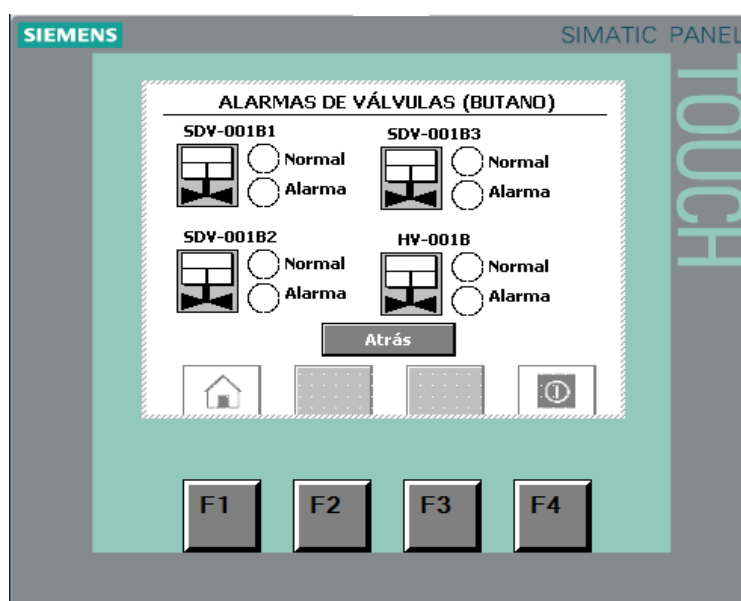


Figura 3. 40 Pantalla HMI correspondiente al tanque de butano TQ-001B.

En la pantalla de las alarmas de las válvulas tanto como para el propano y butano, se pueden observar los estados de las cuatro válvulas a controlar. La primera es la SDV1 A1/B1 que corresponden a la válvula de ingreso del producto, la válvula SDV1 A2/B2 a la válvula de salida, la válvula SDV1 A3/B3 a la válvula de los enfriadores del grupo de frío, y la válvula HV-001 A/B para el panel electro neumático. En la Figura 3.41 en los literales (a) se muestra el panel de alarmas de válvulas para el tanque de propano TQ-001A y (b) el panel de alarmas de válvulas para el tanque de propano TQ-001B.



(a)



(b)

Figura 3. 41 (a) Panel de Alarmas de válvulas para el tanque de propano TQ-001A (b) Panel de Alarmas de válvulas para el tanque de propano TQ-001B.

### 3.2.4 Análisis económico de los dispositivos.

Considerando los equipos de hardware, así como los componentes del tablero y el software utilizado, la lista de precios unitarios y totales, se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Lista de Precios.

No.	Equipo	Fabricante	Número de Parte	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	PLC S7-1200, CPU-1214C, AC/DC/RLY	SIEMENS	6ES7 214-1BG31-OXB0	1	695.00	695.00
2	Fuente de alimentación PM1207, 24V, 2.5A	SIEMENS	6AG1 332-1SH71-4AA0	1	132.00	132.00
3	Módulo de 8 entradas discretas SM1221	SIEMENS	6ES7 221-1BF32-OXB0	1	195.00	195.00
4	Módulo de 16 entradas discretas SM1221	SIEMENS	6ES7 221-1BH32-OXB0	1	315.00	315.00
5	Módulo de 8 salidas discretas tipo relé SM1222	SIEMENS	6ES7 222-1HF32-OXB0	2	198.00	396.00
6	Módulo de 8 entradas analógicas SM1231	SIEMENS	6ES7 231-4HF32-OXB0	1	688.00	688.00
7	Software TIA PORTAL V13 Basic	SIEMENS	6ES7 822-0AA03-0YA5	1	665.00	665.00
8	HMI KTP400 Basic Mono PN	SIEMENS	6AV6 647-0AA11-3XA0	1	600.00	600.00
9	Conmutador Industrial Ethernet no gestionado CSM1277	SIEMENS	6ES7 277-1AA10-0AA0	1	228.00	228.00
10	Tablero montado en pared, 24x24x8 pulgadas, hecho de acero	HOFFMAN	CSD24248SS	1	2290.20	2290.20

