

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE  
PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE  
BOMBEO DE GASOLINAS EXTRA Y SÚPER DEL  
TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS EL  
BEATERIO DE EP PETROECUADOR.”**

**TOMO 1**

**VICTOR PULLA A.  
RAMIRO CHUVA A.**

**Sangolquí – Ecuador  
2012**



## CERTIFICACIÓN

Certificamos que los señores VICTOR GEOVANNY PULLA AULESTIA y DENNIS RAMIRO CHUVA ALVAREZ han elaborado el proyecto de grado titulado “DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA REPOTENIACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE GASOLINAS EXTRA Y SÚPER DEL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS EL BEATERIO DE EP PETROECUADOR.” para la obtención del título de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control, bajo nuestra dirección.

---

Ing. Paul Ayala

DIRECTOR

---

Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR



## RESUMEN

Se realizó el diseño de la ingeniería básica y de detalle para la repotenciación del sistema de despacho de gasolinas extra y súper en el Terminal Beaterio de EP Petroecuador, que consta de dos fases, la primera es la optimización de la lógica de control para equilibrar el tiempo de operación de las electrobombas; la segunda fase consiste en el diseño de las ingenierías para conseguir que cada electrobomba funcione con un variador de velocidad.

En el PLC central Quantum se implementó un algoritmo para conseguir la equidad de operación de las electrobombas de gasolinas extra y súper. Además se instaló un dispositivo transmisor de presión en la tubería principal de gasolina extra con el objetivo de regular la presión de la línea mediante un controlador Proporcional Integral.

Se mejoraron las interfaces Hombre – Máquina tanto en Intouch como en Vijeo – Designer, consiguiendo reflejar condiciones actuales de funcionamiento.

Finalmente se entregaron a la empresa las respectivas proformas y requisiciones de equipos necesarios para la repotenciación, así como una carpeta técnica con planos de conexión.

Con la implementación del presente proyecto se conseguirá un porcentaje mensual de ahorro de energía eléctrica del 33% para gasolina extra y 20% de gasolina súper con respecto al sistema anterior, y se garantiza equipamiento que cumplan los estándares de seguridad establecidos para áreas clasificadas.

## DEDICATORIA

El presente proyecto deseo dedicarlo a Dios por bendecirme y brindarme nuevas oportunidades para alcanzar mis sueños.

A mi padre por ser el pilar fundamental de apoyo no solo económico sino moral, se que tú eres el verdadero autor de este logro y siempre me esforzaré para que nunca te sientas defraudado.

A mi madre por su infinito amor y cuidado, se que te sientes orgullosa de mí y lo único que te pido es que siempre estés a mi lado.

A mi esposa por entregarme amor y paciencia, se que sin ti no hubiese sido posible este sueño.

A mis hermanos por darme confianza y palabras de aliento para seguir adelante a pesar de las adversidades.

Y especialmente al ser que inunda mi vida de alegría, el motivo para despertarme día a día, mi preciosa hija Ibeth.

Víctor Geovanny

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento sobre todo a Dios y a todas las personas que estuvieron pendientes contribuyendo con su conocimiento en la realización de este proyecto.

A mis padres por darme apoyo constante en toda mi formación estudiantil y enseñarme valores que perdurarán en mi personalidad. A mis hermanos por compartir conmigo experiencias de alegría y tristeza.

A mi esposa e hija por darme comprensión y apoyo para juntos superar adversidades y llegar a cumplir esta meta.

Al personal de mantenimiento del terminal el Beaterio por su contingente desinteresado y sobre todo por ese ambiente de confianza que forja una buena amistad, especialmente al Ing. Christian López.

A la Escuela Politécnica del Ejército y maestros que contribuyeron con su enseñanza en mi formación profesional, especialmente a los ingenieros Paúl Ayala y Hugo Ortiz por su guía en la realización de este proyecto.

A mi amigo Ramiro no solo por su entrega para realizar un buen trabajo, sino por su sincera amistad.

Víctor Geovanny

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este Proyecto de Tesis a Dios por darme toda la fuerza, energía y salud necesaria para luchar sin desmayo por la consecución de mis anhelos.

Todo mi esfuerzo a lo largo de mi carrera se lo dedico a las personas más importantes de mi vida, que me han inculcado los principios y valores que llevo presente en todos mis actos, Mis Padres.

A mi Madre Maritza Elizabeth por ser la brillante luz que ilumina mi camino con su amor incondicional, por estar a mi lado y cuidarme en todo momento.

A mi Padre Vicente Ramiro por ser el apoyo fundamental en cada aspecto de mi vida y mi gran ejemplo a seguir.

Dennis Ramiro

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi apoyo moral y espiritual, y a todos quienes me acompañaron en el camino.

A mi familia por darme su amor, paciencia, apoyo y guía.

A mi amigo Victor por su gran empeño y confianza para la realización de este proyecto.

A los profesores de la Escuela Politécnica del Ejército por su conocimiento impartido, especialmente al Ing. Paúl Ayala por su colaboración con director del proyecto.

Al personal del Taller de Mantenimiento de Depósitos y Terminales El Beaterio, en especial al Ing. Christian López que con su valioso aporte se pudo culminar con cada objetivo planteado.

Y a mis amigas y amigos que fueron parte de mi vida estos cinco años de carrera.

Dennis Ramiro

## PRÓLOGO

El terminal Beaterio de EP Petroecuador se dedica al almacenamiento y despacho de combustibles para el abastecimiento de la parte centro – norte del país, y para mejorar su sistema con el uso de variadores de velocidad para cada electrobomba, se requiere el diseño de la ingeniería básica y de detalle.

En el primer capítulo se presenta la explicación del sistema de despacho actual con la descripción equipos mediante tablas de especificaciones.

En el segundo capítulo se explica la lógica de control para conseguir el equilibrio de trabajo de las horas de operación de las electrobombas y diseño del controlador proporcional integral de presión de la línea. También se presenta el mejoramiento de las interfaces Hombre – Máquina en Intouch y Vijeo – Designer. Finalmente se describe una propuesta de lógica de control para la implementación de la segunda fase del proyecto.

El tercer capítulo consiste en la ingeniería básica del sistema, en la cual se plasma de manera preliminar los requerimientos del proyecto que constituyen una sólida base para la ingeniería de detalle.

En el cuarto capítulo se desarrolla la ingeniería de detalle del sistema que consiste en el dimensionamiento de los equipos identificados en la anterior ingeniería, finalizando con la presentación de las respectivas proformas y requisiciones.

Se culmina el presente proyecto con el capítulo quinto, que contiene las conclusiones y recomendaciones respectivas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO.....	¡Error! Marcador no definido.
PRÓLOGO .....	VI
CAPÍTULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO ACTUAL.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1 Introducción	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.1.1 Antecedentes.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2 Justificación e Importancia .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.1 Primera fase .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.2 Segunda Fase .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.3 Alcance del Proyecto .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.3.1 Primera Fase.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.3.2 Segunda Fase .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Infraestructura Física	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.1 Tanques de Almacenamiento .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.1.1 Sensor tipo radar Saab Tank Radar Rex .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2 Patio de bombas .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2.1 Bomba Centrífuga .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2.2 Motor eléctrico .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2.3 Actuadores .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3 Islas de Carga .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3.1 Controlador Accuload III .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3.2 Válvula Digital Electro – Hidráulica Modelo 210.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3.3 Medidor de Desplazamiento Positivo F4-21 .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3.4 Filtro de Tubería .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.4 Centro de Control de Motores (MCC) .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.4.1 PLC Modicom TSX Quantum .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.4.2 PLC Modicom TSX Momentum .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.4.3 Touch Panel MAGELIS .....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.4.4 Variador de velocidad Altivar 61 .....	¡Error! Marcador no definido.

1.3	<i>Red de Datos</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.3.1	Topología.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.3.2	Protocolos de Comunicación.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.3.2.1	Modbus.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.3.2.2	Modbus Plus .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.3.2.3	Ethernet.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.4	<i>Descripción del proceso de despacho actual</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.4.1	Extra .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
1.4.2	Súper .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....		<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
<b>OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL</b> .....		<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1	<i>Estudio del Sistema de Control Actual</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1	Gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.1	Lógica actual del PLC.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.1.1	Configuración del Peer Cop.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.2	Interfaz Hombre – Máquina .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.2.1	HMI en INTOUCH .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.2.2	HMI en Touch Panel MAGELIS .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.3	Descripción del problema .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.4	Diseño del sistema de control para la Fase I .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.1.5	Estudio de las variables del sistema de control antiguo..	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2	Gasolina Súper .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2.1	Lógica actual del PLC.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2.2	Interfaz Hombre – Máquina .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2.3	Descripción del problema .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2.4	Diseño del sistema de control para la fase I .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.1.2.5	Estudio de las variables del sistema de control antiguo..	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2	<i>Desarrollo del Software para Fase 1</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1	Gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.1	Lógica de Control gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.1.1	Controlador Proporcional Integral.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.2	Interfaz Hombre-Máquina gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.2.1	HMI en INTOUCH .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.2.2	HMI en touch panel MAGELIS.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.1.3	Estudio de las nuevas variables para el sistema de control de la Fase I.	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2	Gasolina Súper .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2.1	Lógica de Control gasolina Súper.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2.2	Interfaz Hombre-Máquina gasolina Súper.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2.2.1	HMI en INTOUCH .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2.2.2	HMI en touch panel MAGELIS.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.2.2.3	Estudio de las nuevas variables para el sistema de control de la Fase I.	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.3	<i>Pruebas y Fallos</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.3.1	Gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.3.2	Gasolina Súper .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.4	<i>Resultados</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.4.1	Gasolina Extra.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.4.2	Gasolina Súper .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.5	<i>Desarrollo del Software para Fase II</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.5.1	Lógica de Control.....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
2.5.2	Interfaz Hombre-Máquina .....	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>

<b>CAPÍTULO III</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>3.1 Normas</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
3.1.1 Clasificación por zona de riesgo.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1.1 Áreas Clase I .....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1.2 Áreas Clase II .....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1.3 Áreas Clase III .....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2 Normas para el desarrollo de diagramas.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.3 Manual de Codificación de equipos e Instrumentos Zona Norte	¡Error! Marcador no definido.
<b>3.2 Estudio del sistema de despacho actual.</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
3.2.1 Levantamiento de equipos del Centro de Control de Motores (M.C.C.) ..	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2 Levantamiento de equipos y distancias del Patio de Bombas..	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3 Descripción del proceso de despacho actual.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3.1 Gasolina Extra .....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3.2 Gasolina Súper .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>3.3 Estudio del nuevo sistema de despacho.</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
3.3.1 Lista de equipos para el nuevo sistema de despacho.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2 Descripción del proceso del nuevo sistema de despacho .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4.1 Dimensionamiento de equipos</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
4.1.1 Variador de velocidad.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.1 Recomendación de circuito.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.2 Recomendaciones de instalación.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.3 Opciones y variador de velocidad seleccionado .....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2 Contactor .....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2.1 Opciones y contactor seleccionado .....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.3 Protecciones .....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.3.1 Opciones y protecciones seleccionadas .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4.2 Dimensionamiento de cableado</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
4.2.1 Motores .....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.1 Cable Fuerza .....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.1.1 Dimensionamiento del conductor.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2 Actuadores.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.1 Cable de Fuerza .....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.2 Cable de Comunicación .....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.3 Transmisores de presión.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.4 Botoneras .....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.4.1 Cable de Fuerza .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4.3 Dimensionamiento de bandejas porta cables, soportes estructurales y tubería</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
4.3.1 Bandejas Porta cables.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1.1 Accesorios .....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2 Soportería.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2.1 Canal Estructural .....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2.2 Accesorios .....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3 Tubería.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4.4 Equipos complementarios del sistema</b> <i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
4.4.1 Sistema de gestión de motores .....	¡Error! Marcador no definido.

4.4.2	Equipo para corrección de factor de potencia .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5	<i>Diagramas y planos</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5.1	Diagrama isométrico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5.2	Diagrama de instrumentación .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5.3	Diagrama de flujo de proceso .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5.4	Diagrama de conexiones eléctricas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.6	<i>Análisis predictivo de ahorro de energía.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.7	<i>Proformas y Requisiciones de equipos y cableado para la implementación</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.7.1	Proformas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.7.2	Requisiciones .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1	<i>Conclusiones</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.2	<i>Recomendaciones</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....		<b>248</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>GLOSARIO</b> .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

# **CAPÍTULO I**

## **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO ACTUAL**

### **1.1 Introducción**

#### **1.1.1 Antecedentes**

El terminal de productos limpios El Beaterio ubicado al sur de Quito forma parte de la Gerencia de Transporte y Almacenamiento de EP Petroecuador.

Este terminal se dedica al almacenamiento y despacho de combustibles como: Extra, Súper, Diesel 2, Diesel Premium y Jet Fuel), para el abastecimiento de la parte centro norte del país (Carchi hasta Pichincha).

Para el despacho de combustibles hacia los tanqueros, se cuenta con un área de almacenamiento en tanques, un área de bombeo, y un área de despacho denominada islas de carga.

Para el proceso de despacho de gasolina Extra se cuenta con 4 tanques de almacenamiento y para gasolina Súper 2, con válvulas de entrada y salida las cuales permiten el ingreso ó salida de producto.

En el patio de bombas existe un total de 15 grupos de electrobombas con sus respectivas válvulas y actuadores para su accionamiento, de las cuales las 5 primeras son utilizadas para el despacho de gasolina Extra, las 3 siguientes para Súper, las 4 a continuación para diesel Premium y finalmente 3 para Diesel 2.

En el área de despacho se cuenta con 7 brazos de carga para Extra y 5 para Súper; el sistema automático de entrega de combustible en la isla de carga es realizado por un computador de flujo Accuload III con su respectivo medidor e instrumentación. Existen dos tipos de carga para los tanqueros:

Carga por la parte superior del tanquero, que se caracteriza por la liberación de vapores del combustible que perjudican el medio ambiente.

Carga ventral, se realiza por la parte inferior del auto-tanque, que se caracteriza por ser más segura ya que evita la emanación de vapores al medio ambiente.

El control de accionamiento de las electrobombas se encuentra en el área de Centro de Control de Motores (MCC), dónde se cuenta con arrancadores directos para cada electrobomba, un variador de velocidad (seleccionable para Extra), dos variadores de velocidad (Diesel 2), un PLC que realiza el algoritmo de control, así como equipos de protección y comunicación. Cabe mencionar que Diesel Premium y Súper no cuentan con variadores.

El monitoreo, control y adquisición de datos de los procesos se lleva a cabo en el cuarto de control, donde se encuentran instalados los servidores y las interfaces Hombre-Máquina.

Con el fin de optimizar el sistema de despacho de las gasolinas, la empresa en aproximadamente un año, cuenta con la aprobación para la adquisición de variadores, transmisores de presión, equipo controlador de gestión de motores y un nuevo generador.

### **1.1.2 Justificación e Importancia**

El proyecto constará de 2 fases, la primera será un análisis y mejoramiento del sistema actual de bombeo de las gasolinas Extra y Súper; la segunda el diseño de la ingeniería básica y de detalle del sistema de bombeo de las gasolinas, contando con un driver para cada electrobomba.

### 1.1.2.1 Primera fase

Para obtener el rendimiento adecuado de las electrobombas, su configuración está en paralelo, de este modo cuando la demanda es pequeña solo trabaja una electrobomba, encendiéndose las siguientes aleatoriamente, según aumenta el caudal a transportar. El problema actual es que sus tiempos de operación no tienen igualdad, de modo que unas trabajan más que otras, disminuyendo así la vida útil de las que más operan; generalmente la que se designa como electrobomba principal.

Los señores operadores seleccionan las electrobombas (1 principal y 2 auxiliares) que van a funcionar para el bombeo de las gasolina Extra en una interfaz gráfica en la que no se visualiza tiempos de operación, ni el tanque al cual están conectados. Por lo que redundan en la selección de las electrobombas, haciéndolas trabajar un exceso de horas con respecto a las demás y sin una visualización exacta de la conexión de los tanques, así que sería mejor realizar una selección automática y una interfaz más explicativa.

Actualmente no se cuenta con una organización y planificación de mantenimiento de equipos eficiente; ya que no se toma en cuenta el tiempo de operación de las electrobombas.

Adicionalmente, se conoce que no existe una interfaz HMI que refleje el proceso de despacho de Súper, ya que solo se cuenta con una simple pantalla de accionamiento de electrobombas en INTOUCH; en consecuencia el operador no tiene una interfaz detallada del proceso, ni un criterio lógico para seleccionar como electrobomba Principal ó Auxiliar. La lógica de control de igual manera no considera el tiempo de operación de las electrobombas, por ende sufre el mismo problema que el descrito anteriormente con gasolina Extra, con la única diferencia que no cuenta con variador.

### 1.1.2.2 Segunda Fase

Como se mencionó anteriormente se van a adquirir variadores; por ende se necesita desarrollar la ingeniería básica y de detalle para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper consiguiendo que cada electrobomba cuente con su propio variador y sistema de control.

Al estar condicionada la activación de las electrobombas por la demanda, más la falta de variadores; esto implica repetitivos arranques directos de las electrobombas auxiliares en el caso de Extra y de todas las electrobombas en el caso de Súper, que representan un alto consumo de energía al final de la jornada.

Las razones para la repotenciación son las siguientes:

- Al existir arranque directo de las electrobombas, generan un alto pico de corriente.
- Se desea eliminar el golpe de ariete causado por el arranque directo de las electrobombas y la presión acumulada en la tubería al momento del encendido y apagado de los brazos de carga. Los inconvenientes que produce los golpes de ariete, a más de su desgaste prematuro, son posibles roturas en los accesorios instalados en los extremos de las tuberías como las válvulas.
- Mejorar la eficiencia del sistema ya que existen variaciones de caudal entre 380 a 500 GPM, especialmente por motivos de instalaciones de las tuberías y sus accesorios.
- Mayor confiabilidad del sistema de bombeo al estar monitoreadas, mediante la HMI, constantemente las variables del proceso de todas las electrobombas como:
  - Corriente, Voltaje, Velocidad, Frecuencia, Potencia, Torque, Estado de las entradas lógicas, a través del variador de frecuencia;

- Indicador de corriente, indicadores LED de fallo y advertencia, indicadores de comunicación de red y alarma, indicador LED de comunicación HMI, funciones de diagnóstico e histórico, advertencias, etc. a través del controlador de gestión de motores.
- Actualmente, en el arranque directo de las electrobombas se monitorea únicamente los estados del contactor, más no mayor información detallada que puede brindar un controlador de gestión de motores, mediante una simple comunicación Ethernet.
- Flexibilidad del sistema, pues el diseño contará con un controlador de gestión de motores como back up, si el variador algún momento entra en falla.
- El uso de variadores tiene efectos perjudiciales en la red, por ende se necesita recomendar un equipo para corrección del factor de potencia; más aún por ubicarse en un sector residencial al sur de la ciudad.

### **1.1.3 Alcance del Proyecto**

#### **1.1.3.1 Primera Fase**

Estudio y revisión del sistema de control actual de despacho de gasolina Extra y Súper hacia los tanqueros (Equipos instalados, programación del PLC, HMI, protocolos de comunicación).

Modificación del programa principal de despacho de Extra y Súper en el PLC para determinar y mostrar los tiempos de operación de las electrobombas, optimizando su funcionamiento a través de una selección automática de las mismas, y garantizar tiempos de operación similares.

Mediante una HMI (en INTOUCH y touch panel MAGELIS) limitarle al operador a seleccionar únicamente la electrobomba como DISPONIBLE ó FUERA, y una mejor visualización del conexionado del proceso entre tanques y electrobombas.

- Realizar un análisis de las diferentes fallas que se pueden presentar con la combinación de:
- Configuración de las electrobombas (PRINCIPAL, AUXILIAR1, AUXILIAR2).
- Existencia ó no de la conexión electrobomba-tanque.
- Estado de la electrobomba (DIPONIBLE ó FUERA).
- En base a dicho análisis mostrar la configuración más apropiada que se ajuste a las posibles condiciones, con mensajes de información y advertencia para el operador del touch panel.

#### **1.1.3.2 Segunda Fase**

Se realizará un levantamiento de las condiciones actuales del sistema eléctrico, instrumentación y comunicación.

Desarrollar la ingeniería básica para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper con los siguientes ítems:

- Diagrama P&ID.
- Descripción del nuevo proceso de control.
- Lista de equipos.

Desarrollar la ingeniería de detalle para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper con los siguientes ítems:

- Dimensionamiento de equipos para el correcto funcionamiento y protección del sistema a diseñar.
- Dimensionamiento del cableado de fuerza para las electrobombas y pulsadores.

- Dimensionamiento de cableado de fuerza y comunicación de actuadores.
- Dimensionamiento de las bandejas porta cables y tubería, del cableado de fuerza y comunicación para el grupo de electrobombas, caja de pulsadores, actuadores y transmisor de presión.
- Manejo de MyEcodial L, software de Schneider Electric para el diseño, cálculo y selección optimizada de equipamiento de proyectos eléctricos. Análisis comparativo con equipos dimensionados matemáticamente.
- Diagrama isométrico del patio de bombas que muestre las bandejas porta cables y tubería antes mencionada.
- Diagramas de lazo, proceso, zonas clasificadas, y eléctrico. Se trabajará bajo el conjunto de normas ISA (Instrument Society of America) y la norma del Código Nacional Eléctrico (NEC).

Adicional se realizarán recomendaciones de equipos para control de gestión de motores, para corrección de factor de potencia, y características del generador que se debe adquirir.

También, se realizará una lista de materiales para la implementación del sistema con sus respectivas proformas, previo a un análisis comparativo de precios y demás parámetros de facilidad de adquisición para la empresa.

Finalmente, se entregará una alternativa para la programación en el PLC, la HMI en INTOUCH y touch panel MAGELIS, para el nuevo proceso de despacho de las gasolinas, bajo premisas de repotenciación de las ingenierías diseñadas en el presente trabajo.

Es importante mencionar que el diseño de las ingenierías antes mencionadas, servirá posteriormente como una sólida base para los demás combustibles como es Diesel Premium y Diesel 2. Además el dimensionamiento de cableado (fuerza y comunicación) canalización, soportería, y tubería se realizará para los 4 combustibles del patio de bombas, así como la lista de materiales y proformas.