	inoxidable, NEMA 4X					
11	Riel DIN de 2 metros	-	-	1	3.25	3.25
12	Canaleta ranurada, 40x40mm, de 2 metros	-	-	3	8.50	25.50
13	Botón de emergencia 40mm	SIEMENS	3SB6 130-1HB20-1CA0	2	15.55	31.10
14	Disyuntor de 2 polos de 1 A	SIEMENS	5SX1201-7	7	26.86	188.02
15	Disyuntor de 2 polos de 4 A	SIEMENS	5SX1204-7	1	26.86	26.86
16	Terminal separador	ALLEN BRADLEY	1492-EBL3	18	0.80	14.40
17	Terminal para grupos de borneras	ALLEN BRADLEY	1492-GM35	6	2.80	16.80
18	Borneras simple de 1 piso, 20-10AWG	ALLEN BRADLEY	1492-J4	2	1.20	2.40
19	Borneras de tierra de un piso, 20-10AWG	ALLEN BRADLEY	1492-JG4	1	5.30	5.30
20	Borneras portafusibles de 2 pisos, 26-14AWG	ALLEN BRADLEY	1492-JD3FB	38	8.90	338.20
21	Borneras portafusibles de 2 pisos con tierra, 26-14AWG	ALLEN BRADLEY	1492-JDG3FB	10	8.00	80.00
22	Relés salida digital en 24V	ALLEN BRADLEY	700-HLT1Z24-EX	26	21.20	551.20
<b>TOTAL:</b>						<b>7487.23</b>

Es importante adicionar que para un trabajo en campo, el ingeniero de electrónica y automatización industrial también debe de considerar en su lista de precios el desarrollo de la ingeniería y de la programación de los dispositivos de automatización.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Se cumplió con los objetivos generales ya que para el sistema de monitoreo y automatización se implementó la programación en el PLC Simatic S7-1200 y la configuración del HMI KTP 400 para controlar y tener lecturas en campo sobre las variables físicas de temperatura, presión y nivel de los tanques de almacenamiento de gas propano y butano refrigerados con la finalidad de tener una acción más rápida en el caso de existir alguna falla con los equipos de medición o avería con las válvulas.
2. La ingeniería se desarrolló a partir de una secuencia de trabajo, empezando con los diagramas de flujo del proceso y diagramas de tubería e instrumentación se obtuvo el listado de las señales, para posteriormente realizar el diseño de la arquitectura de control.
3. La arquitectura de control se basa en 3 entradas analógicas, 18 entradas digitales y 12 salidas digitales, para cada uno de los tanques. Por tal motivo se añade un módulo de 8 AI, dos módulos de 8 y 16 DI, un módulo de 8 DO.
4. Con el TIA PORTAL se realizó la configuración y programación del controlador SIMATIC S7-1200 y la configuración del HMI. Siendo una herramienta de trabajo muy versátil.
5. Las líneas de segmento de código en la programación del PLC se compactaron a través de un solo bloque de función llamado FB para el propano y butano. Por tal motivo es más fácil visualizar el listado de las entradas y salidas del sistema en el PLC.

## **RECOMENDACIONES**

1. Una mejor opción para controlar y visualizar las variables físicas, no sólo de los tanques sino del muelle, formación y distribución del GLP, sería implementar estos sistemas vía inalámbrico. Una sugerencia sería utilizar el punto de acceso inalámbrico de alta potencia TL-WA5110G que puede prolongar el alcance de la transmisión hasta 50KM.
2. Tener en cuenta que las configuraciones de IP para los dispositivos como PC, PLC y HMI, sea la que el fabricante de estos equipos sugiere, ya que puede generar problemas con la comunicación entre dispositivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Revista Ekos. (2014, Noviembre). Sistema de GLP Monteverde-Chorrillo. Disponible en: [www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/1089.pdf](http://www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/1089.pdf) /
- [2] LPG Exceptional Energy. (2013). Composición del GLP. Disponible en: [http://www.exceptionalenergy.com/es\\_ES/que-es-el-glp/composicion-del-glp](http://www.exceptionalenergy.com/es_ES/que-es-el-glp/composicion-del-glp)
- [3] LPG Exceptional Energy. (2013). Origen del GLP. Disponible en: [http://www.exceptionalenergy.com/es\\_ES/que-es-el-glp/origen-del-glp](http://www.exceptionalenergy.com/es_ES/que-es-el-glp/origen-del-glp)
- [4] Delga S.A.I.C. y F. Materiales para áreas clasificadas. (2010). Disponible en: <http://www.delga.com/archivos/MATERIALES%20PARA%20AREAS%20CLASIFICADAS.pdf>
- [5] Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., “Autómatas Programables y Sistemas de Automatización”, Barcelona, España: Marcombo, 2009.
- [6] Profibus, N., “Profinet System Description: Technology and Application”, Karlsruhe, Alemania: Profibus & Profinet International, 2014.
- [7] Flopec, Consorcio GLP Monteverde, “Filosofía de operación y control”, Revisión C., Ecuador, 2011.
- [8] Kuphaldt, T., “Lessons in Industrial Instrumentation”, Washington, Estados Unidos: Creative Commons, 2008.
- [9] Morales, A., “Instrumentación Básica de Procesos Industriales”, México DF, México: ISA, 2007.
- [10] Meier, C., Meier, F., “Instrumentation and Control Systems Documentation”, Carolina del Norte, Estados Unidos: ISA, 2008.
- [11] Siemens AG, “Simatic S7-1200 Easy Book”, Nuremberg, Alemania: Siemens, 2012.