## 1.2 Infraestructura Física

El despacho de gasolina Extra y Súper en el Terminal El Beaterio de EP Petroecuador se realiza a través de un sistema conformado por:

- Tanques de almacenamiento.
- Patio de Bombas.
- Islas de Carga.
- Centro de Control de Motores.



Figura 1.1. Diagrama de bloques general de la infraestructura física del sistema de despacho de gasolina Extra y gasolina Súper.

### 1.2.1 Tanques de Almacenamiento

Los tanques que pueden ser utilizados para el despacho de gasolina Extra son los tanques: 3 (TQ-1003), 7 (TQ-1007), 14 (TQ-1014), 20 (TQ-1020) y esferas: TB-1024, TB-1025. Para gasolina Súper se utilizan los tanques 1 (TQ-1001) y 12 (TQ-1012). Para evitar la generación de gases explosivos en el espacio entre el producto y el techo; estos tanques cuentan con un techo flotante.

En la Figura 1.2. se muestra la ubicación de los tanques dispuestos en el interior de diques de seguridad ante un posible derrame de producto.



Figura 1.2. Ubicación de los tanques de almacenamiento

Los tanques poseen válvulas de entrada y salida con sus respectivos actuadores, las cuales determinan si el tanque va a distribuir y/o recibir producto. Además cada uno de los tanques cuenta con un sistema de medición tipo radar que transmite la información de temperatura, presión, nivel del producto almacenado y nivel de agua.

#### 1.2.1.1 Sensor tipo radar Saab Tank Radar Rex

El sensor Saab Tank Radar se encuentra instalado en cada uno de los tanques para realizar la medición de temperatura, presión y nivel del producto almacenado. Este dispositivo tiene incorporado una Unidad de Comunicación de Campo que envía la información mediante protocolo Modbus a una computadora que se encuentra en la sala de control.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Sensor tipo Radar
MARCA	SAAB TANK RADAR
<b>DATOS GENERALES</b>	
MODELO	RTG 3945
PRESICIÓN	5/256 pulgadas
DESVIACIÓN MÁXIMA	1/32 pulgadas
TEMPERATURA DE OPERACIÓN MÍNIMA	-40 ° F
TEMPERATURA DE OPERACIÓN MÁXIMA	158 ° F
VOLTAJE	110 / 240 VAC
FRECUENCIA	50 / 60 Hz.
POTENCIA	15 W
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.1. Especificaciones generales del Sensor Saab Tank Radar Rex.

### 1.2.2 Patio de bombas

En el patio de bombas existen 15 electrobombas dispuestas de la siguiente manera: cinco son utilizadas para el despacho de Extra, tres para Súper cuatro para Diesel Premium y tres para Diesel 2.

Como se muestra en la Figura 1.3. para gasolina extra y Figura 1.4. para gasolina súper, cada bomba es alimentada con producto proveniente de uno ó dos tanques para ser entregado a las islas de carga. Adicional se puede observar la flexibilidad para realizar trabajos de mantenimiento en los tanques sin la interrupción del despacho, ya que es posible despachar el producto desde cualquiera de ellos.

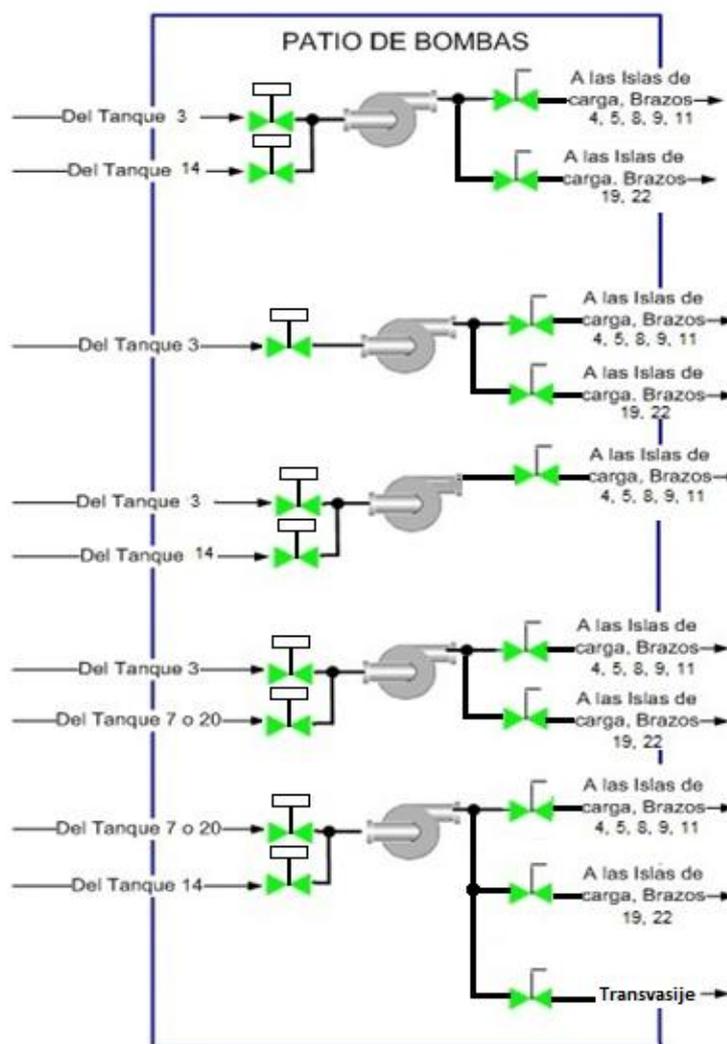


Figura 1.3. Esquema correspondiente a la infraestructura física de las bombas utilizadas para el despacho de gasolina Extra.

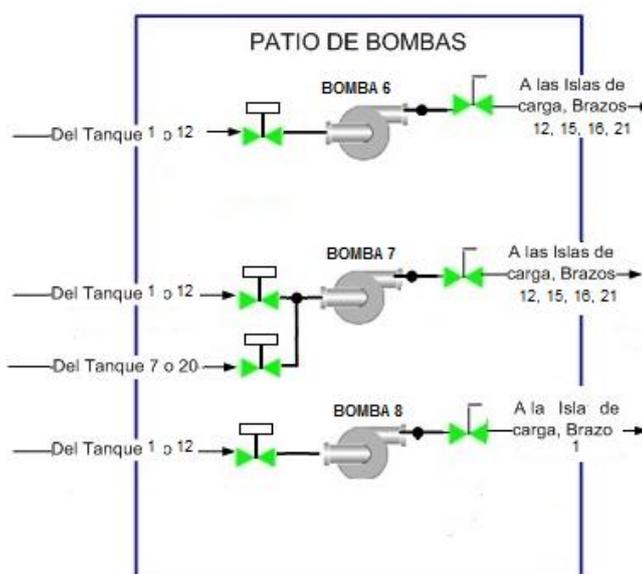


Figura 1.4. Esquema de la infraestructura física de las bombas utilizadas para el despacho de gasolina Súper.

La selección del tanque distribuidor de producto se realiza mediante una serie de válvulas manuales dispuestas a lo largo de las tuberías de distribución del combustible.

Cada electrobomba de Extra y Súper posee una salida que se unen a dos tuberías principales (Mainfold), para la entrega del producto a los brazos de carga ubicados en las diferentes islas de carga, distribuidos como en la Tabla 1.2. y 1.3

Gasolinas	Brazo	Tuberías
Extra	4,5,8,9,11	Mainfold 1 Extra
	19,22	Mainfold 2 Extra
Súper	12,15,16,21	Mainfold 1 Súper
	2	Mainfold 2 Súper

Tabla 1.2. Distribución Brazo – Tubería Principal

Gasolina	Isla	Brazo	
Extra	1	4,5	
	2	8,9,11	
	3	19	22 <i>Carga Ventral</i>
Súper	1	1	
	3	12,15,16	21 <i>Carga Ventral</i>

Tabla 1.3. Distribución Isla de carga – Brazo

### 1.2.2.1 Bomba Centrífuga

Para el despacho de gasolina se utilizan bombas centrífugas de la marca Flowserve Durco Mark 3 2K6X4 - 10H RV, con motor eléctrico de US Electrical Motor modelo AD75. Son las encargadas de elevar, transferir e impulsar el producto consiguiendo aumentar la presión del líquido.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Bomba
MARCA	FLOWSERVE DURCO
<b>DATOS GENERALES</b>	
MODELO	MARK 3 2K6X4 - 10H RV
TIPO	Centrífuga
ARMAZÓN	Mediano
PESO	149 KG.
TEMPERATURA AMBIENTE MÍNIMA	-29 ° C
TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA	175 ° C
TIPO DE IMPULSOR	Alabes invertidos
TAMAÑO DEL PUERTO DE SUCCIÓN	6 pulgadas
TAMAÑO DEL PUERTO DE DESCARGA	4 pulgadas
TAMAÑO DEL IMPULSOR	10.75 pulgadas
CAPACIDAD DE FLUJO	1000 GPM
CAUDAL MÍNIMO	50% DEL BEP
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.4. Especificaciones generales de la bomba centrífuga Flowserve Durco Mark 3

### 1.2.2.2 Motor eléctrico

El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica la cual es entregada a la bomba para producir el movimiento. El motor eléctrico modelo AD75 está diseñado para ser utilizado en bombas centrífugas cumpliendo con los requerimiento de clasificación Clase 1 División 1.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	MOTOR ELÉCTRICO
MARCA	US
<b>DATOS GENERALES</b>	
MODELO	AD75
TIPO	Motor de Inducción Asíncrono JAULA DE ARDILLA
PESO	159 KG.
POTENCIA	25 HP
VOLTAJE	230 / 460 VAC
CORRIENTE A MÁXIMA CARGA	59.8 / 29.9 A.
NÚMERO DE FASES	3
FRECUENCIA	60 Hz
VELOCIDAD A MÁXIMA CARGA	1775 RPM
TORQUE A MÁXIMA CARGA	74 LBS / PIE
TORQUE DE ARRANQUE	141.34 LBS / PIE
EFICIENCIA	92.4%
FACTOR DE SERVICIO	1.15
TIPO DE CARCAZA	Totalmente encerrado
CLASIFICACIÓN DE ZONAS PELIGROSAS	CLASE I y II, DIVISIÓN I, GRUPOS C, D, E y F
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.5. Especificaciones generales Motor eléctrico US AD75

### 1.2.2.3 Actuadores

El actuador eléctrico de marca Rotork Electric se encarga de realizar la apertura o cierre de las válvulas instaladas en cada una de las tuberías de entrada a las electrobombas, y así dejar pasar o no el producto proveniente de los tanques; de igual manera funcionan en los tanques para la entrada y salida del producto. Para las gasolinas se trabaja con 2 modelos que se detalla en las tablas: Tabla 1.6. y Tabla 1.7.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Actuador
MARCA	ROTORK ELECTRIC
MODELO	IQ10
<b>DATOS GENERALES</b>	
TORQUE	34 Nm
VELOCIDAD	43 RPM
POTENCIA	0.148 HP
VOLTAJE	460 VAC
NÚMERO DE FASES	3
CORRIENTE NOMINAL	0.58 A
FRECUENCIA	60 Hz.
PESO	27 Kg.
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.6. Tabla de especificaciones Actuador Eléctrico Rotork Electric IQ10

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	ACTUADOR ELÉCTRICO
MARCA	ROTORK ELECTRIC
MODELO	IQ1000
<b>DATOS GENERALES</b>	
TORQUE	1000 Nm
VELOCIDAD	30 – 120 SEC
POTENCIA	0.603 HP
VOLTAJE	480 VAC
CORRIENTE NOMINAL	1 A
PESO	27 Kg.

Tabla 1.7. Tabla de especificaciones Actuador Eléctrico Rotork Electric IQ1000

### 1.2.3 Islas de Carga

En cada isla de carga se encuentran 4 brazos, los mismos que tienen un sistema de medición y control del flujo entregado, éste sistema consta de:

- Un controlador Accuload III para manejar uno ó dos brazos de carga,
- Una válvula de control Smith Meter modelo 210 por cada brazo de carga.
- Un medidor de desplazamiento positivo Smith Meter modelo F4-S1,
- Un filtro, para eliminar partículas indeseadas en el producto,
- Una válvula manual que se utiliza cuando se da mantenimiento al brazo.

Para medir el volumen, el controlador Accuload III recibe una señal de entrada digital de pulsos desde medidor de desplazamiento positivo; y para controlar el flujo, manipula la apertura y cierre de las válvulas de control. Adicionalmente se encarga de enviar una señal discreta a un PLC Quantum que controla el encendido y apagado de las electrobombas.

### 1.2.3.1 Controlador Accuload III

El Smith Meter Accuload III es un computador dedicado basado en la tecnología multiprocesador que puede ser configurado de acuerdo a las necesidades de la aplicación.

Maneja uno o dos brazos de carga según sea necesario y también puede ser usado como instrumento para la mezcla de diferentes productos. Este dispositivo tiene la posibilidad de manejar diferentes programas de mezclado. Los parámetros que definen el flujo por cada brazo son programables a través del software *AccuMate III*.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Controlador ACCULOAD III
MARCA	SMITH METER
MODELO	ACCULOAD III
DATOS GENERALES	
TECNOLOGÍA	Multiprocesador
ENTRADAS DIGITALES	5 de 90 a 280 VAC, 6 de 5 a 28 VDC
SALIDAS DIGITALES	11 de 90 a 280 VAC, 3 de 24 VDC
PUERTOS DE COMUNICACIÓN	ETHERNET 10 /100 BASE TRJ-45
PROCESAMIENTO	Algebraico / Booleano
CORRECCIÓN DE DENSIDAD	Compensación por presión y temperatura
TEMPERATURA MÍNIMA	-40 ° F
TEMPERATURA MÁXIMA	140 ° F
VOLTAJE	De 110 VAC a 240 VAC
FRECUENCIA	48 a 63 HZ
IMAGEN	
	

Tabla 1.8. Tabla de especificaciones controlador Accuload III

### 1.2.3.2 Válvula Digital Electro – Hidráulica Modelo 210

La válvula de la marca Smith Meter Inc modelo 210 está compuesta por una válvula modelo 200 junto con dos solenoides, un normalmente abierto (NO) y un normalmente cerrado (NC); para realizar el control de apertura o cierre.

En la Figura 1.5. se muestra la disposición del lazo de control. El solenoide normalmente abierto está colocado en la posición aguas arriba, mientras que el solenoide normalmente cerrado está en posición aguas abajo.

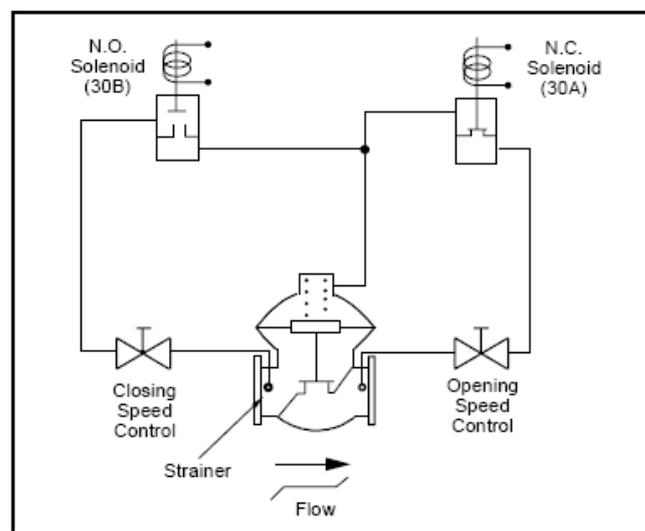


Figura 1.5. Esquema de la válvula modelo 210<sup>1</sup>

La válvula se abre cuando se energizan los dos solenoides, ya que la presión corriente arriba del lazo de control es cerrada permitiendo al fluido desahogarse corriente abajo. Y viceversa, cuando los dos solenoides se des energizan la presión río arriba del lazo de control cierra la válvula.<sup>1</sup>

Si se energiza solamente el solenoide normalmente abierta el fluido permanece dentro de la tapa de la válvula y el flujo permanece constante hasta que las condiciones de operación cambien y el controlador cambie las condiciones de flujo.

<sup>1</sup> Valves Model 210 Digital Electro-Hydraulic Set-Stop Specifications, 1996-10.

Con el objetivo de mejorar la tasa de apertura y cerrado de la válvula, existe un dispositivo de control de respuesta, que en este caso es una válvula de bola. Adicionalmente ésta válvula permite ajustar el control dependiendo de la presión y viscosidad del producto.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Válvula digital electro-hidráulica
MARCA	SMITH METER
MODELO	210
<b>DATOS GENERALES</b>	
VISCOSIDAD MÁXIMA	40 mPa-s
TEMPERATURA MÍNIMA	-20 ° F
TEMPERATURA MÁXIMA	65 ° C
VOLTAJE DE SOLENOIDES	120 / 240 / 480 VAC -15 % 12 / 24 VDC
PRESIÓN ESTANDAR	115 PSI
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.9. Tabla de especificaciones controlador Accuload III

### 1.2.3.3 Medidor de Desplazamiento Positivo F4-21

El medidor de Smith Meter Inc modelo F4-S1 es un medidor de desplazamiento positivo de 4 pulgadas. Entre las aplicaciones de este medidor se encuentran: mezcla, distribución, control de inventario y transferencia de custodia de petróleos. Una de las características más sobresalientes de este medidor es que no perturba el flujo mientras este es medido. El medidor envía hacia el Accuload 200 pulsos por cada galón que han pasado por él.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Medidor de desplazamiento positivo
MARCA	SMITH METER
MODELO	F4 – S1
<b>DATOS GENERALES</b>	
TASA MÁXIMA DE FLUJO CONTÍNUA	600 GPM
TASA MÁXIMA DE FLUJO INTERMITENTE	720 GPM
VISCOSIDAD MÁXIMA	400 mPa - S
TEMPERATURA MÍNIMA	-20 ° F
TEMPERATURA MÁXIMA	150 ° F
PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA	150 PSI
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.10. Tabla de especificaciones medidor de desplazamiento positivo modelo F4-S1.

### 1.2.3.4 Filtro de Tubería

Los componentes de un sistema de medición necesitan protección contra posibles daños producidos por suciedades y escombros. Los filtros de Smith Meter proveen esta protección para aplicaciones con medidores de turbina y desplazamiento positivo de 4 ó más pulgadas.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Filtro de tubería
MARCA	SMITH METER
MODELO	De 4 pulgadas
DATOS GENERALES	
TEMPERATURA MÍNIMA	-20 ° F
TEMPERATURA MÁXIMA	500 ° F
PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA	285 mPa - S
CAÍDA DE PRESIÓN	2.5 PSI
ÁREA ABIERTA	40%
IMAGEN	
	

Tabla 1.11. Tabla de especificaciones de filtro de tubería

### 1.2.4 Centro de Control de Motores (MCC)

En el MCC se encuentran los diferentes equipos de control, protección y comunicación para el sistema de despacho de los combustibles. Un PLC central Quantum, con sus diferentes módulos, se encarga de la lógica de control general a tiempo real. Mediante una comunicación Modbus, Modbus plus y Ethernet, coordina diferentes acciones de supervisión y control con variadores, PLCs Momentum, Unidades Terminales Remotas, PC y un touch panel.

### 1.2.4.1 PLC Modicom TSX Quantum

El controlador lógico programable principal cuenta con 6 módulos de entradas, salidas, comunicación, alimentación y CPU cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 1.12.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Controlador Lógico Programable
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
MODELO	QUANTUM
<b>DATOS GENERALES DE MÓDULOS</b>	
<b>140 CPU 113 03 CONTROLLER X 1</b>	
SOFTWARE	CONCEPT Y PROWORX
CAPACIDAD DISCRETA	8192 entradas y salidas máximas
CAPACIDAD REGISTRO	9999 máxima
MAX I/O PALABRAS (LOCAL)	64 entradas y salidas.
MAX I/O PALABRAS (REMOTO)	64 entradas y salidas.
MODBUS (RS-232)	1 puerto serial (9 PINES)
MODBUS PLUS (RS-485)	1 puerto de red (9 PINES)
TAMAÑO SRAM	256 K
REGISTROS VALIDOS	10 K
<b>140 NOM 211 00 MODBUS PLUS X 1</b>	
PUERTO RS-485 RED MODBUS PLUS	1 (conector 9 pines)
PUERTO RS-232 RED MODBUS	1 (conector 9 pines)
VOLTAJE DE ENTRADA	125/230 VAC
RANGO DE FRECUENCIA	47 A 63 Hz
I/O	30 palabras de entrada 30 palabras de salida
CANALES DE COMUNICACIÓN	1 PAR TRENZADO; 1 MODBUS
CORRIENTE BUS REQUERIDA	780 mA
<b>140 DAI 540 00 115 VAC IN X 4</b>	
VOLTAJE DE ENTRADA	115 VAC
CANALES	16
CORRIENTE BUS REQUERIDA	180 mA.
RANGO DE FRECUENCIA	47 A 63 Hz
LÍMITE DE ENTRADA ACTIVO	79 A 132 VAC, 13,2 mA máx
LÍMITE DE ENTRADA INACTIVO	0 A 20 VAC
TIEMPO DE RESPUESTA ON-OFF	Mínimo 4.9 ms; Máximo 0.75 por ciclo

TIEMPO DE RESPUESTA OFF-ON	Mínimo 7.3 ms; Máximo 12.3 ms
<b>140 DRA 840 00 RELAY OUT X 2</b>	
TIPO	RELES N. A.
CANALES	16
CORRIENTE BUS REQUERIDA	1100 mA.
CORRIENTE DE CARGA	2 A máximo
VOLTAJE NOMINAL	20 A 250 VAC; 5 A 30 VDC A MAX CARGA
TIEMPO DE RESPUESTA ON-OFF	máximo 20 ms
TIEMPO DE RESPUESTA OFF-ON	máximo 10 ms
<b>140 NOE 771 11 FACTORY CAST</b>	
CANAL DE COMUNICACIÓN	1 10/100 BASE-TX RED ETHERNET
CONECTOR	RJ 45
CORRIENTE BUS REQUERIDA	750 mA.
<b>140 CPS 114 10 PS 115/230 VAC</b>	
VOLTAJE DE ENTRADA	125 / 230 VAC
CORRIENTE DE ENTRADA	1.1 / 0.6 A
FRECUENCIA	45 A 60 Hz
PROTECCIÓN EXTERNA	Fusible de 2.0 A con retardo
SALIDA DE VOLTAJE	5,1 VDC
CORRIENTE MÁX DE SALIDA	8 A a 60° C

**IMAGEN**

Tabla 1.12. Tabla de especificaciones módulos PLC Quantum.