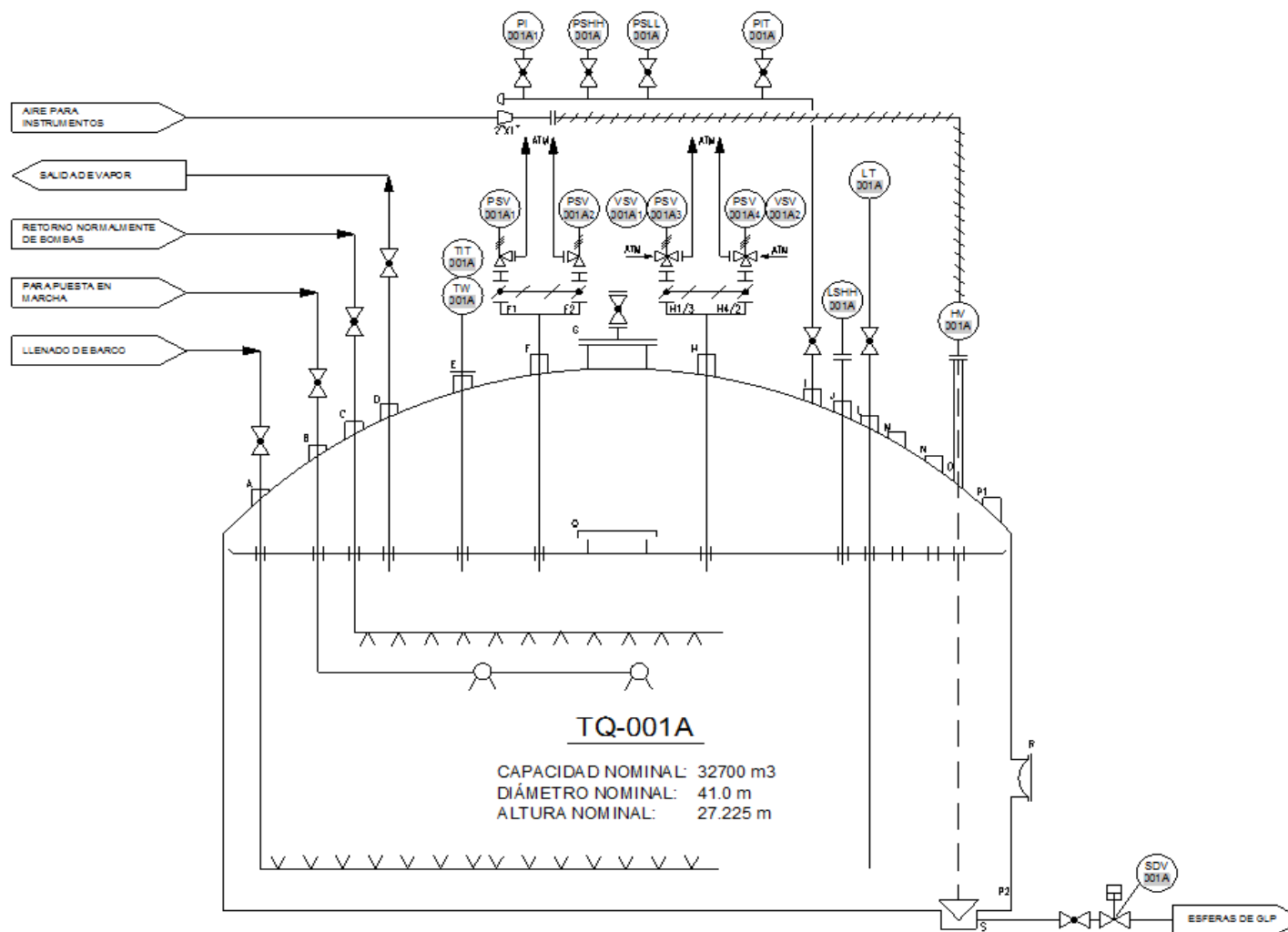
## ANEXOS

Anexo 1. Identificación Funcional de Instrumentos.

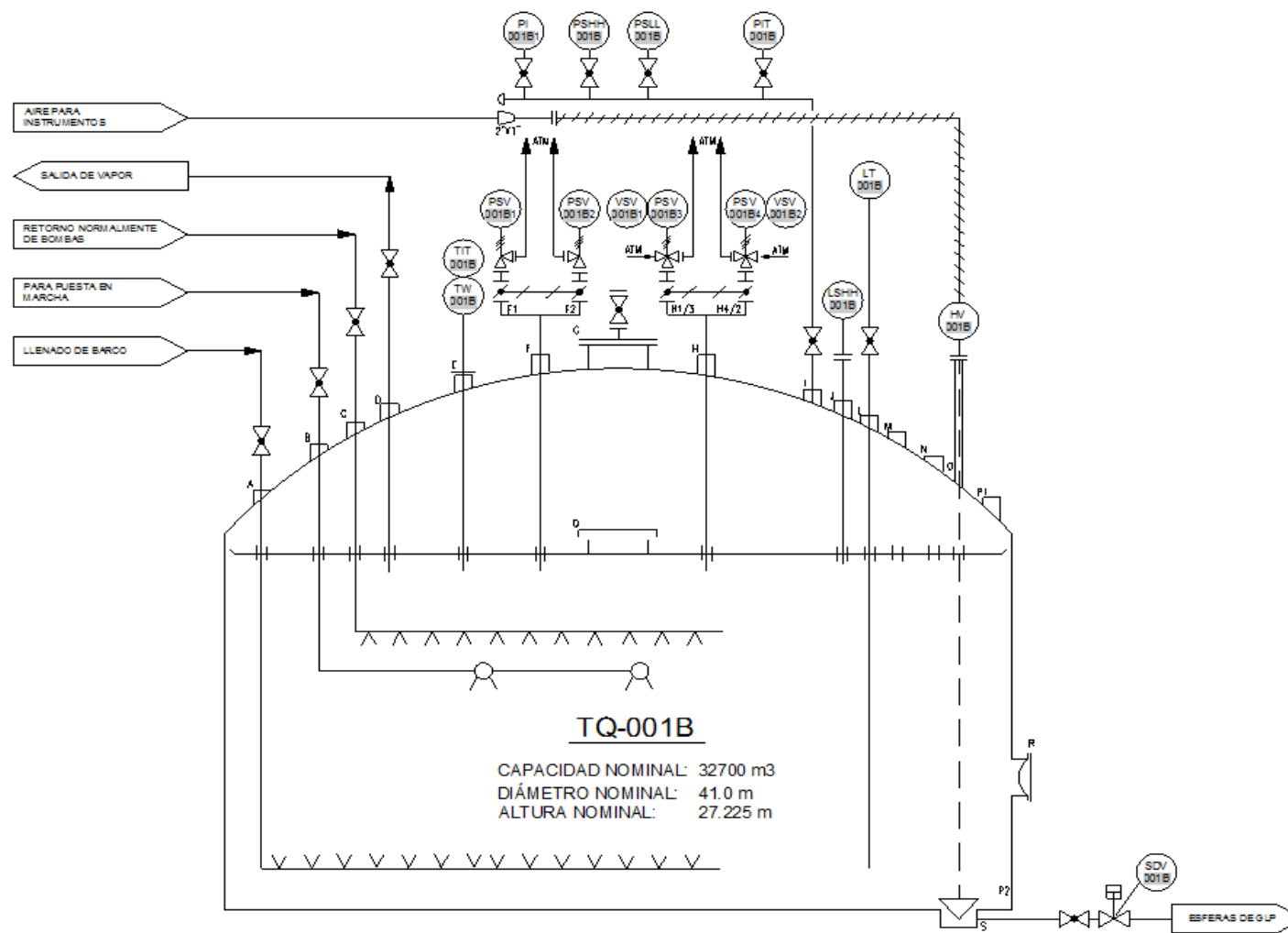
Letra	Primera Letra		Segunda Letra		
	Variable del Proceso	Modificador	ReadOut	Salida	Modificador
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador de Flama		*	*	*
C	Conductividad			Controlador	
D	Densidad	Diferencial			
E	Voltaje		Elemento Primario		*
F	Flujo	Relación			
G	Gaping		Elemento de Visualización		
H	Operario				Alto
I	Corriente		Indicador		
J	Potencia	Muestreo			
K	Tiempo			Estación de Control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Humedad				Medio
N	*		*	*	*
O	*		Orificio		
P	Presión		Punto o conexión		
Q	Cantidad	Integrado			
R	Radioactividad		Recorder		
S	Velocidad	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad			Válvula	
W	Peso		Pozo		
X	*				
Y	*			Solenoide	
Z	Posición			Driver, Actuador	



P	Presión	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI	PSH	PSL	PSHL	PRT	PIT	PT	PY	PE	PP			PSV, PSE	PV
PD	Presión Diferencial	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI	PDSH	PDSL		PDRT	PDIT	PDT	PDY	PDE	PDP				PDV
Q	Cantidad	QRC	QIC			QR	QI	QSH	QSL	QSHL	QRT	QIT	QT	QY	QE					QV
R	Radioactividad	RRC	RIC	RC		RR	RI	RSH	RSL	RSHL	RRT	RIT	RT	RY	RE		RW			RV
S	Velocidad	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI	SSH	SSL	SSHL	SRT	SIT	ST	SY	SE					SV
T	Temperatura	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI	TSH	TSL	TSHL	TRT	TIT	TT	TY	TE	TP	TW		TSE	TV
TD	Temperatura Diferencial	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI	TDSH	TDSL		TDRT	TDIT	TDT	TDY	TDE	TDP	TDW			TDV
U	Multivariable					UR	UI							UY						UV
V	Viscosidad					VR	VI	VSH	VSL	VSHL	VRT	VIT	VT	VY	VE					VV
W	Peso	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI	WSH	WSL	WSHL	WRT	WIT	WT	WY	WE					WV
WD	Peso Diferencial	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI	WDSH	WDSL		WDRT	WDIT	WDT	WDY	WDE					WDV
X	*																			
Y	Presencia					YR	YI	YSH	YSL				YT	YY	YE					YV
Z	Posición	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZSHL	ZRT	ZIT	ZT	ZY	ZE					ZV
ZD	Medición	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDT	ZDY	ZDE					ZDV



Anexo 3. Diagrama de tubería e instrumentación del tanque TQ-001A.



Anexo 4. Diagrama de tubería e instrumentación del tanque TQ-001B.