### 1.2.4.2 PLC Modicom TSX Momentum

Está conformado por un módulo base de entradas - salidas discretas y un adaptador de procesador ó adaptador de comunicación que se encarga de controlar el funcionamiento de los actuadores tanto de los tanques como el patio de bombas. Mientras que, en los brazos de carga solo se encuentran los módulos base como unidades terminales remotas (TIO). Para el control de actuadores se utiliza dos tipos de bases 170ADM54080 - 170ARM37030 para tanques y patio de bombas respectivamente, con un adaptador de procesador 171CCC78010.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	PLC MODICON TSX MOMENTUM (BASE I/O Y ADAPTADOR)
MARCA	SCHNEIDER TELEMECANIQUE
<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>BASE I/O TSX MOMENTUM</b>	
MODELO	170 ARM 370 30
RANGO DE FRECUENCIA	47 – 63 Hz
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	120 VAC
CONSUMO DE CORRIENTE	Máximo. 250 mA
TIPO DE ENTRADA	IEC 1131 TIPO 1 +
VOLTAJE DE SALIDA	24...230 VAC 20...115 VDC
TIPO DE SALIDA	RELÉ (Normalmente abierto)
NÚMERO DE PUNTOS	1 x 10 entrada 1 x 8 salida
TIEMPO DE RESPUESTA	OFF-ON 2.2 ms IN, <10 ms OUT ON-OFF 3.3 ms IN, <10 ms OUT
<b>BASE I/O TSX MOMENTUM</b>	
MODELO	170 ADM 540 80
RANGO DE FRECUENCIA	47 – 63 Hz
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	120 VAC
CONSUMO DE CORRIENTE	MÁX. 125 mA
TIPO DE ENTRADA	IEC 1131 TIPO 1 +
VOLTAJE DE SALIDA	24...230 VAC 20...115 VDC
TIPO DE SALIDA	RELÉ (normalmente abierto)
NÚMERO DE PUNTOS	1 x 6 entrada 1 x 3 salida
TIEMPO DE RESPUESTA DE ENTRADAS	Máximo 1 ciclo de línea
TIEMPO DE RESPUESTA DE SALIDAS	Máximo 0.5 de un ciclo de línea
PUERTO MODBUS	9600, 19200 Baudios , Paridad: Par
MODO/ BITS DE DATOS	RTU de 8 Bits, ASCII de 7 Bits
DIRECCIÓN MODBUS	0 A 247
<b>ADAPTADOR DE PROCESADOR</b>	
MODELO	171 CCC 780 10
MEMORIA RAM	512 Kbit

MEMORIA FLASH	512 Kbit
MEMORIA DE PROGRAMA	240 Kbit
REGISTROS	26032
VALORES BINARIOS	8192 referencias 0 X 1 X
APROBACIONES	UL 508, FM CLASE I DIV II
MEMORIA DE DATOS	24 Kbit
MEMORIA DE USUARIO	18 K palabras
VELOCIDAD DE RELOJ	32 MHz
PUNTOS I/O	8192
FUENTE DE PODER	La fuente de poder del tablero alimenta las bases I/O
PUERTOS DE COMUNICACIÓN	2 puertos Modbus

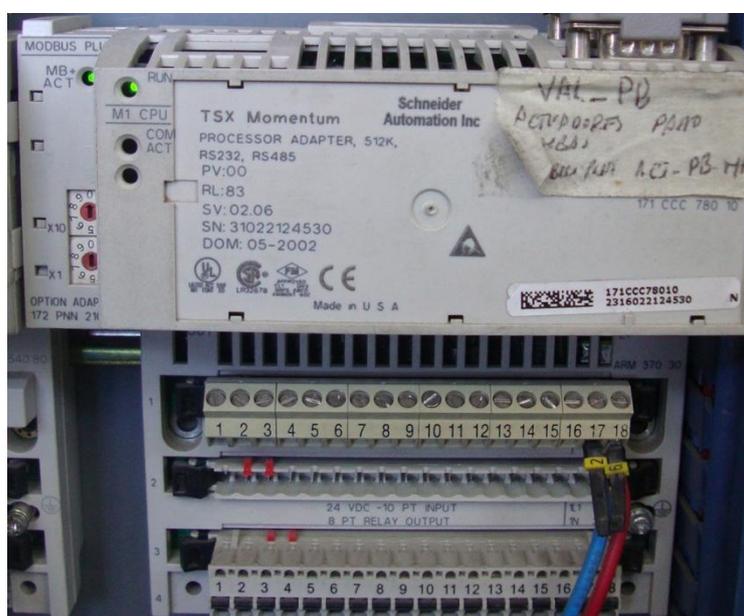


Tabla 1.13. Tabla de especificaciones PLC Modicom TSX Momentum (Base I/O y Adaptador).

### 1.2.4.3 Touch Panel MAGELIS

La terminal gráfica HMI MAGELIS XBT-G 4330 se encuentra montada en un armario en el Centro de Control de Motores. Se utiliza el puerto de comunicación Ethernet 10-Base T, con conector RJ-45. La terminal gráfica se conecta con el módulo 140 NOE 771 11 del PLC Quantum directamente mediante un cable UTP categoría 6 cruzado.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Terminal gráfica táctil MAGELIS
MARCA	SCHNEIDER TELEMECANIQUE
<b>DATOS GENERALES</b>	
MODELO	XBT G4320
DISPLAY	LCD A COLOR CON PANTALLA TOUCH DE 5.7"
CAPACIDAD DE MEMORIA	8 Mb EN MEMORIA EPROM PARA APLICACIÓN, 512 Kb DE SRAM
NÚMERO MÁXIMO DE PÁGINAS EN APLICACIÓN	720 en aplicación 512 en alarmas
VARIABLES POR PÁGINA	64
REPRESENTACIÓN DE VARIABLES	ALFANUMÉRICA BITMAP BARGRAPH Indicador Potenciómetro Selector
RECETAS	125 registros máximos CON 5000 VALORES MÁXIMO
CURVAS	16
RELOJ EN TIEMPO REAL	ACCESO AL RELOJ DEL PLC
PUERTO DE COMUNICACIÓN	RS 232 C / RS 485 / RS 422
PROTOCOLOS DESCARGABLES	UNI – TELWAY, MODBUS, AEG Y PARA MARCAS DE PLC: ALLEN BRADLEY, GE FANUC, OMRON, SIEMENS
REDES Y BUS	MODBUS PLUS FIPIO/FIPWAY ETHERNET 10/100 TCP/IP
PUERTO DE IMPRESORA	RS 232 C
SISTEMA OPERATIVO	MAGELIS Vijeo Designer
ALIMENTACIÓN	24 VDC
CONSUMO	28 W
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	0 – 50° C
PROCESADOR	CPU 100 MHz RISC
SEÑALIZACIÓN	1 LED, VERDE NORMAL, NARANJA SI RETROILUMINACIÓN ES DEFECTUOSA
RESOLUCIÓN	640 X 480 PÍXELES (VGA)
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 1.14. Tabla de especificaciones terminal gráfica táctil MAGELIS

#### 1.2.4.4 Variador de velocidad Altivar 61

El variador de velocidad es un dispositivo electrónico capaz de variar la velocidad y el torque de motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. El equipo se encuentra montado en un armario en el Centro de Control de Motores; el cual es seleccionable para las 5 electrobombas de gasolina Extra.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Variador de Velocidad
MARCA	SCHNEIDER TELEMECANIQUE
DATOS GENERALES	
MODELO	ALTIVAR 61 (ATV 61)
TIPO	UL TIPO 12/IP54
RANGO DE POTENCIA	0.75 A 30 kW
VOLTAJE	380 / 480 V trifásico
PESO	36 KG.
POTENCIA	40 HP
FRECUENCIA DE SALIDA	0.5 A 200 Hz
TIPO DE CONTROL PARA MOTOR ASINCRÓNICO	Control vectorial de flujo
NÚMERO DE FUNCIONES	50
NÚMERO DE VELOCIDADES PRECONFIGURADAS	8
NÚMERO DE ENTRADAS ANALÓGICAS	1
NÚMERO DE ENTRADAS LÓGICAS	3
NÚMERO DE SALIDAS RELÉ	2
TIPO DE COMUNICACIÓN	MODBUS
IMAGEN	
	

Tabla 1.15. Tabla de especificaciones de controlador variador de velocidad

### 1.3 Red de Datos

Las redes de datos industriales facilitan el intercambio de datos en tiempo real, permiten el acceso a la información de manera permanente, sin necesidad de encontrarse a pie de planta. Adicionalmente estas redes permiten tener una mayor flexibilidad y escalabilidad en los procesos, lo cual hace posible una total integración.

Para la comunicación de los diferentes dispositivos del sistema de despacho, detallados en la infraestructura física, se utiliza una red industrial que agrupa los equipos en niveles jerárquicos especificados en la Figura 1.6.

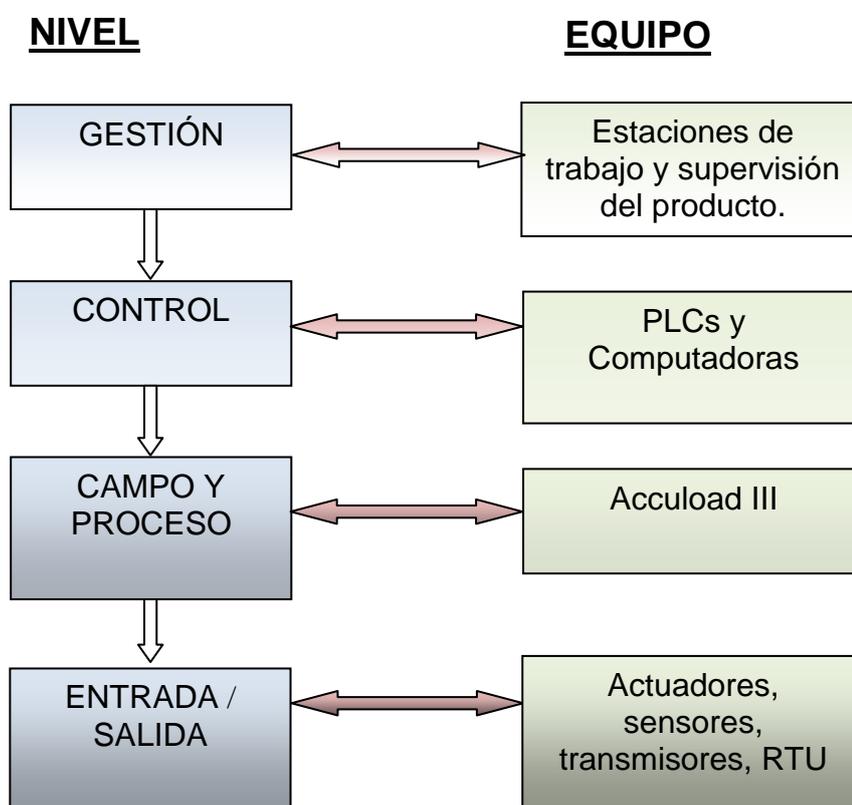


Figura 1.6. Niveles jerárquicos de la red industrial.

La interconexión entre niveles se realiza mediante topologías y protocolos estándar, por lo que también existen dispositivos que actúan como pasarelas.

### 1.3.1 Topología

Topología de red se refiere al modo geométrico en que se conectan los dispositivos de red, la topología en bus es la más utilizada industrialmente por su bajo costo de conexión de los dispositivos y su alta fiabilidad de integración; mientras que la topología en estrella todos los dispositivos de control se conectan directamente a un dispositivo central cuya desventaja radica en que la red depende únicamente de este dispositivo.

La red en el terminal utiliza una topología mixta entre distribución estrella y bus.

La topología en estrella se la puede encontrar en el nivel de gestión, se utiliza el protocolo Ethernet y un nodo central marca Cisco encargado de realizar los enlaces entre nodos. Están ubicadas en el cuarto de control que registran la operación del proceso de despacho de las diferentes islas de carga.

Mientras que la topología bus se la puede encontrar en los niveles de campo y control, donde los PLCs y variadores se conectan a través de Modbus Plus; los actuadores con PLC's Momentum a través de Modbus. En esta configuración todos los nodos se conectan a un solo bus de manera que todos los equipos pueden acceder a todas las señales. De esta topología se derivan los buses de campo, que son los distintos protocolos y estándares de comunicación que determinan el modo de acceso al medio, así como la manera en que intercambian datos.

Un bus de campo se puede considerar como un sistema que interconecta diferentes dispositivos de entrada/salida en el nivel de campo. La transmisión de datos se realiza en forma serial lo cual es una gran ventaja ya que reduce el cableado notablemente, además permite comunicación a tiempo real y alcance a largas distancias. Existen básicamente dos tipos de datos que transitan por el bus de campo, los datos de proceso y los mensajes. Los datos de proceso son las señales que actúan directamente sobre el sistema, por ende deben ser actualizadas a tiempo real y cíclicamente, por otro lado los mensajes son datos

que ajustan, monitorizan y programan a los dispositivos inteligentes; para esto no es necesario una actualización cíclica sino bajo requerimiento.

El control de acceso al medio determina la técnica que utiliza los dispositivos para recoger y depositar datos en la red física, de este depende la velocidad de transmisión, el tamaño de paquete de datos, y la transferencia o no a tiempo real. La técnica de control de acceso que se aplica en el terminal es:

- Paso de testigo (MODBUS PLUS): Los dispositivos pueden acceder al medio cuando tienen el testigo únicamente.
- Maestro / Esclavo (MODBUS): Un dispositivo maestro realiza una petición de información y los esclavos la envían. El número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos mas una estación maestra.

### **1.3.2 Protocolos de Comunicación**

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. La red industrial en el terminal está basada en tecnologías de arquitectura abierta, entre las cuales podemos distinguir:

- Señales discretas para el controlador Accuload III.
- Modbus para comunicación entre Actuadores y PLC's Momentum (Patio de bombas y tanques).
- Modbus Plus para comunicación entre PLC's (Quantum-Momentum, Quantum-TIO), y PLC con Variadores de Velocidad.
- Ethernet para la comunicación entre PC's y PLC con MAGELIS.

Para ver el esquema completo donde se detalla la topología de la red referirse al Anexo 1.

### **1.3.2.1 Modbus**

Modbus es un protocolo de comunicaciones que trabaja en la capa de aplicación del Modelo OSI y está basada en una arquitectura cliente – servidor la cual permite el control de los dispositivos de una red tales como RTUs, PLCs y computadores, mediante una transmisión asincrónica serial sobre un bus de comunicaciones tipo EIA-485. Las redes son accedidas por medio de puertos incorporados en los controladores, por adaptadores de red o gateways.

La ventaja de utilizar Modbus como protocolo de comunicación es su fácil implementación. Cada dispositivo de la red posee una dirección única y cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden, ya que todos los dispositivos reciben la trama de datos pero solo el destinatario ejecuta la orden. Mejoras a Modbus son los protocolos ModbusPlus y Modbus TCP, ambos permiten que la información Modbus sea encapsulada en una estructura de red para soportar comunicaciones punto a punto. Su distancia máxima es de 350 m.

Modbus Plus se comunica vía un simple par de hilos trenzados y usa una secuencia de paso de testigo para secuencias de comunicación por punto. Modbus TCP es un estándar abierto diseñado para facilitar la transferencia de mensajes Modbus usando el protocolo TCP/IP y estándares de redes Ethernet.

### **1.3.2.2 Modbus Plus**

Modbus Plus es una versión extendida del protocolo Modbus. El bus de la red usa un solo cable o un cable dual. El cable dual aumenta la protección contra las fallas del cable o ruido que puede aparecer en cualquier corrida del cable, permitiendo que ante la presencia de un problema la comunicación continúe por el camino libre de errores.

A 32 dispositivos nodo puede conectarse directamente el bus de red la cual puede cubrir una longitud de 450 metros. Es posible emplear repetidores para extender la distancia del cable a su máximo de 1800 metros, y el número de nodos a su

máximo de 64, a una tasa de transferencia de datos de 1 Mbps con tecnología de transmisión RS-485.

### **1.3.2.3 Ethernet**

Es el protocolo de red más reconocido internacionalmente y permite trabajar con grandes cantidades de información a una velocidad rápida. El número máximo de nodos que pueden ser conectados es de 1024, pero se puede incrementar con el uso de routers.

El protocolo que se utiliza para comunicar las computadoras ubicadas en la sala de control es Fast Ethernet ó Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) que es un estándar aplicado a redes LAN (Red de Acceso Local). El medio físico utilizado se define por el estándar 100 BASE-TX que funciona sobre un cable UTP categoría 5E (full-dúplex).

## **1.4 Descripción del proceso de despacho actual**

Las gasolinas provienen de la refinería de Esmeraldas y el Complejo Industrial Shushufindi; posterior al bombeo por diferentes estaciones llega al terminal el Beaterio, dónde se almacena, se despacha a los autotanques, y se bombea a los terminales de Riobamba y Ambato. Es importante aclarar que la gasolina Extra se la obtiene de la mezcla de gasolina Súper y Base, que se la produce en el terminal y también se la recibe de la refinería de Esmeraldas. En la Figura 1.7. se muestra el diagrama de flujo del producto perteneciente al Distrito Norte.

El proceso de bombeo actual es el siguiente:

Se cuenta con una configuración en paralelo para las electrobombas, es decir tiene un accionamiento secuencial. Cada brazo de carga opera con un flujo máximo de 500 GPM (teóricamente) y cada electrobomba según datos de placa 1000 GPM; su activación depende de la demanda, lo cual hace al sistema de activación aleatorio.

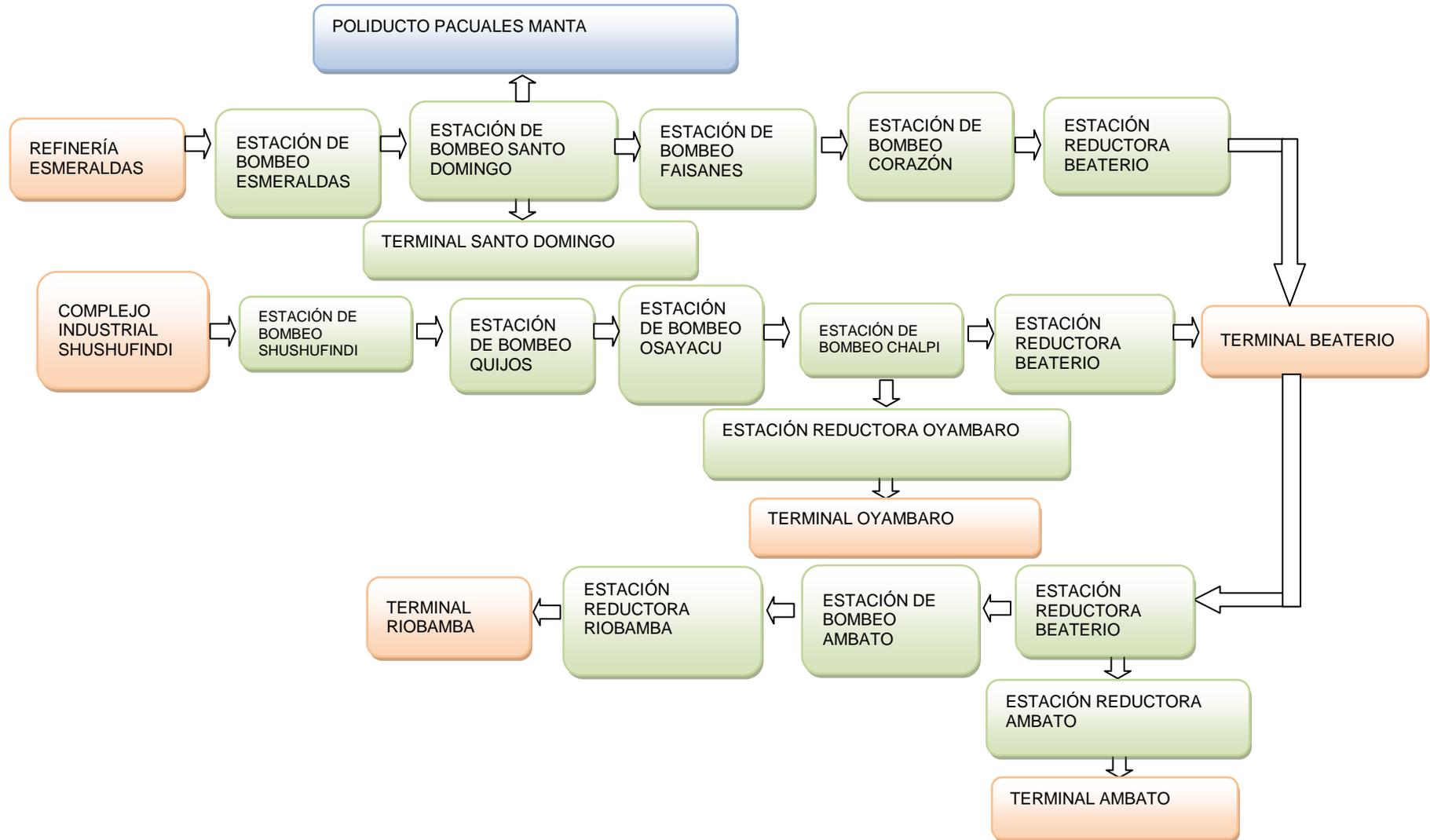


Figura 1.7. Diagrama de flujo del producto

Además, la activación de las electrobombas está condicionada por el conexasión físico de la tubería, ya que no todos los tanques tienen conexasión con todas las electrobombas. La selección del tanque que va a distribuir el producto, se realiza a través de una serie de válvulas (manuales y con actuador) que se encuentran a lo largo de las tuberías de distribución del combustible.

#### **1.4.1 Extra**

En Extra, al trabajar con el variador, por la activación de un brazo se enciende automáticamente una electrobomba a la velocidad de 1350 rpm que en la práctica permite, a ésta entregar 500GPM; mientras que por la activación de dos brazos, la electrobomba funciona con una velocidad de 1800 rpm; que es su velocidad nominal y le permite entregar 1000 GPM.

Si el sistema no cuenta con variador, por la activación de un brazo automáticamente enciende una electrobomba con arranque directo, el cual trabaja hasta con la activación del segundo brazo. Al activarse el tercero automáticamente se enciende la siguiente electrobomba.

Cabe recalcar que la condición de activación máxima es de 6 brazos con 3 electrobombas; configurada de la siguiente manera:

Funcionales:

- 1 electrobomba principal con variador.
- 2 electrobombas auxiliares con arranque directo.

No Funcionales:

- 1 electrobomba para mantenimiento.

### 1.4.2 Súper

Con respecto a Súper, su sistema de despacho es similar a Extra, con la única diferencia que no se cuenta con un variador, por ende solo existe arranques directos.

La condición de activación máxima es de 4 brazos con 2 electrobombas, configurada de la siguiente manera:

Funcionales:

- 1 electrobomba principal con arranque directo,
- 2 electrobombas auxiliares con arranque directo.

Es importante mencionar que la electrobomba 8 alimenta un único brazo que es el 1 y no existen electrobombas no funcionales.

## **CAPÍTULO II**

### **OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL**

Para optimizar el software de control del sistema de despacho de las gasolinas, en primer lugar se describe la lógica e interfaz actual. Posteriormente se presenta el algoritmo diseñado para cumplir con los objetivos planteados en la fase I y II del presente proyecto con su nueva interfaz Hombre - Máquina.

#### **2.1 Estudio del Sistema de Control Actual**

A continuación se procede con un estudio del sistema de control actual para despachar las gasolinas; se describe la lógica de control del PLC, la interfaz Hombre – Máquina, se detallan los problemas para diseñar el nuevo sistema de control, se organizan las variables antiguas y se crean nuevas para cumplir con los objetivos planteados en la fase I y reflejar condiciones actuales de funcionamiento.

##### **2.1.1 Gasolina Extra**

El software de control ha sufrido cambios desde el año 2008, acorde con nuevas adquisiciones de equipos, mejoras en la red, crecimiento de infraestructura, etc.

Entre los más destacados se puede citar:

- El incremento de 2 brazos de carga normal y 1 brazo de carga ventral.
- Implementación de comunicación redundante con Ethernet de dos controladores Accuload III.
- Reemplazo de actuadores por válvulas manuales y modificaciones de la tubería en el patio de bombas.

Es así que, se actualizó la lógica de control del PLC, sin una organización de variables, lo cual dificulta la comprensión del programa. De manera similar las interfaces HMI no reflejan dichos cambios por lo que generan confusión al operador.

El software que se utiliza para el sistema de despacho actual es:

- Programa PLC: Concept 2.6 de la empresa Modicom.
- HMI: INTOUCH 9.5 de la empresa Wonderware
- HMI: Vijeo Designer para touch panel MAGELIS de la empresa Schneider Electric.

La explicación del sistema se organiza de la siguiente manera: descripción de la lógica del controlador (interacción del PLC Quantum con Accuload III y variador Altivar 61), la HMI (INTOUCH y MAGELIS), descripción detallada de dificultades para diseñar el nuevo sistema de control, diseño del nuevo sistema de control, finalizando con un estudio y organización de todas las variables de interés, para que constituyan la base de la nueva lógica.

#### **2.1.1.1 Lógica actual del PLC**

Los parámetros que se utilizaron inicialmente para diseñar el sistema de despacho son los siguientes:

Funcionamiento de cuatro brazos de carga: el 1 - 2 que se encontraban en la isla de carga 1, y los brazos 5 - 6 que se encontraban en la isla de carga 2.

El combustible se almacena en los tanques ATNK – 010003, ATNK – 010007, ATNK – 010014 y ATNK – 010020.

Se cuenta con cinco electrobombas centrífugas con un flujo máximo de 1000 galones por minuto, a una velocidad máxima de 1800 revoluciones por minuto, de manera que como condición máxima entran en funcionamiento hasta dos electrobombas que abastecen los cuatro brazos de carga, pues se conoce que una electrobomba a velocidad máxima abastece hasta dos brazos.

El controlador Accuload III conjuntamente con el medidor de desplazamiento positivo y las válvulas electrohidráulicas en cada isla, se encargan de controlar el flujo y volumen despachado por cada brazo. El medidor de desplazamiento positivo envía 200 pulsos por cada galón que ha pasado y las válvulas son controladas a 120 VAC.<sup>2</sup> El flujo de combustible por cada brazo de carga se controla de acuerdo a la Figura 2.1.

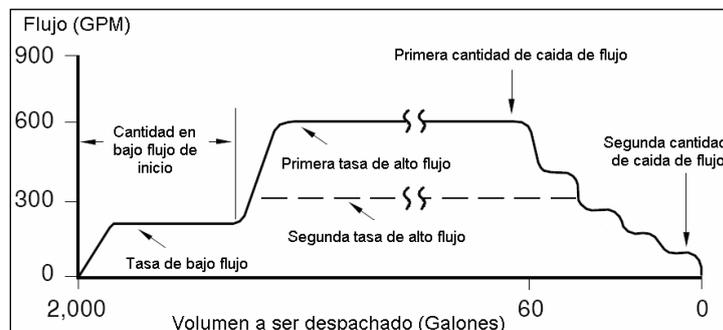


Figura 2.1. Flujo típico de producto a través de un brazo de carga<sup>1</sup>

En la Figura 2.1. se diferencian tres zonas de flujo que se usaron para el accionamiento de las electrobombas:

- Zona de bajo flujo

<sup>2</sup> Tomado de la tesis "Diseño e Implementación de un sistema de control para las bombas de despacho de gasolina extra en el terminal Beaterio de Petrocomercial"; Pablo Cañadas, Franklin Cañadas; 2008

- Zona de alto flujo
- Zona de parada

Para el control del accionamiento de las electrobombas se usa PLCs Momentum como Unidades Terminales Remotas (RTU) en cada isla de carga, que reciben señales discretas del Accuload III y mediante una red modbus plus son comunicadas a un PLC principal Quantum. Para una mejor comprensión referirse al Anexo 1. Diagrama de red comunicación Beaterio.

Se utiliza un variador de velocidad para que la electrobomba funcione a 2 velocidades (1350 con 1 y 3 brazos, 1800 con 2 y 4 brazos), el mismo que es seleccionable para las 5 electrobombas, definiendo una configuración con una electrobomba como principal y hasta 3 como secundarias.

Para el accionamiento con arranque directo de los motores eléctricos se utiliza 5 contactores, que son activados mediante un módulo del PLC central con salidas discretas a 110 VAC. Con un selector se puede operar la electrobomba en modo local ó remoto; si está en modo local el encendido y apagado es con dos pulsadores.

Por otro lado para el variador de velocidad, se utiliza 8 entradas del PLC, de las cuales 5 activan un contactor de aislamiento a la vez, para el encendido de la electrobomba y 3 entradas para conocer el estado del variador (falla; manual, automático ó fuera; encendido ó apagado).

Las 5 salidas del PLC para encender contactores de aislamiento cuentan con bloqueos físicos para evitar el encendido de contactores de aislamiento y arranque directo al mismo tiempo. La Figura 2.2. muestra lo descrito y para mayor detalle referirse a las conexiones motor-variador del Anexo 7, Plano 5.

Cabe recalcar que, el PLC Quantum además comanda la velocidad de funcionamiento del variador, el encendido, tiempos de aceleración como desaceleración, estado, y cual electrobomba debe funcionar con el driver.

Cuando la electrobomba se encuentra en modo automático y está seleccionada como principal funciona con el variador de velocidad y las demás con arranque directo.

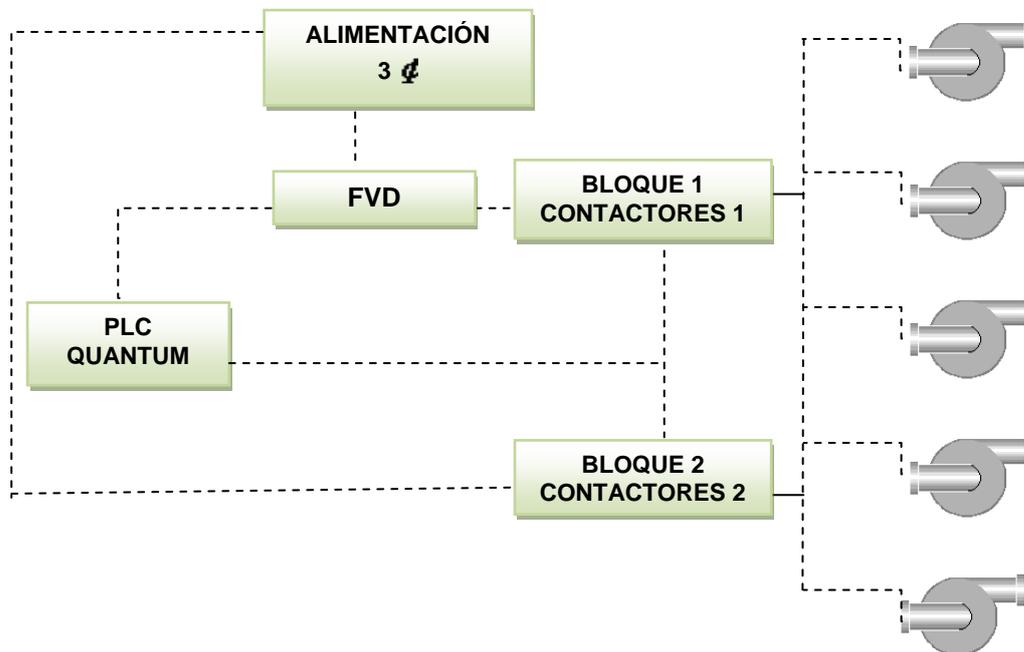


Figura 2.2. Configuración electrobombas - variador de velocidad.

Los ítems que constituyen la base de la antigua lógica del PLC para el sistema de despacho de gasolina Extra son los siguientes:

- Configuración del operador mediante interfaz HMI en INTOUCH de una electrobomba principal y una electrobomba auxiliar.
- Determinación del flujo necesario para el despacho mediante la suma de entradas digitales enviadas por el Accuload III.
- Selección del producto que se va a despachar por cada brazo de carga, pero posterior a las modificaciones en la infraestructura de las islas de carga se eliminó dicha selección y se designó brazos fijos para cada combustible.
- Para el control de accionamiento de las electrobombas, primeramente se realizó acorde al Accuload III, y posterior al incremento de brazos de carga de acuerdo a la suma de los brazos activados.
- Para el encendido de las electrobombas mediante arranque directo se asegura:

- La apertura de las respectivas válvulas, físicamente ó mediante bypass.
  - Activación del contactor de arranque directo.
  - Que el selector de operación este en remoto.
  - Que no haya saltado el relé térmico de sobrecarga.
  - Que la bomba ó motor no se encuentre en mantenimiento.
  - Que el sistema no esté en emergencia.
  - Que exista voltaje en la línea.
- f) Para el encendido de la electrobomba con el variador de velocidad se verifica primeramente que al menos se active un brazo de carga, que las respectivas válvulas estén abiertas y que el contactor de aislamiento de la electrobomba designada como principal se encuentre activado mientras que el contactor de arranque directo esté bloqueado.

#### **2.1.1.1.1 Configuración del Peer Cop**

El Peer Cop en una red Modbus Plus es usado para el intercambio de datos entre el PLC principal, el variador de velocidad y RTU's, para lo cual; el Peer Cop toma los datos de un rango de referencia de un PLC origen y los coloca a través de la red en un determinado rango de referencia de un PLC destino. Existen dos tipos de intercambio de datos:

- Intercambio de datos global: Los datos enviados por el PLC origen son recibidos por todos los PLC destino que se encuentren en la red. De esta manera, pueden llegar hasta a 64 equipos de destino.
- Intercambio de datos específico: Los datos del PLC origen se envían al PLC de la red que se ha seleccionado como destino específico. Para lo cual, en los participantes de origen y de destino se indica la dirección en una tabla para el intercambio de datos.

El Peer Cop está configurado de la siguiente manera:

- En la Unión 0 (CPU), como mensajes globales de entrada se reciben datos de funcionamiento así como el estado de los variadores de velocidad de Diesel 2 (campos 7, 8) y de gasolina Extra (campo 9). No está configurado ningún mensaje global como salida.

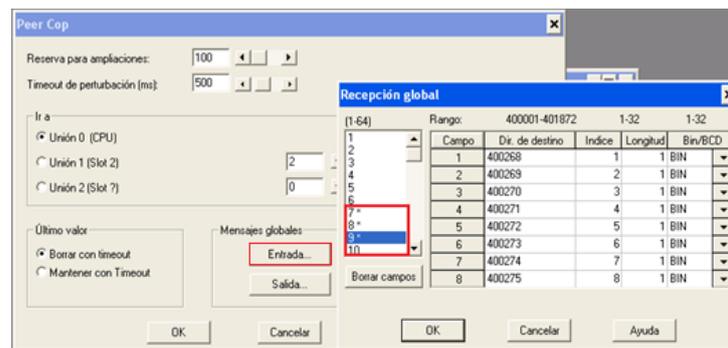


Figura 2.3. Mensajes globales de entrada (Unión 0 CPU) al PLC Quantum desde el Variador de Gasolina Extra.

Los mensajes globales enviados desde el variador de velocidad de gasolina Extra al PLC Quantum y sus respectivas direcciones, se muestran en la Tabla 2.1.

Variable	Dirección en el Variador de velocidad	Dirección en el PLC	Tipo de variable
STATUS VARIADOR EXTRA	3201	400268	WORD
VELOCIDAD_FVD_EXTRA	8604	400269	WORD
CORRIENTE_FVD_EXTRA	3204	400270	WORD
VOLTAJE_FVD_EXTRA	3208	400271	WORD
POWER_FVD_EXTRA	3211	400272	WORD
TORQUE_FVD_EXTRA	3205	400273	WORD
TIEMPO_TOTAL_OPERACION	5243	400274	WORD
COD_FALLA_EXTRA	7121	400275	WORD

Tabla 2.1. Mensajes globales de entrada al PLC Quantum desde el variador de velocidad de gasolina Extra.

- En la Unión 0 (CPU), se reciben de las particiones fuente 3, 4, 5 y 6 las variables tipo palabra como mensajes directos, pertenecientes a las entradas

de las RTU's 4, 5,6 y 7 ubicadas en las Islas de carga, mismas que identifican el número de brazo de carga activado.

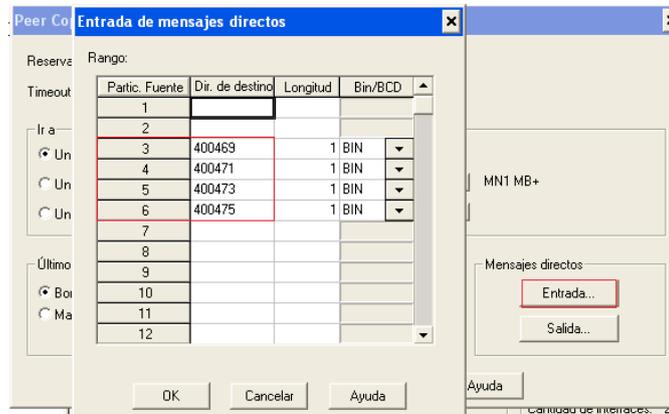


Figura 2.4. Mensajes directos de entrada (Unión 0 CPU) recibidos desde las RTU's 4, 5,6 y 7.

- Se envían a los participantes destino 3, 4, 5, 6 (RTU's 4, 5, 6, 7) en la Unión 0 (CPU) como mensajes directos, una variable que activa ó desactiva la calibración de los medidores para mantenimiento en las islas de carga. Para los participantes destino 7,8 y 9 (variadores de Diesel2 y variador de Extra) se envían las respectivas palabras de control de encendido y frecuencia.

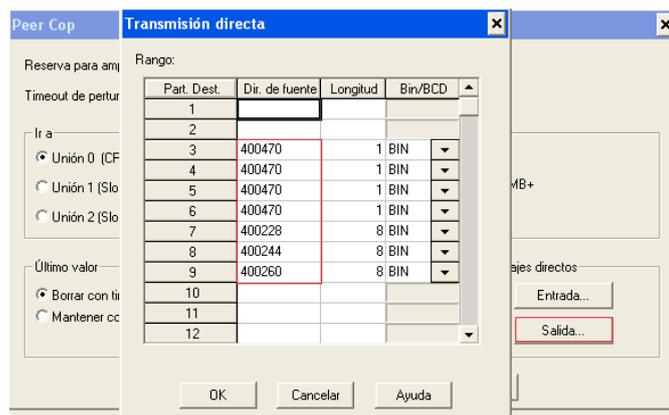


Figura 2.5. Mensajes directos de salida (Unión 0 CPU) enviados a las RTU's 4, 5,6 y 7 y variadores de velocidad de Diesel2 y Extra.

- En la Unión 1 (Slot 2), conFigurados como mensajes directos de entrada, se reciben desde las particiones fuente 3, 4 y 5 (PLC's Momentum del patio de bombas y tanques de almacenamiento) las palabras de estado de los actuadores.



Figura 2.6. Mensajes directos de entrada (Unión 1 Slot 2) recibidos desde los PLC's Momentum del patio de bombas y tanques de almacenamiento.

- Se envían a los participantes destino 3,4,5 en la Unión 1 (Slot 2) como mensajes directos la palabra de control para arranque de electrobombas de Jet Fuel y palabras de control hacia los actuadores ante un paro de Emergencia.

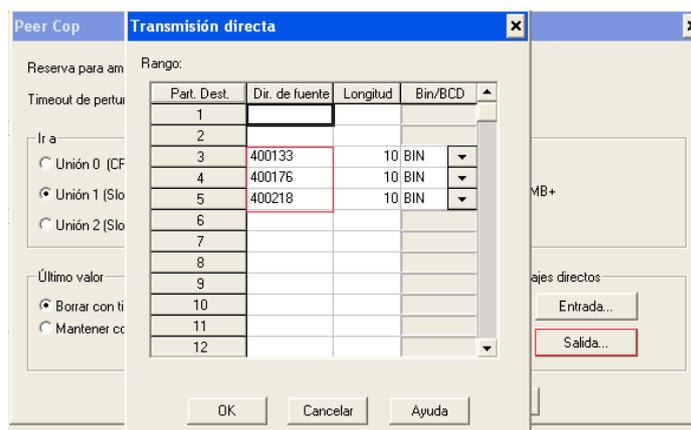


Figura 2.7. Mensajes directos de salida (Unión 1 Slot 2) enviados a Jet Fuel y actuadores.

### 2.1.1.2 Interfaz Hombre – Máquina

La interfaz Hombre – Máquina está implementada en una PC ubicada en la sala de control mediante el software INTOUCH de la empresa Wonderware; y en un touch panel MAGELIS ubicada en el Centro de Control de Motores, software de la empresa Schneider Electric.

#### 2.1.1.2.1 HMI en INTOUCH

En la interfaz Hombre-Máquina implementada en INTOUCH se monitorea: la operación de los combustibles (gasolina Extra, gasolina Súper, Diesel2, Diesel Premium) desde los tanques de almacenamiento hasta los brazos de carga del producto; estado y datos de funcionamiento de los equipos (variador, electrobombas, actuadores de las válvulas) y datos técnicos de los tanques de almacenamiento. Para gasolina Súper no existe la ventana de operación.

La ventana anterior de operación de gasolina Extra se muestra en la Figura 2.8.

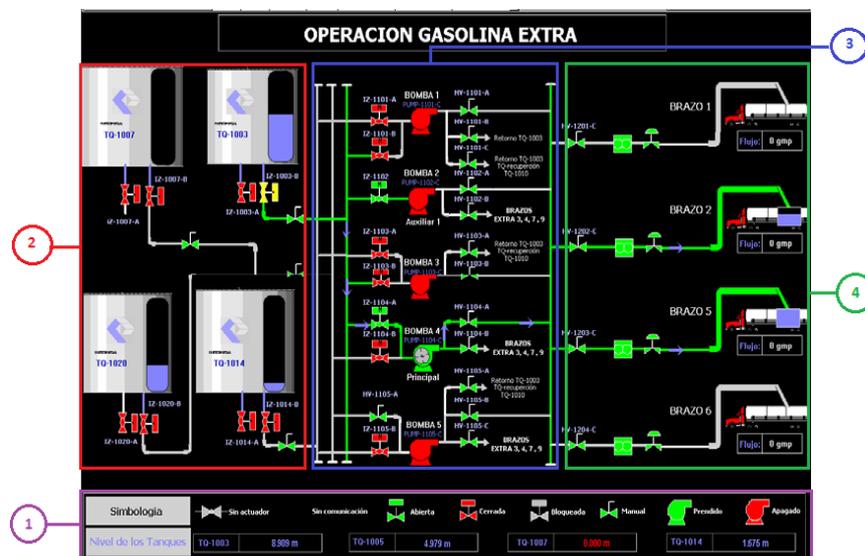


Figura 2.8. Pantalla antigua de operación gasolina extra de la HMI INTOUCH<sup>2</sup>

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Simbología-Niveles de tanques	Muestra simbología de estado de los actuadores de las válvulas (sin actuador, con comunicación, abierto, cerrado, bloqueado, manual) y bombas (prendido, apagado) y niveles de los tanques de gasolina Extra (TQ: 3, 7, 14, 20).
2	Tanques de almacenamiento	Muestra la identificación y nivel de los tanques, además el estado de los actuadores de las válvulas.
3	Patio de bombas	Presenta la animación e identificación de la tubería, actuadores y bombas. Indica la configuración de la bomba como principal ó auxiliar.
4	Brazos de carga	Muestra la animación y flujo de los brazos de extra (1, 2, 5, 6). Además la representación de la válvula de control, filtro y medidor de desplazamiento positivo ubicados en las islas de carga.

Tabla 2.2. Detalle de la pantalla antigua de operación gasolina extra de la HMI INTOUCH.

### 2.1.1.2.2 HMI en Touch Panel MAGELIS

La terminal gráfica MAGELIS fue desarrollada para permitir la configuración de bombas y supervisar el despacho y se encuentra ubicada en el Centro de Control de Motores. El software usado para programar el touch panel MAGELIS es Vijeo-Designer de la empresa Schneider Electric. A continuación se presentan las Figuras de interés para el proyecto, con las pantallas del sistema y su respectivo detalle en la tabla.



Figura 2.9. Pantalla antigua configuración bombas extra de la HMI MAGELIS<sup>2</sup>

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Configuración bombas de extra	Permite designar a las bombas de gasolina extra como principal, auxiliar 1, auxiliar 2, ó auxiliar 3.

Tabla 2.3. Detalle de la pantalla antigua configuración bombas extra de la HMI MAGELIS.

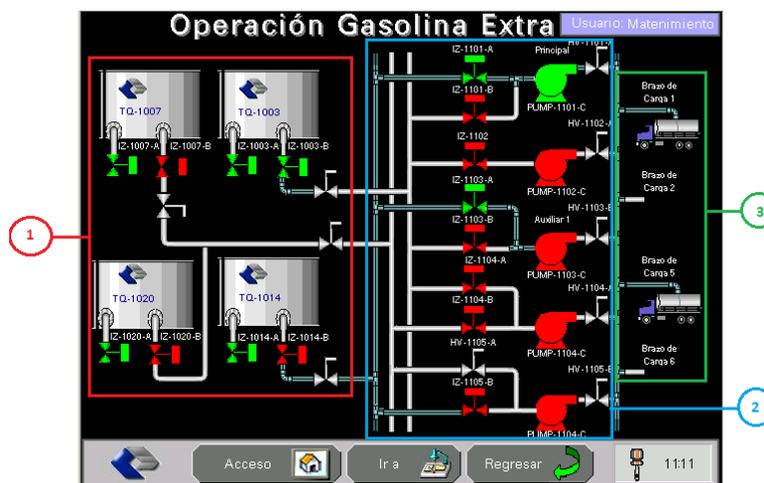


Figura 2.10. Pantalla antigua operación extra de la HMI MAGELIS<sup>2</sup>

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Tanques de almacenamiento	De similar manera que en INTOUCH muestra la identificación de los tanques, con sus respectivos actuadores de las válvulas de entrada y salida.
2	Patio de bombas	Muestra la identificación de las bombas y actuadores.
3	Brazos de carga	Muestra los brazos de carga de extra con su respectiva animación.

Tabla 2.4. Detalle de la pantalla antigua operación extra de la HMI MAGELIS.

### 2.1.1.3 Descripción del problema

Se han detectado los siguientes inconvenientes para el diseño del sistema de control para la Fase I:

- El sistema de despacho de gasolina Extra está conformado por 4 tanques de almacenamiento: FTNK – 010003, FTNK – 01007, FTNK – 010014 y FTNK – 010020; 5 electrobombas, desde la número 1 a la 5, y 7 brazos de carga (4,

5, 9, 11, 19 y 22); es decir se necesita agregar en la HMI 3 brazos de carga, 2 de carga normal y 1 de carga ventral.

- Como se puede observar en la Figura 1.4., no todas las electrobombas pueden bombear desde todos los tanques de almacenamiento y tampoco hacia todos los brazos de carga, aspecto que el sistema actual no considera en la lógica del PLC ni presenta en la HMI. Además el personal de despacho desde la HMI selecciona la configuración de las electrobombas (Principal, Auxiliar1, Auxiliar2, Auxiliar3) de manera manual sin considerar tiempos de operación ni conexiones tanque-electrobomba.
- El personal de mantenimiento del terminal requiere que las electrobombas operen de manera equilibrada (similar número de horas) con el objetivo de normalizar las tareas que se realizan para el mantenimiento de las electrobombas, para esto el programa del PLC debe configurarlas automáticamente como principal ó auxiliares acorde a sus contadores de tiempo de operación, por lo que se debe diseñar un contador de horas con un límite de tiempo y condiciones de reinicio.
- Se requiere que el personal de despacho únicamente seleccione a la electrobomba como Disponible, Mantenimiento ó Fuera, y que el sistema automáticamente las configure como principal ó auxiliar únicamente si está como Disponible.
- Para cuando se realice el cambio de tanque de despacho ó configuración de las electrobombas se necesita detener completamente el despacho de Extra. Para lo cual los jefes de patio coordinan con los despachadores y operadores el paro del sistema de manera manual provocando una espera de tiempo considerable.
- Actualmente la velocidad del driver se controla a través del número de brazos de carga activados, sin considerar la presión de la tubería. Por ende, se requiere controlar la velocidad del driver, mediante un equipo transmisor de presión y un controlador que aumente la eficiencia del sistema.

- Para las interfaces Hombre Máquina de INTOUCH y MAGELIS se requiere re-nombrar a los equipos, brazos, electrobombas y tanques acorde al manual de identificación 2010 para el terminal el Beaterio. Las pantallas no muestran condiciones actuales de funcionamiento con respecto a la tubería y se necesita mejorar la presentación de las pantallas con un diseño moderno.

#### 2.1.1.4 Diseño del sistema de control para la Fase I

Para una mejor comprensión se decide organizar todos los registros y marcas del programa con intervalos de direcciones definidas para cada electrobomba, que se muestran en figuras a lo largo del presente capítulo. Su formato se representa como en la Tabla 2.5.

VARIABLES	FORMATO
Marcas	M_0XXX
Registros de Escritura	RR_0XXX
Registros de Lectura	RW_0XXX
Registros de Escritura y Lectura	RWR_0XXX

Tabla 2.5. Formato de organización de variables.

El programa debe ser diseñado para resolver las consideraciones expuestas en la descripción del problema, con respecto a la lógica del PLC se toma en cuenta 4 puntos:

1. **Actualización del número de brazos de carga.-** La condición actual del sistema de gasolina extra consta con la capacidad de realizar el despacho simultáneamente a través de 7 brazos de carga (4, 5, 8, 9, 11, 19 y 22), para esto el PLC debe recibir las señales de activación de los controladores Accuload en variables de tipo booleano y realizar el cambio a tipo entero para poder realizar operaciones aritméticas, estas variables se muestran en la tabla 2.6. En la HMI de INTOUCH y MAGELIS se agrega los 3 nuevos brazos de carga con sus respectivos datos de identificación y animación.

Variable	Brazo de carga	Dirección en el PLC	Tipo de variable
MED_4_L	4	000955	Booleano
MED_5_L	5	000956	Booleano
MED_8_L	8	000954	Booleano
MED_9_L	9	000951	Booleano
MED_11_L	11	000952	Booleano
MED_19_L	19	001026	Booleano
MED_22_L	22	001025	Booleano
MED_4	4	-	INT
MED_5	5	-	INT
MED_8	8	-	INT
MED_9	9	-	INT
MED_11	11	-	INT
MED_19	19	-	INT
MED_22	22	-	INT

Tabla 2.6. Variables de tipo booleano que reciben las señales de activación de brazos de carga desde el controlador Accuload y variables para la conversión a tipo entero.

- 2. Control de presión en la línea.-** Se requiere regular la presión de la tubería mediante la variación de la velocidad de la electrobomba; para ello se usa un dispositivo transmisor de presión, que envía una señal de corriente de 4 a 20 mA correspondientes a la presión existente de 0 a 120 PSI.

El dispositivo transmisor está conectado al variador de frecuencia y su señal es compartida a la red mediante el Peer Cop con el objetivo de que el PLC Quantum reciba la señal de presión y a través de un controlador determine la velocidad a la cuál debe trabajar la electrobomba principal.

En el caso de que exista alguna falla en el transmisor de presión la velocidad de la electrobomba principal únicamente debe depender del número de brazos activados.

- 3. Configuración automática de las electrobombas.-** Se conoce que cada electrobomba puede abastecer 2 brazos de carga y la condición máxima de trabajo es 7 brazos activados simultáneamente por lo que se requieren hasta 4 electrobombas encendidas, para esto la configuración de la secuencia de

encendido (principal, auxiliar 1, auxiliar 2 y auxiliar 3) se debe aplicar de manera automática cuando todas las electrobombas se encuentren detenidas. Para lo cual deben existir botones de Detener - Reiniciar despacho y asegurar que todas las electrobombas se apaguen, luego el programa del PLC debe ordenar de menor a mayor el tiempo de operación de las electrobombas que están disponibles y en ese orden seleccionar principal y auxiliares.

**4. Tiempos de operación.-** Es importante especificar límites de tiempo de funcionamiento con el fin de que todas las electrobombas operen en lo posible, el mismo número de horas de manera equilibrada; por esta razón se definen tres tipos de tiempo de operación:

- **Tiempo de Mantenimiento:** Corresponde el número de horas límite en el que es necesario realizar mantenimiento a la electrobomba y se lo determinó como 2000 horas en base al calendario respectivo del departamento de mantenimiento.
- **Tiempo de ciclo:** Es el número de horas límite de vigencia de la configuración de las electrobombas, al cumplirse este límite el PLC debe realizar un cambio de configuración. Posterior a una toma de datos de tiempos de operación de la electrobomba principal, se consideró que el cambio de configuración se debe realizar cada semana, lo que es equivalente a 50 horas de operación.
- **Tiempo de desfase:** Debido a que no todas las electrobombas pueden realizar el bombeo desde todos los tanques de almacenamiento ó por alguna razón se encuentran fuera de servicio, los tiempos de operación van a tener un desfase notable y en el caso de que éste sea considerable la electrobomba con el menor tiempo permanecerá como principal continuamente hasta recuperar el desbalance, por esta razón se consideró que 10 ciclos de trabajo ó 500 horas sea el límite de desfase ya que es el tiempo máximo que una electrobomba puede estar fuera de servicio.

Por ejemplo si una electrobomba no ha trabajado durante 500 horas, el momento que entra en operación, lo hará como principal hasta que el tiempo de desfase de alguna de las electrobombas restantes llegue a su límite, así en el próximo ciclo le corresponde como principal a otra electrobomba diferente.

Estos tiempos se acumulan a través de un contador de pulsos con una frecuencia de 0.3125 Hz que equivale a 1125 pulsos por hora. La Tabla 2.7. muestra el número de pulsos requeridos para cada tiempo de operación.

Tiempo de Operación	Número de pulsos	Número de horas
Tiempo de mantenimiento	2'250.000	2000
Tiempo de ciclo	56.250	50
Tiempo de desfase	562.500	500

Tabla 2.7. Horas y pulsos de los tiempos de operación.

Para las pantallas de la Interfaz Hombre-Máquina de INTOUCH y MAGELIS se requiere renombrar a los equipos, electrobombas, brazos y tanques acorde al manual de identificación para equipos e instrumentos que rige actualmente en el terminal.

Se necesita mostrar en la pantalla del diagrama de flujo de Extra, la tubería existente en el campo, presentar los nuevos brazos de carga y actuadores de las esferas por las que eventualmente se puede despachar la gasolina. Adicional, mostrar la nueva configuración de electrobombas y tanques, así como tiempos de operación y datos técnicos nuevos en las diferentes pantallas de los equipos. Presentar la interfaz para Detener y Reiniciar el despacho automáticamente y finalmente mejorar la presentación de las pantallas de la HMI con un diseño moderno.

#### 2.1.1.5 Estudio de las variables del sistema de control antiguo

En el Anexo 2 se presenta la lista de variables encontradas en las diferentes FBD' s del programa del PLC.

### 2.1.2 Gasolina Súper

Para gasolina Súper se cuenta con un sistema de control semejante al de gasolina Extra; la diferencia más importante radica en que no se cuenta con un variador de velocidad por ende solo existe arranque directo de 3 electrobombas para 4 brazos de carga. Además no se cuenta con una interfaz Hombre-Máquina en INTOUCH ni en el touch panel MAGELIS.

La explicación del sistema se organiza de la siguiente manera: descripción de la lógica del controlador, descripción de dificultades para diseñar el nuevo sistema de control, diseño del nuevo sistema de control, finalizando con un estudio y organización de todas las variables de interés, para que constituyan la base de la nueva lógica.

#### 2.1.2.1 Lógica actual del PLC

Los parámetros que se tomaron en cuenta inicialmente para diseñar el sistema de despacho son los siguientes:

- Funcionamiento de 3 brazos de carga normal (12, 15, 16) y un brazo de carga ventral (21) en la isla 3. Adicional un brazo de carga normal (1) en la isla 1.
- El combustible se almacena en los tanques ATNK – 010001, FTNK – 010012, ATNK – 010007 y ATNK – 010020. Como se puede observar los tanques 1007 y 1020 pueden despachar gasolina Extra y Súper; esto es por cuestiones de mantenimiento de tanques y mezclas.
- Se cuenta con 3 electrobombas centrífugas con un flujo máximo de 1000 galones por minuto, a una velocidad máxima de 1800 revoluciones por minuto, de manera que como condición máxima entran en funcionamiento hasta dos electrobombas (6 y 7) que abastecen cuatro brazos de carga (12, 15, 16, 21) y la electrobomba 8 únicamente abastece al brazo 1.

- Se cuenta con el computador de flujo Accuload III conjuntamente con el medidor de desplazamiento positivo y las válvulas electrohidráulicas en cada isla similar a gasolina Extra.

Los ítems que constituyen la base de la lógica se mencionan a continuación:

- a) Configuración de electrobombas como principal o auxiliar. Además de la selección de la electrobomba 8 para el brazo 1. Dicha configuración se asigna a un registro de escritura-lectura (RWR).
- b) Para el encendido de las electrobombas, se suma las entradas booleanas de los medidores que indican la activación de los brazos. Cuando se activa uno ó hasta dos brazos a la vez, se enciende la electrobomba principal. A la activación del tercero y hasta cuarto brazo, se enciende la electrobomba auxiliar. Cuando se activa el brazo 1, únicamente se enciende la electrobomba 8.

De manera similar que en gasolina Extra después de enviar la señal de encendido, se espera un tiempo de 10 segundos como máximo para activación del contactor, caso contrario salta una alarma, que al reconocerla, reinicia el encendido de la electrobomba.

Se asegura además:

- La apertura de las respectivas válvulas del patio de bombas.
- Activación del contactor de arranque directo.
- Que el selector de operación este en remoto.
- Que no haya saltado el relé térmico de sobrecarga.
- Que la bomba ó motor no se encuentre en mantenimiento.
- Que el sistema no esté en emergencia.
- Que exista voltaje en la línea.

### **2.1.2.2 Interfaz Hombre – Máquina**

No existe interfaz Hombre-Máquina para gasolina Súper en INTOUCH ni en el touch panel MAGELIS.

### **2.1.2.3 Descripción del problema**

Se ha detectado los siguientes inconvenientes para el diseño del sistema de control para la Fase I:

- El sistema de despacho de gasolina Súper está conformado por 2 tanques de almacenamiento: ATNK – 010001 y FTNK – 010012, 3 electrobombas, desde la número 6 a la 8, y 5 brazos de carga (1, 12, 15, 16 y 21). Como se puede observar en la Figura 1.5., las electrobombas 6 y 7 pueden bombear hacia todos los brazos excepto el 1, para este brazo está designada la electrobomba 8, por ende la configuración principal o auxiliar se debe alternar únicamente entre las electrobombas 6 y 7.
- De similar manera que en gasolina Extra no existe configuración automática de electrobombas (principal, auxiliar), por ende unas sufren más desgaste que otras.
- Para que la nueva configuración de electrobombas entre en funcionamiento se necesita que todas las electrobombas estén apagadas; y la logística para hacerlo toma un tiempo considerable por lo que sería conveniente hacerlo automáticamente desde la HMI.
- A diferencia de los demás combustibles que se despacha en el terminal, gasolina Súper no cuenta con HMI, por lo que existe confusión por parte de los operadores al monitorear el proceso.

### **2.1.2.4 Diseño del sistema de control para la fase I**

El diseño del programa debe resolver las consideraciones expuestas en la descripción del problema; con respecto a la lógica se toma en cuenta los siguientes 3 puntos:

1. **Brazos de carga.-** La condición actual del sistema de gasolina súper consta con la capacidad de realizar el despacho simultáneamente a través de 5 brazos de carga (12, 15, 16, 21, y 1), para esto el PLC debe recibir las señales de activación de los controladores Accuload en variables de tipo Booleano y realizar el cambio a tipo entero para poder realizar operaciones aritméticas, estas variables se muestran en la siguiente tabla.

Variable	Brazo de carga	Dirección en el PLC	Tipo de variable
MED_12_L	4	000955	Booleano
MED_15_L	5	000956	Booleano
MED_16_L	8	000954	Booleano
MED_21_L	9	000951	Booleano
MED_1_L	11	000952	Booleano
MED_12	4	-	INT
MED_15	5	-	INT
MED_16	8	-	INT
MED_21	9	-	INT
MED_1	11	-	INT

Tabla 2.8. Variables de tipo Booleano que reciben las señales de activación de brazos de carga desde el controlador Accuload y variables para la conversión a tipo entero.

2. **Configuración automática de las electrobombas.-** Se conoce que cada electrobomba puede abastecer 2 brazos de carga y la condición máxima de trabajo es 4 brazos activados simultáneamente por lo que se requieren hasta 2 electrobombas encendidas, para esto la configuración de la secuencia de encendido (principal y auxiliar 1) se debe aplicar de manera automática cuando todas las electrobombas se encuentren detenidas. Además deben existir botones de Detener y Reiniciar despacho y asegurar que todas las electrobombas se apaguen, luego el programa del PLC debe ordenar de menor a mayor el tiempo de operación de las electrobombas que están disponibles y en ese orden seleccionar principal y auxiliar.
3. **Tiempos de operación.-** Es importante especificar límites de tiempo de funcionamiento con el fin de que todas las electrobombas operen en lo

posible el mismo número de horas de manera equilibrada; por esta razón se definen tres tipos de tiempo de operación:

- **Tiempo de Mantenimiento:** Corresponde el número de horas límite en el que es necesario realizar mantenimiento a la electrobomba y se lo determinó como 2000 horas en base al calendario respectivo del departamento de mantenimiento.
- **Tiempo de ciclo:** Es el número de horas límite de vigencia de la configuración de las electrobombas, al cumplirse este límite el PLC debe realizar un cambio de configuración. Se consideró que el cambio de configuración se debe realizar cada semana, lo que es equivalente a 28 horas de operación del sistema de despacho de gasolina súper.
- **Tiempo de desfase:** Debido a que no todas las electrobombas pueden realizar el bombeo desde todos los tanques de almacenamiento o por alguna razón de mantenimiento, los tiempos de operación van a tener un desfase notable y en el caso de que éste sea considerable la electrobomba con el menor tiempo permanecerá como principal hasta recuperar el desbalance, lo cual significa que la puede operar continuamente en demasía, por esta razón se consideró el mismo número de horas que en gasolina extra, 500 horas; como límite de desfase en base a que es el tiempo máximo que puede tardar el mantenimiento de una electrobomba.

Por ejemplo, si una electrobomba no ha trabajado durante 500 horas, el momento que entra en operación, lo hará como principal hasta que el tiempo de desfase de la otra electrobomba llegue a su límite, así en el próximo ciclo le corresponde como principal una electrobomba diferente.

Se necesita implementar una interfaz Hombre- Máquina en la Sala de Control mediante el programa INTOUCH y otra en el Centro de Control de Motores mediante Vijeo Designer para el touch panel MAGELIS.

Básicamente se deben presentar los tanques de almacenamiento, patio de bombas e islas de carga, con datos técnicos de sus respectivos equipos e instrumentación y animaciones para reflejar el diagrama de flujo.

Se debe contar con la identificación de equipos e instrumentación acorde al manual de identificación del terminal y poseer los botones Detener despacho y Reiniciar despacho para que entre en funcionamiento una nueva configuración de electrobombas.

### **2.1.2.5 Estudio de las variables del sistema de control antiguo**

Las variables encontradas en las diferentes FBD's que se usa para el sistema de control de gasolina Súper se presentó en la Tabla 2.8., a excepción de las que se relacionan con las electrobombas, pues aquellas variables se detallan posteriormente.

## **2.2 Desarrollo del Software para Fase 1**

Para despachar gasolina Extra actualmente se cuenta con una lógica que no se ajusta a condiciones actuales de funcionamiento; además la interfaz muestra conexiones y equipos obsoletos, mientras que nuevos equipos no son presentados. Los cambios necesarios se detallan a continuación:

- Nueva lógica para seleccionar automáticamente las electrobombas funcionales (Principal y Auxiliares) en base a su tiempos de operación.
- Modificación de la HMI para presentar al usuario una interfaz con condiciones actuales.
- Organización de variables con diferente designación, acorde a la electrobomba, tipo de dato, dirección y redacción de comentarios.

Para gasolina Súper, únicamente se cuenta con la lógica del PLC, así que se realiza lo siguiente:

- Nueva lógica para seleccionar automáticamente las electrobombas funcionales (Principal y Auxiliares) en base a su tiempos de operación.
- Implementación de una HMI para presentar al usuario una interfaz con condiciones actuales.
- Organización de variables con diferente designación, acorde a la electrobomba, tipo de dato, dirección y redacción de comentarios.

## 2.2.1 Gasolina Extra

### 2.2.1.1 Lógica de Control gasolina Extra

La nueva lógica de control debe ser diseñada para que automáticamente se seleccione qué bomba funciona como principal, auxiliar 1, auxiliar 2 ó auxiliar 3, considerando dos factores: la disponibilidad y el tiempo de operación de cada una de las electrobombas.

La disponibilidad es definida por el personal de mantenimiento ó por el jefe de despacho desde la HMI y se podrá seleccionar si la electrobomba se encuentra Fuera, Disponible ó en Mantenimiento, pero para hacerlo se debe tener en cuenta el tanque del cual se va a realizar el despacho ya que como se muestra en la Tabla 2.9, cada tanque funciona con determinadas electrobombas. Por esto mediante la variable Tanque\_disponible de tipo entero, se elige el tanque a utilizar.

Tanque	Tanque_disponible	Electrobombas Disponibles
TNK - 1003	1	1, 2, 3, 4
TNK - 1007	2	4, 5
FTNK - 1014	3	1, 3, 5
TNK - 1020	4	4, 5
Esferas 24 o 25	5	1, 3, 5

Tabla 2.9. Electrobombas disponibles según el tanque funcional.

En la Tabla 2.10, se muestran las variables que se utilizan para determinar la disponibilidad de las electrobombas, cada una de ellas tiene una variable, que toma el valor de 1 si se encuentra Fuera, el valor de 2 si se encuentra disponible y si se encuentra en mantenimiento toma el valor de 3.

Variable	Electrobomba	Dirección en el PLC	Tipo de variable
RWR_0501	1	400501	INT
RWR_0561	2	400561	INT
RWR_0621	3	400621	INT
RWR_0681	4	400681	INT
RWR_0741	5	400741	INT

Tabla 2.10. Registros de escritura y lectura que se utilizan para determinar la disponibilidad.

Posteriormente se utilizan marcas que determinan si la electrobomba se considera para continuar con el proceso, considerando la disponibilidad del tanque y electrobomba, como se detalla en la tabla 2.11.

Variable	Electrobomba	Tanque Disponible	Tipo de variable
M_0516	1	TNK – 1003 TNK – 1014 Esfera 23 o 24	Booleano
M_0533	2	TNK – 1003	Booleano
M_0553	3	TNK – 1003 TNK – 1014 Esfera 23 o 24	Booleano
M_0573	4	TNK – 1003 TNK – 1007 TNK – 1020	Booleano
M_0593	5	TNK – 1007 TNK – 1020 Esfera 23 o 24	Booleano

Tabla 2.11. Marcas que determinan las electrobombas que se consideran para continuar con el proceso.

El diagrama de flujo de Figura 2.11, explica este proceso para la electrobomba 1; sin embargo el diagrama completo se lo puede apreciar en el Anexo 10.

El segundo factor que se considera para elegir las electrobombas principal y auxiliares es el tiempo de operación que es el número de horas que ha trabajado, sin importar si lo hizo como principal o auxiliar, y tiene un límite de 500 horas correspondiente al tiempo máximo estimado que una electrobomba puede estar fuera de funcionamiento por cualquier circunstancia, es decir; el número máximo de horas de desfase que puede existir entre cada tiempo de operación. Así, el PLC ordena los tiempos de operación de menor a mayor, de las electrobombas que se encuentran disponibles, y determina como principal a la que tiene el menor tiempo de operación y las siguientes como auxiliares.

Para ordenar los tiempos de operación, en primer lugar se encuentra el tiempo de operación menor con la función MIN\_INT que tiene como entrada los registros enteros de los tiempos de operación y a la salida se obtiene el menor de los valores de los registros; y éste se lo compara con cada tiempo de operación para contar cuántos son iguales al tiempo de operación menor (variable Igual\_tiempo\_menor).

La Tabla 2.12., muestra los registros utilizados para almacenar el valor del tiempo de operación de cada electrobomba, mientras que la Figura 2.12., muestra el diagrama de flujo de esta parte del proceso aplicado para las variables correspondientes a la electrobomba 1 y 2.

El siguiente paso será identificar los tiempos de operación que son diferentes al valor menor para luego obtener, el menor de estos con la función MIN\_INT, éste valor será el segundo tiempo de operación. En este punto cabe aclarar que si existen dos o más tiempos de operación iguales al tiempo de operación menor, entonces la variable Igual\_tiempo\_menor debe ser mayor que 1.

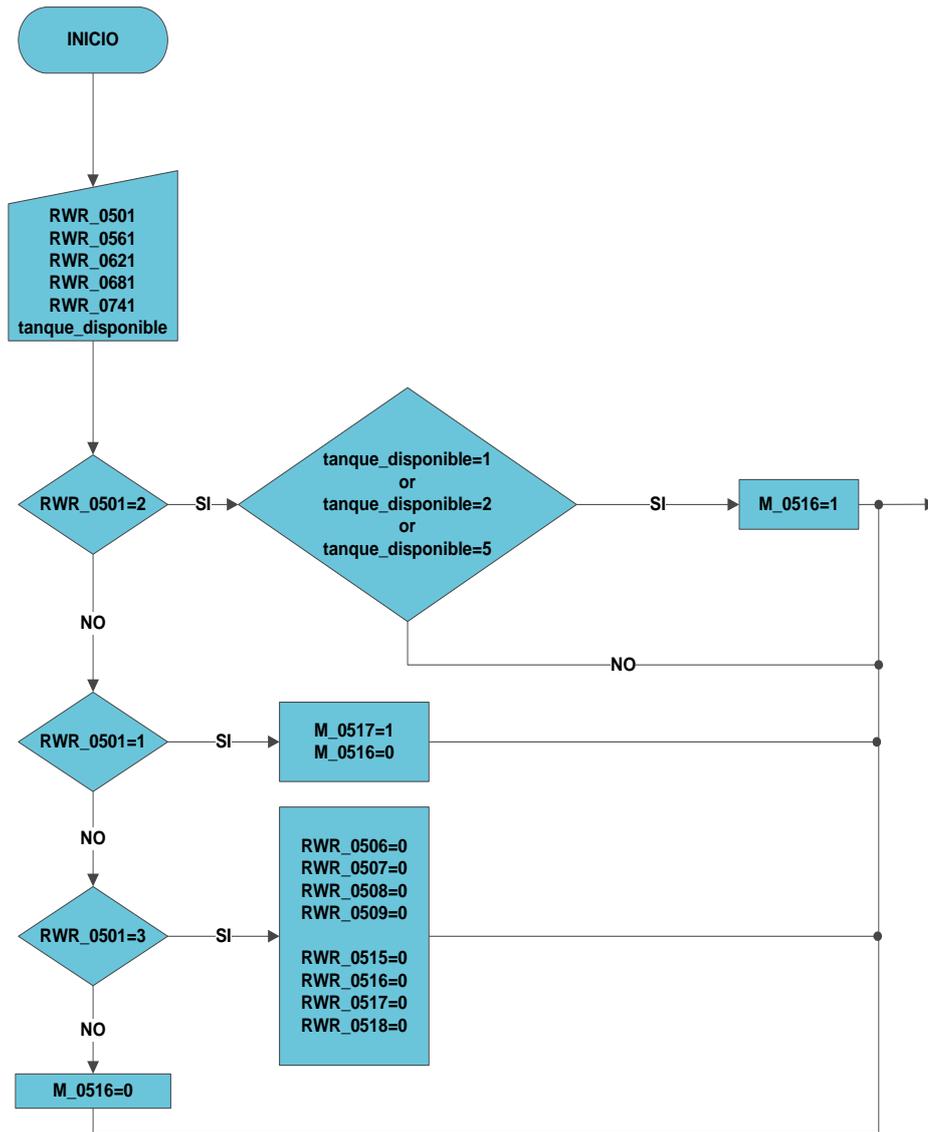


Figura 2.11. Diagrama de flujo que describe la determinación de las electrobombas disponibles.

Variable	Electrobomba	Tipo de variable
RWR_0501	1	INT
RWR_0561	2	INT
RWR_0621	3	INT
RWR_0681	4	INT
RWR_0741	5	INT

Tabla 2.12. Registros de tipo entero que almacenan los tiempos de operación de las electrobombas.

De igual manera se realiza una comparación entre los tiempos de operación y el segundo tiempo de operación para contabilizar los valores iguales en la variable Igual\_tiempo\_menor\_2. En las Figura 2.13 y Figura 2.14 se muestra el diagrama de flujo de este paso aplicado a las variables de la electrobomba 5.

Para obtener el tercer tiempo de operación se lo hace aplicando la función MIN\_INT con los valores restantes, que pueden ser:

- Los registros de tiempo cuyo valor sea mayor al segundo tiempo de operación.
- Los valores de los tiempos que son iguales al segundo tiempo de operación siempre y cuando la variable Igual\_tiempo\_menor\_2 sea mayor que 1.
- Y los tiempos de operación que son iguales al primer tiempo de operación menor si el conteo respectivo (Igual\_tiempo\_menor) es mayor que 2.

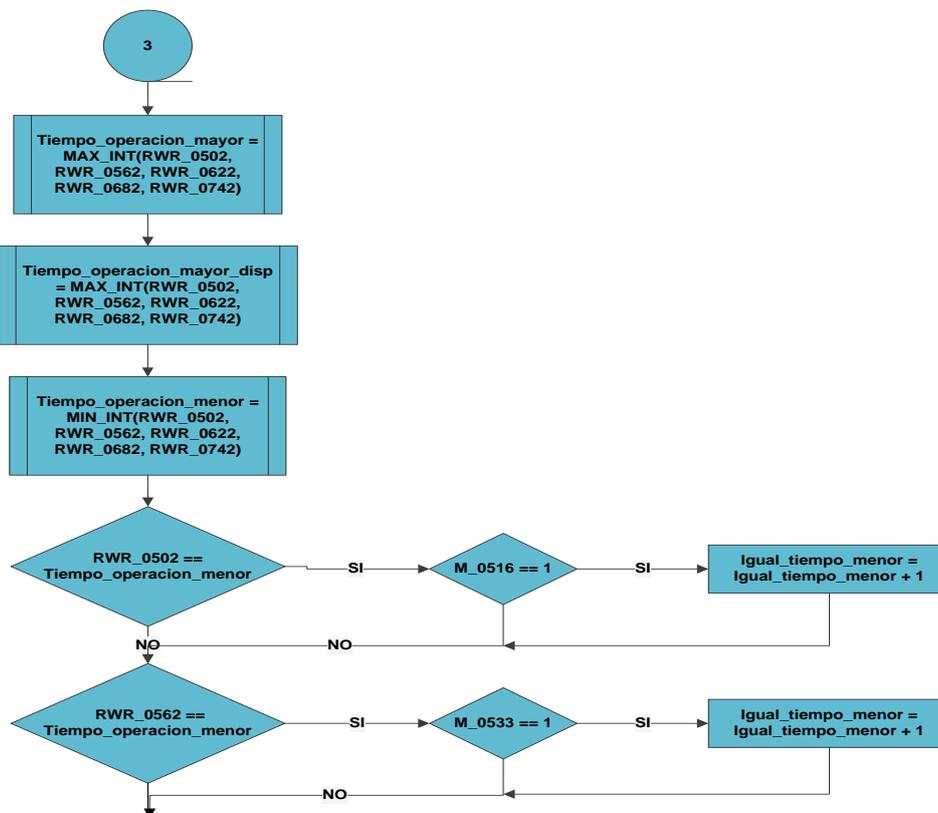


Figura 2.12. Diagrama de flujo que determina el tiempo de operación menor y número de tiempos menor iguales.

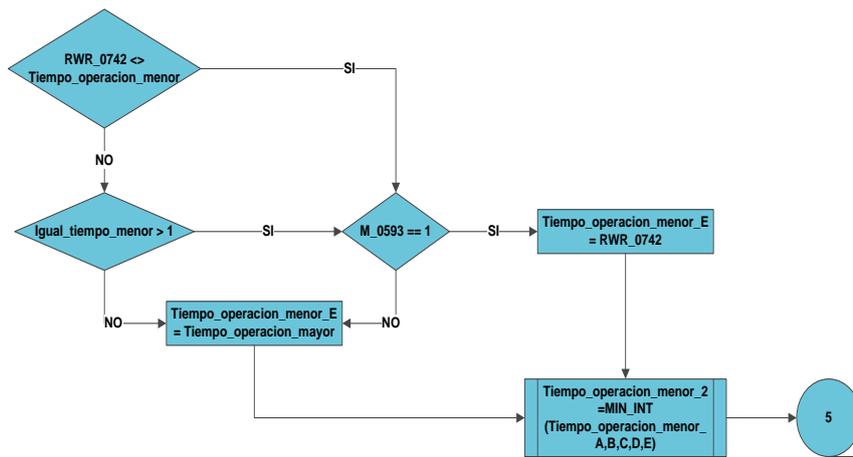


Figura 2.13. Diagrama de flujo parcial correspondiente a la obtención del segundo tiempo de operación.

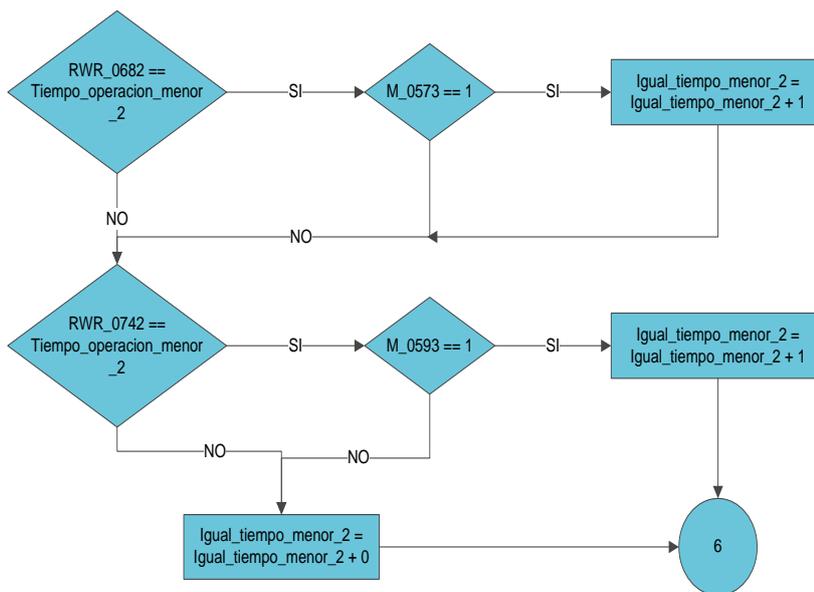


Figura 2.14. Diagrama de flujo parcial que corresponde a la contabilización de los tiempos de operación iguales al segundo tiempo de operación.

Esta parte del proceso se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 2.15 que muestra el proceso aplicado con las variables de la electrobomba 5, y la contabilización de los tiempos iguales en la variable Igual\_tiempo\_menor\_3 se describen en la Figura 2.16.

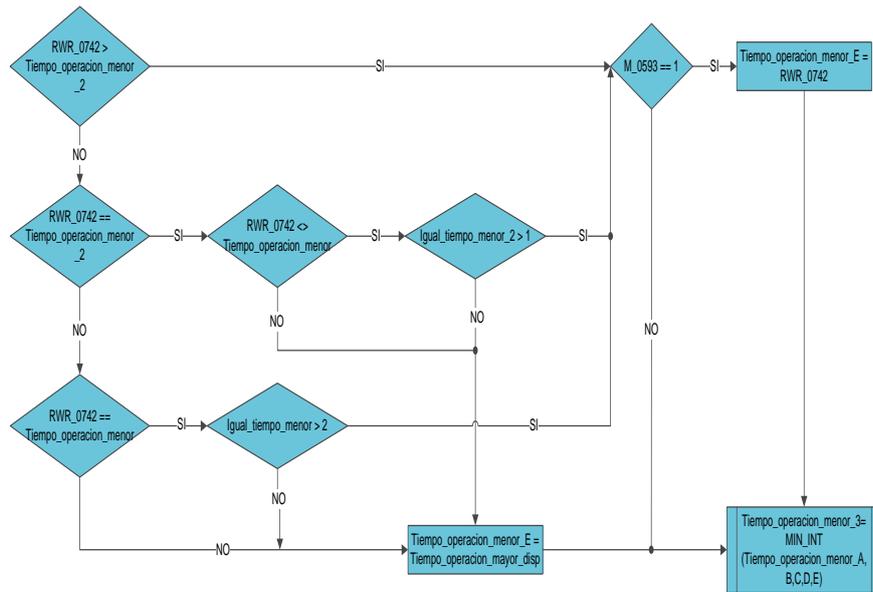


Figura 2.15. Diagrama de flujo correspondiente al proceso de obtención del tercer tiempo de operación.

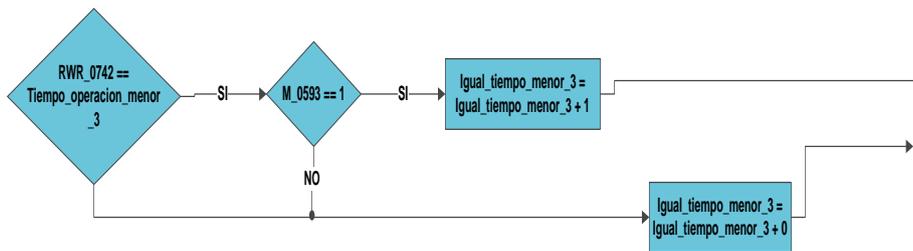


Figura 2.16. Diagrama de flujo correspondiente al proceso de conteo de tiempos de operación iguales al tercer tiempo de operación.

El siguiente paso consiste en obtener el cuarto tiempo de operación para lo cual se utiliza nuevamente la función MIN\_INT, y como entrada:

- Los valores de los tiempos de operación mayores al tercer tiempo de operación.
- Los tiempos iguales al tercer tiempo siempre y cuando la variable Igual\_tiempo\_menor\_3 sea mayor que 1.
- Los tiempos que sean igual al segundo y tercer tiempo con la condición que el conteo en la variable Igual\_tiempo\_menor\_2 sea mayor que 2.

- Los tiempos iguales al primero, segundo y tercero, si el contador de Igual\_tiempo\_menor es mayor que 3.

En la Figura 2.17. se muestra el diagrama de flujo de este paso del proceso.

El quinto tiempo de operación es el mayor y se obtiene de la función MAX\_INT, que recibe como entrada los registros de los tiempos de operación y a la salida se obtiene el valor máximo de ellos.

Una vez que se tienen los tiempos en el respectivo orden, como se muestra en la siguiente tabla, se procede con la asignación de un número entero de la electrobomba a la marca correspondiente, mediante la instrucción MOVE, que posee un bit de habilitación que se activa con la variable Bloqueo\_Extra (más adelante se explica su funcionamiento).

Configuración	Tiempo de operación	Marca correspondiente
Principal	Menor	M_0040
Auxiliar 1	Segundo	M_0041
Auxiliar 2	Tercero	M_0042
Auxiliar 3	Cuarto	M_0043

Tabla 2.13. Marcas de configuración de electrobombas según el tiempo de operación.

Por ejemplo, si la electrobomba con el menor tiempo de operación es la número 3, entonces a la marca M\_0040 se le asigna el valor de 3.

En el caso de que los tiempos de operación sean iguales, se da prioridad acorde al número de electrobomba, es decir; si los tiempos de operación de la electrobomba número 1 y número 2 son iguales, se designa como Principal a la número 1 y la número 2 será Auxiliar 1. La Figura 2.18, muestra el diagrama de flujo de este proceso.

Cabe recalcar la importancia de considerar todas las opciones de igualdad ya que la ejecución de las instrucciones se realiza de manera paralela, no pueden existir ambigüedades ni casos sin considerar.

El mismo proceso se realiza para asignar el valor de la electrobomba a las marcas correspondientes a Auxiliar 1, Auxiliar 2 y Auxiliar 3. Los diagramas de flujo completos respectivos se los puede encontrar en el Anexo 10.

El segundo objetivo que se definió en el diseño del programa es determinar en qué momento se realizará el cambio de configuración de las electrobombas, y para esto se considerarán dos criterios:

- a) Se debe realizar un cambio de configuración el momento en que cualquiera de las electrobombas que se encuentran en funcionamiento, dejan de estar Disponibles por cualquier motivo ya sea: el estado de la electrobomba cambió de Disponible a Fuera, ó el estado cambió de Disponible a Mantenimiento ó se realizó un cambio de tanque de despacho.

La variable que se utiliza para realizar un cambio de configuración será Cambio\_combinación de tipo Booleano, ésta variable tendrá el valor de 1 cuando exista algún cambio en la disponibilidad de las bombas que se encuentran en funcionamiento. En la Figura 2.19., se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

- b) Se requiere una reconfiguración de las electrobombas cuando alguna de las electrobombas en funcionamiento completó su ciclo de trabajo correspondiente a 50 horas, aproximadamente equivalentes a una semana de trabajo de la electrobomba principal, por lo cual, existe un temporizador para cada una que registra su tiempo de funcionamiento y se reinicia cuando llega a 50 horas, en este mismo momento se asigna el valor de 1 a la variable Cambio\_combinación. La Figura 2.20. muestra el diagrama de flujo correspondiente a este criterio.

La variable Bloqueo\_extra, habilita la instrucción MOVE que asigna el valor de la electrobomba correspondiente a las marcas de configuración de las mismas (M\_0040, M\_0041, M\_0042, M\_0043), cuando Bloqueo\_extra es igual a 0, la configuración mantiene su valor anterior, mientras que si es igual a 1, la configuración cambia al siguiente orden correspondiente.

Bloqueo\_extra depende de tres factores para su activación:

- La variable Cambio\_combinación se encuentra activada.
- Todas las bobinas de entrada que corresponden a los sensores de activación de los contactores de arranque directo de las electrobombas deben estar desactivadas.
- Todas las bobinas de salida que activan los contactores de arranque directo de las electrobombas deben estar desactivadas.

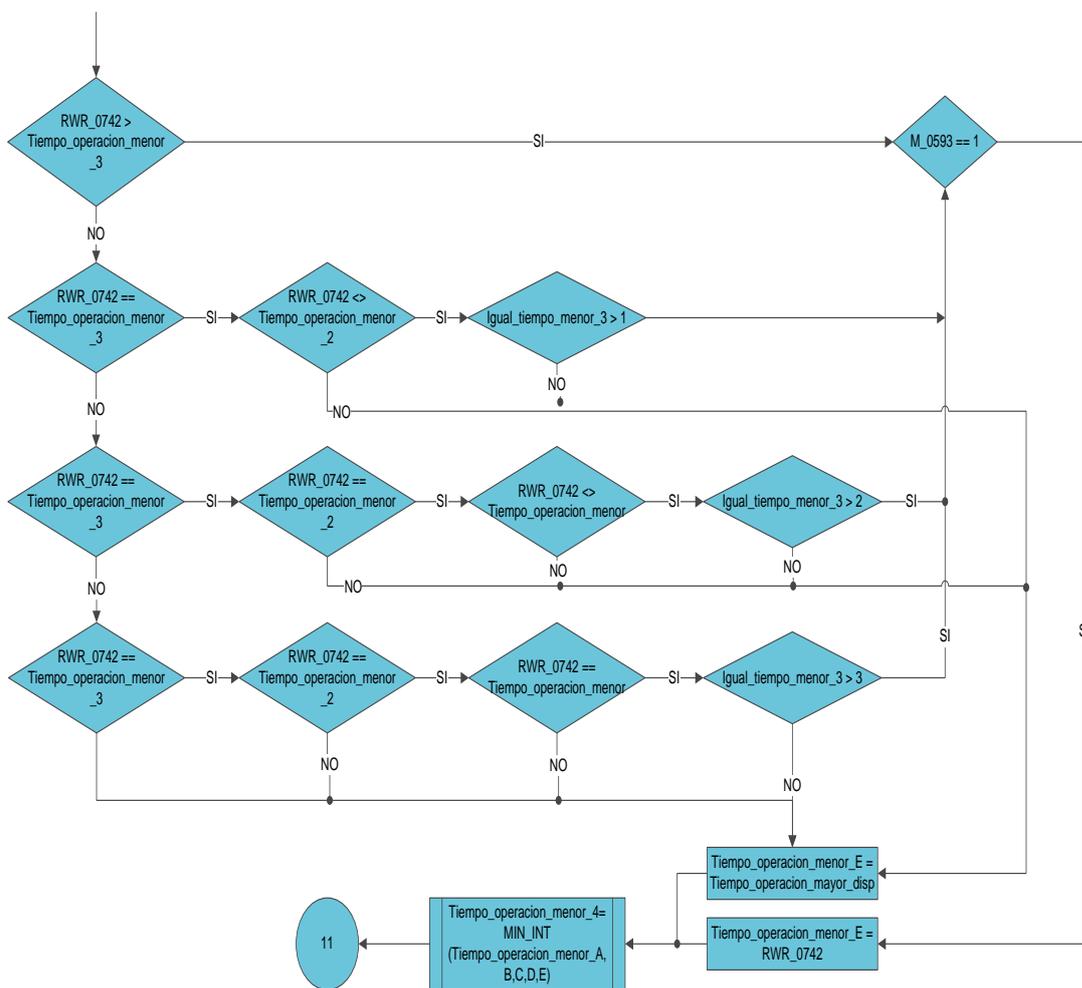


Figura 2.17. Diagrama de flujo de la obtención del cuarto tiempo de operación.

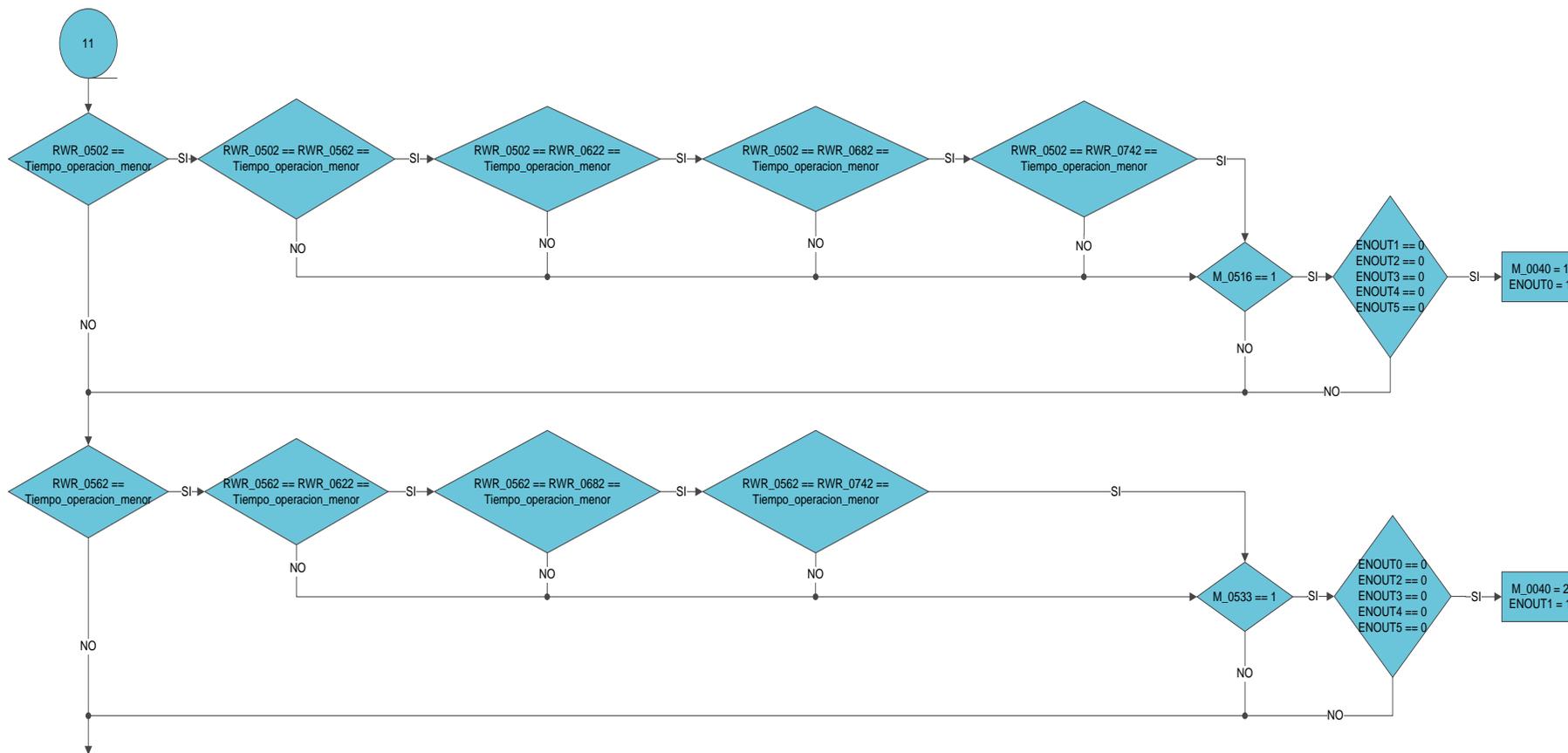


Figura 2.18. Diagrama de flujo que muestra la asignación de la electrobomba principal (electrobomba 1 y 2).

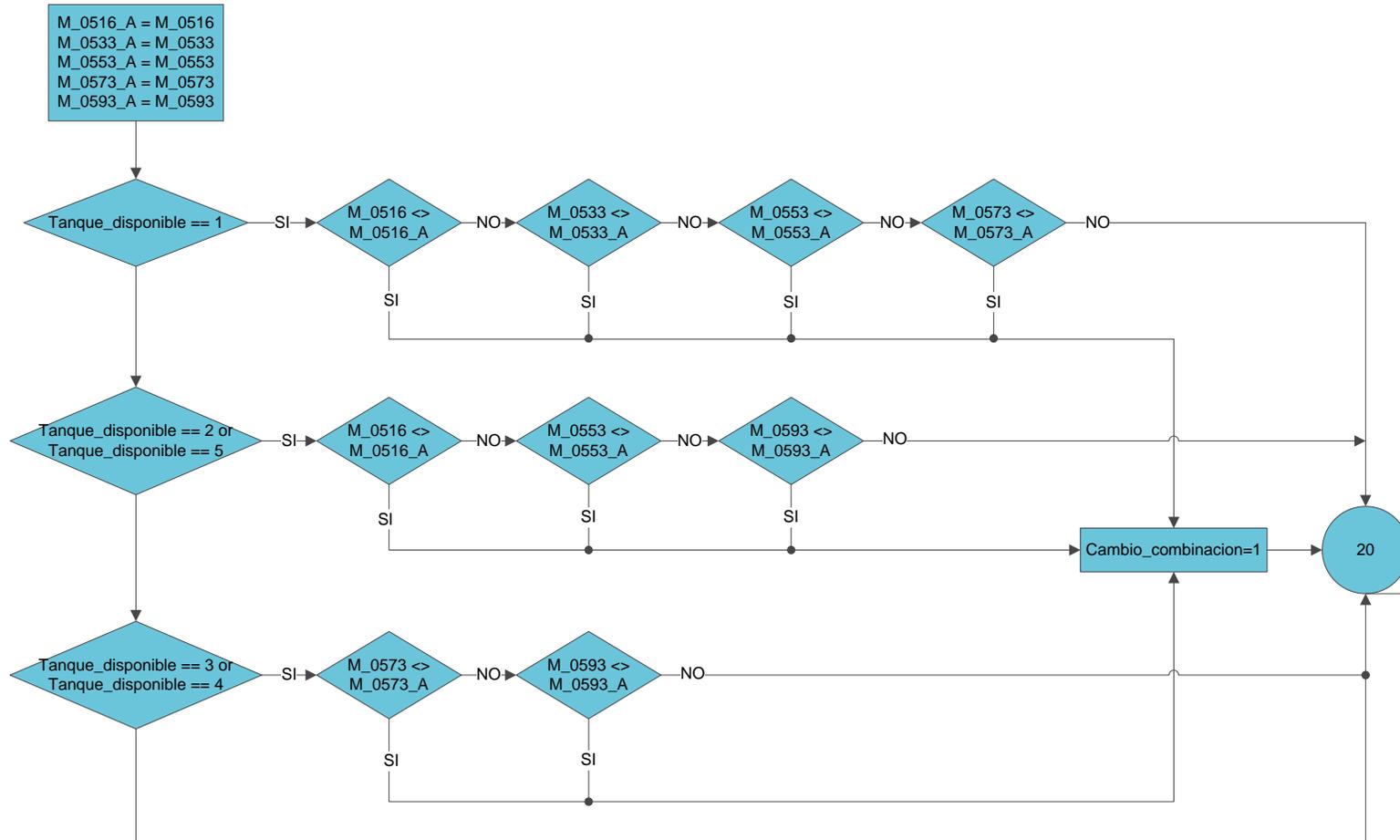


Figura 2.19. Diagrama de flujo correspondiente a la detección de algún cambio en la disponibilidad de las electrobombas y asignación del valor de 1 a la variable Cambio\_combinación.

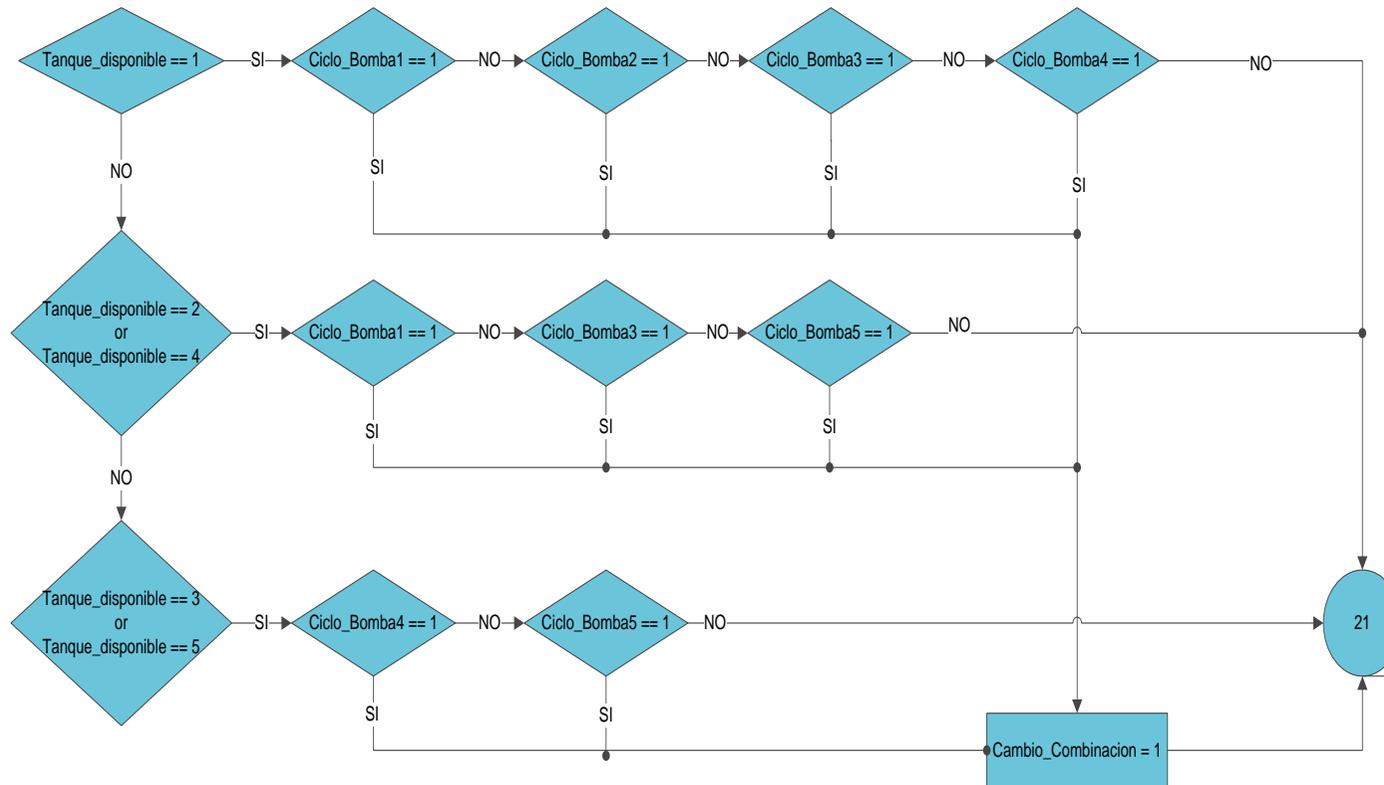


Figura 2.20. Diagrama de flujo que corresponde a la asignación del valor de 1 a la variable Cambio\_combinación el momento en que alguna electrobomba llegó a su ciclo de trabajo.

En la Tabla 2.14. se muestran las variables que se utilizan en la activación de la variable Bloqueo\_extra.

Variable	Descripción	Tipo
Cambio_combinación	Variable que indica que es necesario un cambio de configuración.	Booleano
I_0001 I_0002 I_0003 I_0004 I_0005	Bobinas de entrada correspondientes a los sensores de activación de contactores de arranque directo.	Booleano
O_0001 O_0002 O_0003 O_0004 O_0005	Bobinas de salida correspondientes a la activación de contactores de arranque directo.	Booleano
FVD_extra_running	Variable que indica si el variador de frecuencia está encendido.	Booleano

Tabla 2.14. Lista de variables que determinan la activación de Bloqueo\_extra

La Figura 2.21., muestra el diagrama de flujo de la activación de Bloqueo\_extra.

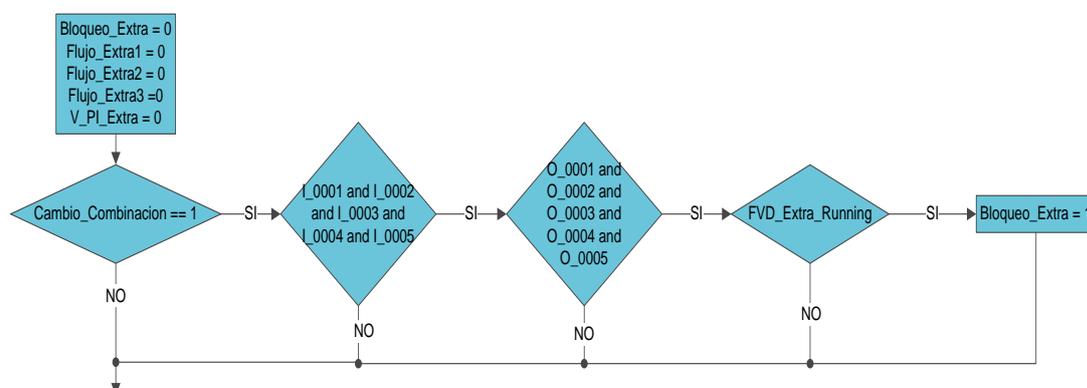


Figura 2.21. Diagrama de flujo de activación de Bloqueo\_extra.

En la Tabla 2.15., se enlistan las marcas de cada electrobomba para indicar si es principal o auxiliar, así mismo en la Figura 2.22., se puede observar el diagrama de flujo de las comparaciones y asignaciones que se realizan cuando Bloqueo\_extra habilita la configuración de las electrobombas.

Electrobomba	Configuración			
	Principal	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Auxiliar 3
1	M_0506	M_0507	M_0508	M_0509
2	M_0526	M_0527	M_0528	M_0529
3	M_0546	M_0547	M_0548	M_0549
4	M_0566	M_0567	M_0568	M_0569
5	M_0586	M_0587	M_0588	M_0589

Tabla 2.15. Listado de marcas de tipo Booleano de cada electrobomba que indican la configuración en la que se encuentran.

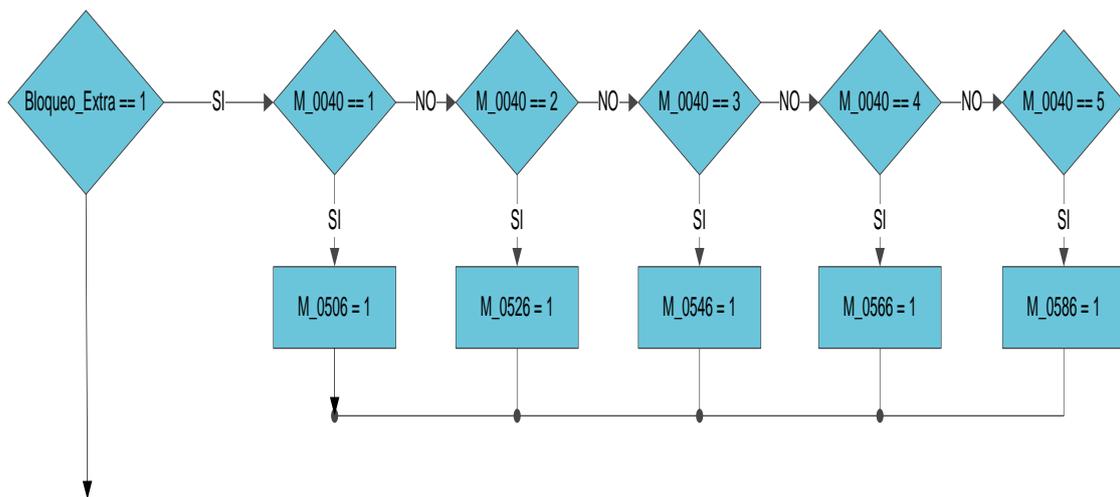


Figura 2.22. Diagrama de flujo de comparaciones y asignaciones que se realizan cuando la variable Bloqueo\_extra habilita la configuración de electrobombas.

La Figura 2.22. muestra el proceso con las variables de la electrobomba 1, el diagrama completo se lo puede encontrar en el Anexo 10.

El tercer objetivo del diseño consiste en asignar una velocidad de funcionamiento al motor de la electrobomba controlada por el variador de frecuencia, considerando el número de brazos de carga que se encuentran en funcionamiento ó la señal del transmisor de presión. Se puede decir que existen dos casos para determinar la velocidad a la que debe trabajar la electrobomba:

**a) Con señal de transmisor de presión.-**

El transmisor de presión, se conecta a la entrada analógica AI2 del variador y envía una señal al PLC de 4 a 20 mA equivalentes a un rango de presión de 0 a 120 PSI acorde a la siguiente gráfica:

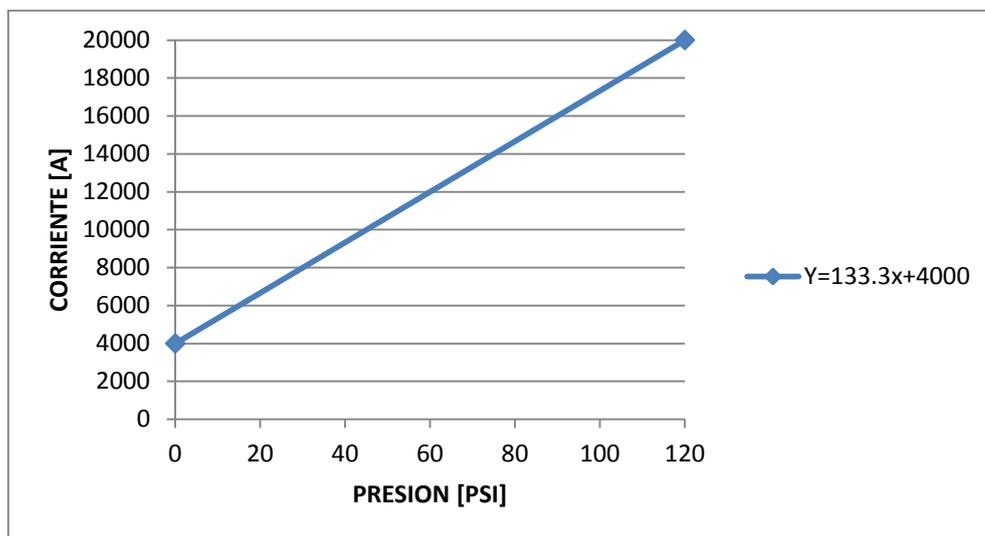


Figura 2.23. Gráfica de linealización corriente vs presión

Cabe mencionar que la señal del transmisor de presión (PT-010101) llega al PLC mediante Peer Cop, reemplazando a la variable (TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN) en el campo 7 de las 8 que comparte el variador de velocidad con la red como muestra la Figura 2.24.

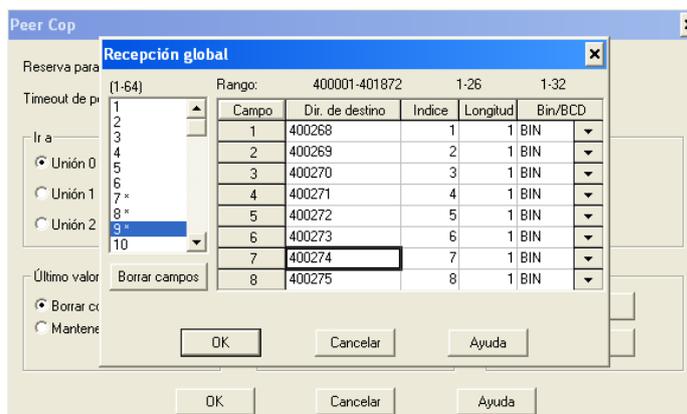


Figura 2.24. Dato de presión enviado por el variador mediante Peer Cop.

La información del transmisor de presión, su calibración e instalación se detalla en el Anexo 3.

Los valores de referencia de presión (Set Point) se obtienen mediante una consulta a la base de datos de los registros que almacenan el flujo y el número de brazos activados. Se asegura que para un cierto número de brazos activados simultáneamente el flujo respectivo de todos los brazos se aproxime a 500 gls/min y a ese instante se toma la presión de la línea, como se muestra en la Tabla 2.16.

# BRAZOS ACTIVADOS	FECHA	BRAZOS ACTIVADOS SIMULTÁNEAMENTE	FLUJO (gls/min)	PRESIÓN (PSI)
1	28/01/2012 15:43	FT-010204	493.0608	27.0000
2	28/01/2012 14:59	FT-010209	491.5200	28.6437
	28/01/2012 15:03	FT-010211	448.1094	
3	28/01/2012 10:41	FT-010208	489.9888	27.8812
	28/01/2012 10:44	FT-010211	472.3315	
	28/01/2012 10:46	FT-010209	488.4671	
4	28/01/2012 10:57	FT-010204	496.1716	26.2375
	28/01/2012 11:02	FT-010205	443.0603	
	28/01/2012 10:57	FT-010209	459.9018	
	28/01/2012 10:56	FT-010219	438.1237	
5	28/01/2012 10:20	FT-010204	493.0608	27.8500
	28/01/2012 10:22	FT-010209	491.5200	
	28/01/2012 10:20	FT-010211	458.5609	
	28/01/2012 10:23	FT-010219	450.6774	
	28/01/2012 10:20	FT-010222	421.6794	
6	28/01/2012 14:06	FT-010204	489.9888	27.3375
	28/01/2012 14:06	FT-010208	438.1237	
	28/01/2012 14:07	FT-010209	432.1055	
	28/01/2012 14:07	FT-010211	435.6964	
	28/01/2012 14:11	FT-010205	401.2408	
	28/01/2012 13:54	FT-010222	417.2053	
7	21/01/2012 7:58	FT-010204	475.1855	27.3250
	21/01/2012 7:58	FT-010205	472.3315	
	21/01/2012 7:58	FT-010208	469.5117	
	21/01/2012 8:00	FT-010209	420.5519	
	21/01/2012 8:00	FT-010211	386.4531	
	21/01/2012 8:02	FT-010219	469.5117	
	21/01/2012 8:02	FT-010222	417.2053	

Tabla 2.16. Datos de valores de referencia de presión según el número de brazos activados simultáneamente.

Mientras el transmisor de presión funcione correctamente, sin activarse ninguna alarma, la velocidad de la electrobomba principal se establece acorde a un Controlador Proporcional Integral cuyo diseño y justificación se detalla a continuación.

Cabe resaltar la importancia de implementar un control en base a la presión de la tubería ya que al iniciar la descarga de un brazo se incrementa el área de la tubería, por ende la presión disminuye e inversamente al finalizar la descarga el área disminuye por lo que la presión se incrementa, provocando fuertes golpes de ariete y desgaste de la tubería y sus accesorios.

### 2.2.1.1.1 Controlador Proporcional Integral

En la Figura 2.25, se muestra el diagrama de bloques que representa un sistema de control con sus componentes que interactúan para conseguir que la respuesta del proceso se comporte bajo parámetros de desempeño deseados mediante la acción de control. Para nuestro caso de estudio los componentes del sistema de control se describen en la Tabla 2.17.

Para la implementación del controlador se requiere ajustar los diferentes parámetros con sus respectivas acciones como son:

- Ganancia Proporcional ( $K_p$ )
- Constante de tiempo integral ( $T_i$ )
- Constante de tiempo derivativa ( $T_d$ )

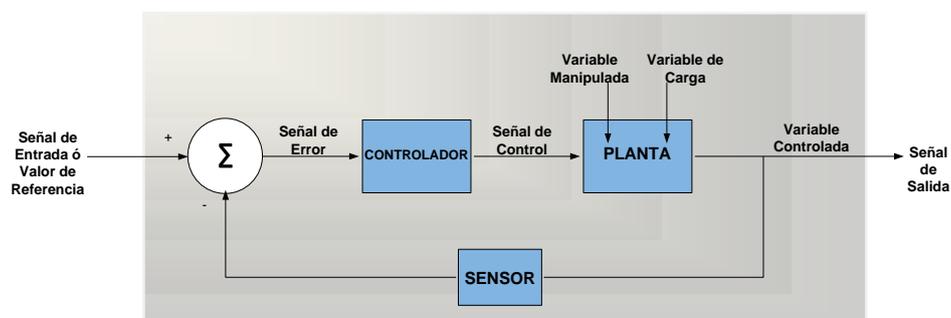


Figura 2.25. Diagrama de bloques que describe un sistema de control.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CORRESPONDENCIA
Señal de Entrada ó Valor de referencia	Es el valor al que debe alcanzar la señal de salida.	Valor de presión de acuerdo al número de brazos activados.
Señal de Error	Diferencia entre el valor de referencia y la señal de salida.	Diferencia entre la presión deseada y la presión real.
Controlador	Componente que realiza el control del sistema.	Controlador implementado en la programación del PLC Quantum.
Señal de Control	Salida del controlador que se envía al proceso para realizar la acción de control.	Velocidad establecida en el variador de frecuencia.
Planta	Constituye el proceso como tal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanques de almacenamiento</li> <li>• Electrobombas</li> <li>• Actuadores</li> <li>• Tubería y accesorios</li> <li>• Controladores de flujo</li> <li>• Brazos de carga.</li> </ul>
Variable Manipulada	Variable que se manipula para cambiar la variable controlada	Velocidad de la electrobomba.
Variabes de Carga	Todas las que tienen efecto sobre la variable controlada excepto la variable manipulada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de combustible en los taques de almacenamiento</li> <li>• Área de la tubería</li> <li>• Pérdidas de presión en actuadores y accesorios.</li> </ul>
Variable controlada	Salida del proceso que cumple con las características de desempeño deseadas.	Presión en la tubería.

Tabla 2.17. Tabla de componentes del sistema de control.

Los parámetros mencionados se deben ajustar de acuerdo a las siguientes consideraciones definidas previamente para obtener una respuesta satisfactoria.

- La variable controlada deberá alcanzar su valor deseado entre 5 y 10 segundos.

- El valor de máximo pico de la variable controlada no debe ser mayor al 5%.
- La variable manipulada no debería estar sometida a grandes cambios, ya que puede afectar otras partes del proceso.

Existen dos tipos de métodos de ajuste de controladores: métodos de lazo abierto y métodos de lazo cerrado. Por facilidad y debido a que el proceso tiene una respuesta creciente a una entrada escalón, se procedió a realizar el ajuste con el método de lazo abierto ó curva de reacción.

### **Método de curva de reacción**

Los datos necesarios para la aplicación de éste método se obtienen mediante el siguiente proceso:

1. ConFigurar el controlador en modo manual
2. Esperar que la presión en la tubería se estabilice
3. Aplicar una variación escalón en la entrada del proceso (arranque directo de la electrobomba)
4. Trazar la curva de reacción del proceso hasta que la presión se estabilice nuevamente.

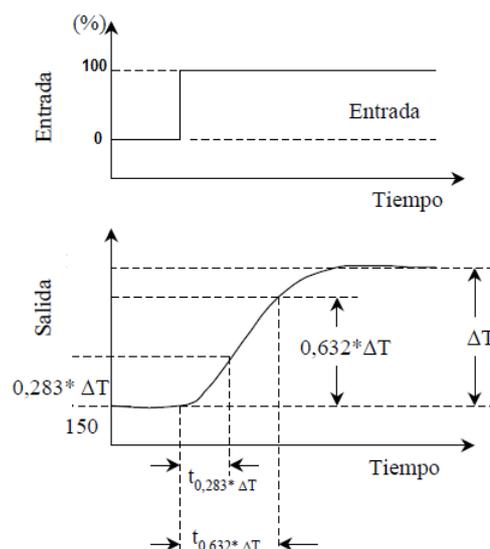


Figura 2.26. Datos requeridos de la curva de un proceso<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Tomado de SMITH, Carlos y Armando CORRIPIO. "Principles and Practice of Automatic Process Control". Segunda Edición. John Wiley & Sons Inc. New York. 1997

Una vez construida la curva como se muestra en la Figura 2.26, se procede a expresar el proceso con la ecuación de transferencia de la forma:

$$\frac{O(s)}{I(s)} = \frac{Ke^{t_0s}}{\tau s + 1}$$

Cuyos parámetros se determinan con las ecuaciones:

$$\tau = 1.5(t|_{0.632\Delta_0} - t|_{0.283\Delta_0})$$

$$t_0 = t|_{0.632\Delta_0} - \tau$$

Se debe tener en cuenta que todos los valores de tiempo deben estar en minutos, mientras que el parámetro K es el cociente entre los cambios de la señal de entrada y la señal de salida. En la Figura 2.27. se muestra la aplicación del método en nuestro caso de estudio y en la Tabla 2.19 se detallan los parámetros obtenidos.

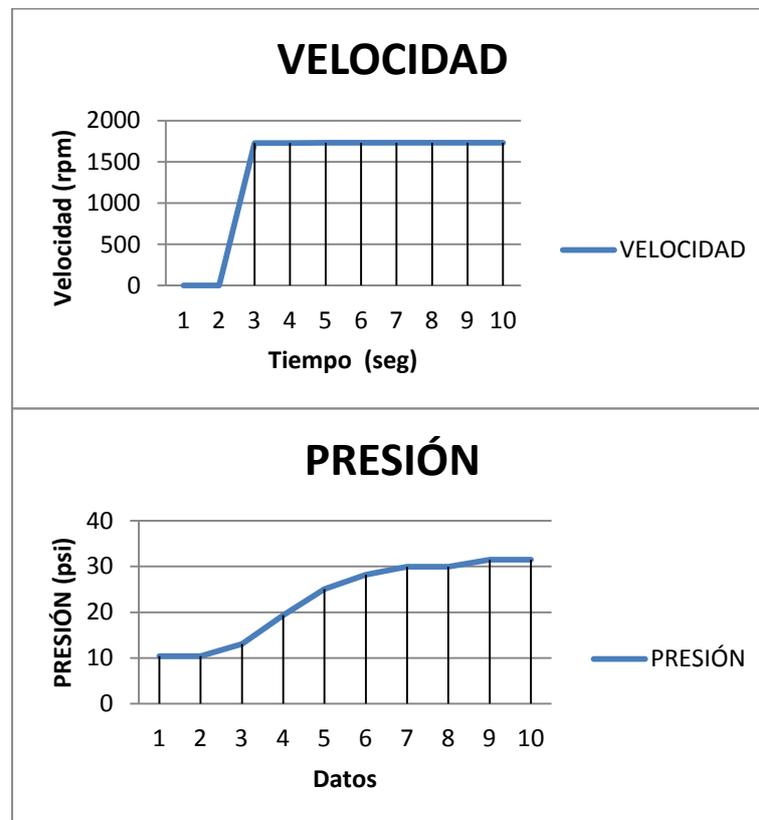


Figura 2.27. Curva de reacción del proceso

Parámetro	Valor
<b>t(0.632Δ)</b>	0.03301667
<b>t(0.283Δ)</b>	0.07373333
<b>K</b>	0.01205143
<b>τ</b>	0.061075
<b>To</b>	0.01265833

Tabla 2.18. Tabla de parámetros obtenidos de la curva de reacción.

Por último, los parámetros del controlador, se calculan mediante fórmulas de sintonización de Ziegler y Nichols detalladas en la Tabla 2.19.

CONTROLADOR	PARAMETRO DE AJUSTE	ECUACIÓN
Proporcional P	Kp	$\frac{1}{k} \left(\frac{t_o}{\tau}\right)^{-1}$
Proporcional + Integral, PI	Kp	$\frac{0.9}{k} \left(\frac{t_o}{\tau}\right)^{-1}$
	Ti	$3,33 t_o$
Proporcional +Integral +Derivativo, PID	Kp	$\frac{1,2}{k} \left(\frac{t_o}{\tau}\right)^{-1}$
	Ti	$2,0 t_o$
	Td	$\frac{t_o}{2}$

Tabla 2.19. Fórmulas de Ziegler Nichols

De esta manera el valor de Kp, Ti y Td serán:

CONTROLADOR	PARÁMETRO	VALOR
<b>Proporcional</b>	<b>Kp</b>	400.36
<b>Proporcional +Integral</b>	<b>Kp</b>	360.322
	<b>Ti</b>	2.279
<b>Proporcional + Integral + Derivativo</b>	<b>Kp</b>	480.43
	<b>Ti</b>	1.52
	<b>Td</b>	0.38

Tabla 2.20. Valores de los parámetros calculados a partir de la curva de reacción.

Luego de realizar las pruebas que se detallan en la sección de Pruebas y Fallos, se tomó la decisión de implementar un controlador PI ya que su respuesta satisface con las consideraciones definidas.

**b) Sin señal de transmisor de presión.-**

Si el transmisor de presión deja de funcionar la velocidad del motor se define según el número de brazos de carga activados; para esto se conoce que una electrobomba puede abastecer a dos brazos de carga y el variador de frecuencia funciona solamente con la electrobomba principal, por lo tanto cuando se activa un brazo de carga la electrobomba debe trabajar a la mitad de su potencia; es decir que la velocidad del motor debe ser 1350 rpm, considerando potencia máxima 1730 rpm (para alargar la vida útil del motor), así también cuando se activen los brazos en número impar (tres, cinco y siete brazos) . De similar manera cuando se activan 2 brazos ó múltiplo par (cuatro, seis) la velocidad del motor deber ser 1730 rpm como muestra en la Tabla 2.21.

Número de Brazos	Velocidad del Driver (rpm)
1	1350
2	1730
3	1350
4	1730
5	1350
6	1730
7	1350

Tabla 2.21. Velocidad para el driver según brazos de carga.

Existe un caso especial cuando la electrobomba 3 funciona como principal, como se puede observar en la Figura 1.4, ésta electrobomba no tiene conexión directa con los brazos 19 y 22. Por esta razón es necesario considerar lo siguiente:

- a) Cuando la electrobomba 3 se encuentra como principal y se activa sólo por los brazos 19 ó 22, ésta permanece apagada y en su lugar se enciende la electrobomba auxiliar 1.

- b) Si se activa alguno de los brazos 4, 5, 8, 9 u 11 y electrobomba principal es la número 3, la velocidad del motor será 1350 rpm para un brazo y 1730 rpm para dos brazos.

La tabla 2.22, muestra las variables que se usan para contar el número de brazos de carga en funcionamiento, las mismas que se activan cuando su valor es 2.

Variable	Brazo de carga
MED_4	4
MED_5	5
MED_8	8
MED_9	9
MED_11	11
MED_19	19
MED_22	22

Tabla 2.22. Variables de tipo entero para cada brazo de carga.

Mientras que en la tabla 2.23, se describen las variables que se usan para registrar la velocidad de funcionamiento del variador de frecuencia.

Variable	Descripción	Dirección en el PLC	Tipo
Presion_T	Valor de la señal proveniente del transmisor de presión (de 4000 a 20000)	-	INT
Flujo_Extra1	Velocidad según el número de brazos activados	-	INT
Flujo_Extra2	Número de brazos (4, 5, 8, 9 y/o 11) activados.	401807	INT
Flujo_Extra3	Número de brazos (4, 5, 8, 9, 11, 19 y/o 22) activados.	-	INT
SP	Velocidad de referencia según el número de brazos activados y presión promedio en la tubería.	-	INT
V_PI_Extra	Valor de velocidad que determina el controlador PI.	-	INT
Extra_FVD_Frec	Variable cuyo valor es la velocidad de funcionamiento del variador y se envía mediante Peer Cop.	400261	INT

Tabla 2.23. Descripción de las variables que determinan la velocidad de funcionamiento del variador de frecuencia.

En el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.28., se detalla el proceso para contar los brazos de carga activados, en la Figura 2.29 en cambio se detalla el diagrama para establecer la velocidad de funcionamiento según el número de brazos de carga, y en la Figura 2.30. se detalla el diagrama para establecer la velocidad según la presión promedio de la tubería.

Hasta el momento se tiene la configuración de las electrobombas y la velocidad de funcionamiento de la electrobomba principal controlada con el variador de frecuencia, ahora con el objetivo de tener mayor control sobre el despacho se agrega la siguiente restricción: para realizar un cambio en la disponibilidad de las electrobombas se debe detener el despacho de manera secuencial, y luego de realizar el cambio respectivo es necesario reiniciar el despacho. Esta opción se muestra más adelante en la descripción del HMI.

Para lograr detener el despacho, se agregaron variables que constituyen condiciones para el encendido de las electrobombas, en la Tabla 2.25. se muestra una lista de las mismas. En el diagrama de flujo de la Figura 2.31. se muestra que para detener el despacho, se activan las variables de apagado de cada electrobomba empezando desde la auxiliar 3.

Si alguna se encuentra encendida espera 5 segundos para detener la siguiente, esto es para aliviar la presión en la tubería antes de disminuirla drásticamente con el apagado de una electrobomba debido a que solo en la principal existe una rampa de desaceleración dada por el variador de frecuencia. Es importante mencionar que éste apagado secuencial también se aplicó para la Parada de Emergencia.

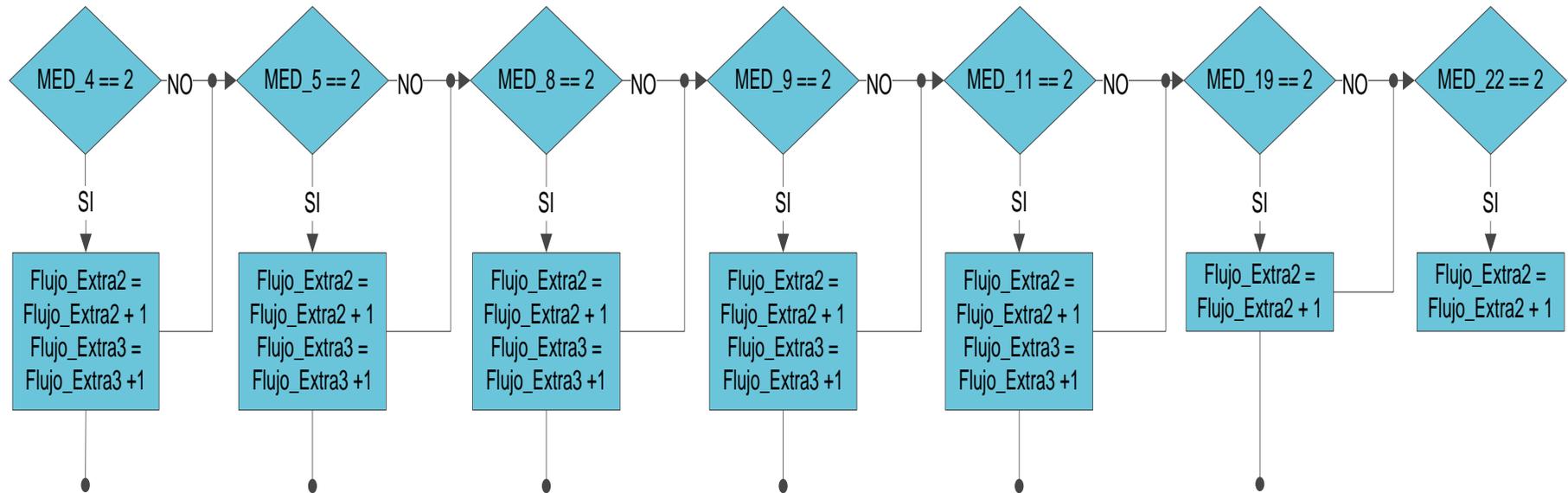


Figura 2.28. Diagrama de flujo del proceso de conteo de brazos de carga activados

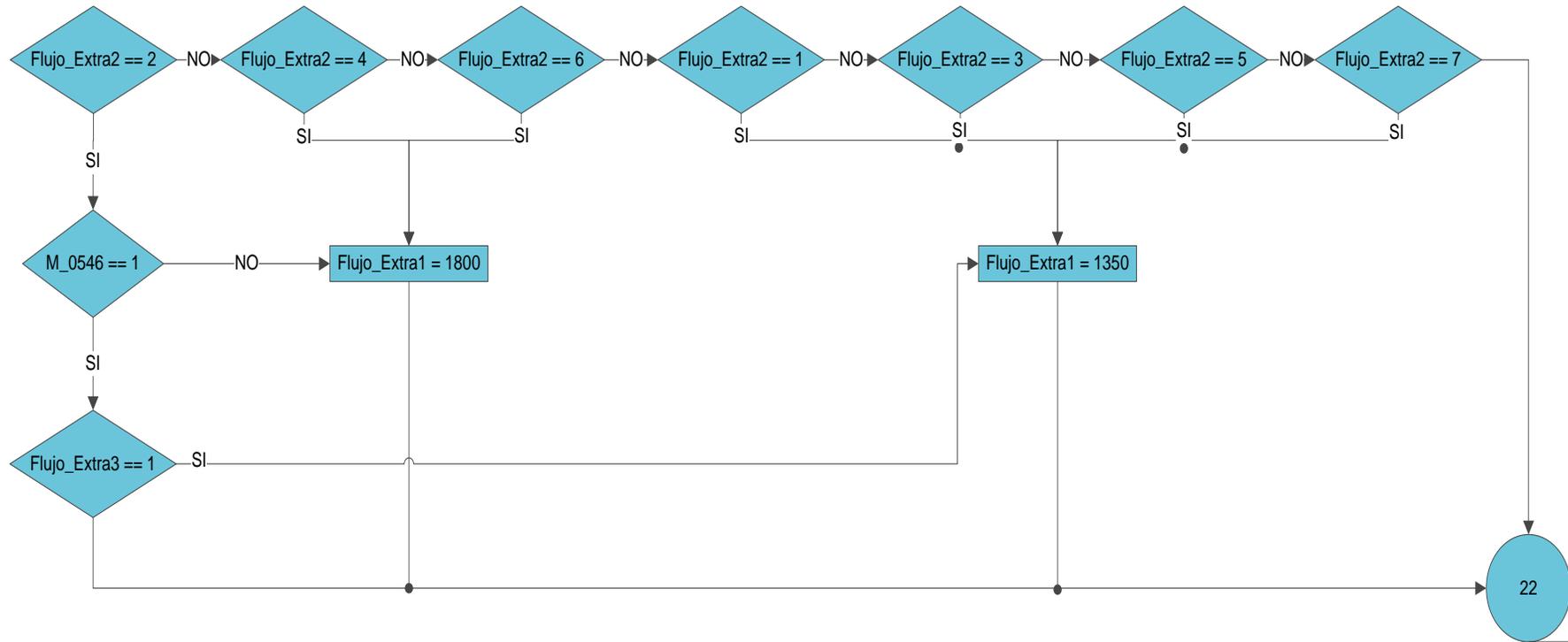


Figura 2.29. Diagrama de flujo sobre el proceso de asignación de la velocidad de funcionamiento según el número de brazos de carga activados.