## Anexo 5. Listado de entradas y salidas del PLC.

No.	Tag	Descripción	Equipo	PLC E/S	Canales			Alarmas				Dirección en PLC	
					TB	Terminales		LL	L	H	HH		
1	PIT-001A	Transmisor de Presión en el Tanque de Propano	TQ-001A	AI	TB-AI-01	1	2	G	-0,021 PSIG	-0,007 PSIG	1,565 PSIG	1,636 PSIG	%IW160
2	TIT-001A	Transmisor de Temperatura en el Tanque de Propano	TQ-001A	AI	TB-AI-01	3	4	G	N/A	-45°C	-43°C	N/A	%IW162
3	LT-001A	Transmisor de Nivel en el Tanque de Propano	TQ-001A	AI	TB-AI-01	5	6	G	15 M	N/A	N/A	24.5 M	%IW164
4	PIT-001B	Transmisor de Presión en el Tanque de Butano	TQ-001B	AI	TB-AI-01	7	8	G	-0,021 PSIG	-0,007 PSIG	1,565 PSIG	1,636 PSIG	%IW166
5	TIT-001B	Transmisor de Temperatura en el Tanque de Butano	TQ-001B	AI	TB-AI-01	9	10	G	N/A	-12°C	-10°C	N/A	%IW168
6	LT-001B	Transmisor de Nivel en el Tanque de Butano	TQ-001B	AI	TB-AI-01	11	12	G	20 M	N/A	N/A	21.78 M	%IW170
7	SPARE	SPARE	SPARE	AI	TB-AI-01	13	14	G	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
8	SPARE	SPARE	SPARE	AI	TB-AI-01	15	16	G	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
9	SPARE	SPARE	SPARE	AI	TB-AI-01	17	18	G	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
10	SPARE	SPARE	SPARE	AI	TB-AI-01	19	20	G	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
11	XS-01	Marcha para la Carga del Propano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	1	2	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I0.0
12	PB-01	Paro de Emergencia para el Tanque de Propano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	3	4	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I0.1

13	PS-001A	Interruptor de Presión en la Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	5	6	-	N/A	N/A	102 PSIG	N/A	%I0.2
14	FSL-001A	Interruptor de Flujo Bajo en la Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	7	8	-	N/A	1 TON/H	N/A	N/A	%I0.3
15	ZSO-001A1	Indicador de Posición Abierta de Válvula de Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	9	10	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I0.4
16	ZSC-001A1	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	11	12	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I0.5
17	PSHH-001A	Interruptor de Presión - Alto Alto en el Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	13	14	-	N/A	N/A	N/A	1,707 PSIG	%I0.6
18	PSLL-001A	Interruptor de Presión - Bajo Bajo en el Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	15	16	-	-0,036 PSIG	N/A	N/A	N/A	%I0.7
19	LSHH-001A	Interruptor de Nivel - Alto Alto en el Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	17	18	-	N/A	N/A	N/A	24,5 M	%I1.0
20	ZSO - 001A2	Indicador de Posición Abierta de Válvula de Salida del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	19	20	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I1.1
21	ZSC - 001A2	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de Salida del Tanque de Propano	TQ-001A	DI	TB-DI-01	21	22	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I1.2
22	ZSO - 001A3	Indicador de Posición Abierta de Válvula de GDF 1	TQ-001A	DI	TB-DI-01	23	24	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I1.3
23	ZSC-001A3	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de GDF 1	TQ-001A	DI	TB-DI-01	25	26	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I1.4
24	XS-001A1	Confirmación del GDF 1 Habilitado	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	27	28	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I1.5
25	XS-001A2	Confirmación de Bombas de Propano Apagadas	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	29	30	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.0

26	HS-001A	Comando para Descarga de Propano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	31	32	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.1
27	ZSO - 001A4	Indicador de Posición Abierta del P. Electro neumático 1	TQ-001A	DI	TB-DI-01	33	34	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.2
28	ZSC-001A4	Indicador de Posición Cerrada del P. Electro neumático 1	TQ-001A	DI	TB-DI-01	35	36	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.3
29	XS-02	Marcha para la Carga del Butano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	37	38	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.4
30	PB-02	Paro de Emergencia para el Tanque de Butano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	39	40	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I8.5
31	PS-001B	Interruptor de Presión en la Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	41	42	-	N/A	N/A	102 PSIG	N/A	%I8.6
32	FSL-001B	Interruptor de Flujo Bajo en la Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	43	44	-	N/A	1 TON/H	N/A	N/A	%I8.7
33	ZSO-001B1	Indicador de Posición Abierta de Válvula de Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	45	46	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I12.0
34	ZSC-001B1	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	47	48	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I12.1
35	PSHH-001B	Interruptor de Presión - Alto Alto en el Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	49	50	-	N/A	N/A	N/A	1,707 PSIG	%I12.2
36	PSLL-001B	Interruptor de Presión - Bajo Bajo en el Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	51	52	-	-0,036 PSIG	N/A	N/A	N/A	%I12.3
37	LSHH-001B	Interruptor de Nivel - Alto Alto en el Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	53	54	-	N/A	N/A	N/A	21,78 M	%I12.4
38	ZSO - 001B2	Indicador de Posición Abierta de Válvula de Salida del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	55	56	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I12.5



39	ZSC - 001B2	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de Salida del Tanque de Butano	TQ-001B	DI	TB-DI-01	57	58	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I12.6
40	ZSO - 001B3	Indicador de Posición Abierta de Válvula de GDF 2	TQ-001B	DI	TB-DI-01	59	60	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I12.7
41	ZSC-001B3	Indicador de Posición Cerrada de Válvula de GDF 2	TQ-001B	DI	TB-DI-01	61	62	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.0
42	HS-001B	Comando para Descarga de Butano	PLC-P&B-001	DI	TB-DI-01	63	64	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.1
43	XS-001B1	Confirmación del GDF 2 Habilitado	TQ-001B	DI	TB-DI-01	65	66	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.2
44	XS-001B2	Confirmación de Bombas de Butano Apagadas	TQ-001B	DI	TB-DI-01	67	68	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.3
45	ZSO-001B4	Indicador de Posición Abierta del P. Electro neumático 2	TQ-001B	DI	TB-DI-01	69	70	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.4
46	ZSC-001B4	Indicador de Posición Cerrada del P. Electro neumático 2	TQ-001B	DI	TB-DI-01	71	72	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%I13.5
47	SPARE	SPARE	SPARE	DI	TB-DI-01	73	74	-	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
48	SPARE	SPARE	SPARE	DI	TB-DI-01	75	76	-	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
49	ESD-001A1	Solenoides de Válvula de Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	1	2	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.0
50	ESD-001A2	Solenoides de Válvula de Salida del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	3	4	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.1
51	ESD-001A3	Solenoides de Válvula de GDF 1	TQ-001A	DO	TB-DO-01	5	6	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.2
52	HV-001A	Solenoides del Panel Electroneumático del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	7	8	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.3

53	RS-001A1	Señal de Comando de Soplador de Aire 1	TQ-001A	DO	TB-DO-01	9	10	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.4
54	RS-001A2	Comando de Bomba Booster del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	11	12	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.5
55	XA-001A1	Falla en la Válvula de Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	13	14	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.6
56	XA-001A2	Falla en la Válvula de Salida del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	15	16	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q0.7
57	XA-001A3	Falla en la Válvula de GDF 1	TQ-001A	DO	TB-DO-01	17	18	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q1.0
58	XA-001A4	Falla en el Panel Electroneumático del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	19	20	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q1.1
59	XA-001A5	Ausencia de Flujo en la Entrada del Tanque de Propano	TQ-001A	DO	TB-DO-01	21	22	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.0
60	XA-001A6	Sobrenivel de producto 1	TQ-001A	DO	TB-DO-01	23	24	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.1
61	ESD-001B1	Solenoides de Válvula de Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	25	26	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.2
62	ESD-001B2	Solenoides de Válvula de Salida del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	27	28	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.3
63	ESD-001B3	Solenoides de Válvula de GDF 2	TQ-001B	DO	TB-DO-01	29	30	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.4
64	HV-001B	Solenoides del Panel Electroneumático del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	31	32	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.5
65	RS-001B1	Señal de Comando de Soplador de Aire 2	TQ-001B	DO	TB-DO-01	33	34	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.6
66	RS-001B2	Comando de Bomba Booster del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	35	36	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q16.7

67	XA-001B1	Falla en la Válvula de Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	37	38	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.0
68	XA-001B2	Falla en la Válvula de Salida del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	39	40	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.1
69	XA-001B3	Falla en la Válvula de GDF 2	TQ-001B	DO	TB-DO-01	41	42	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.2
70	XA-001B4	Falla en el Panel Electroneumático del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	43	44	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.3
71	XA-001B5	Ausencia de Flujo en la Entrada del Tanque de Butano	TQ-001B	DO	TB-DO-01	45	46	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.4
72	XA-001B6	Sobrenivel de producto 2	TQ-001B	DO	TB-DO-01	47	48	-	N/A	N/A	N/A	N/A	%Q20.5
73	SPARE	SPARE	SPARE	DO	TB-DO-01	49	50	-	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
74	SPARE	SPARE	SPARE	DO	TB-DO-01	51	52	-	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE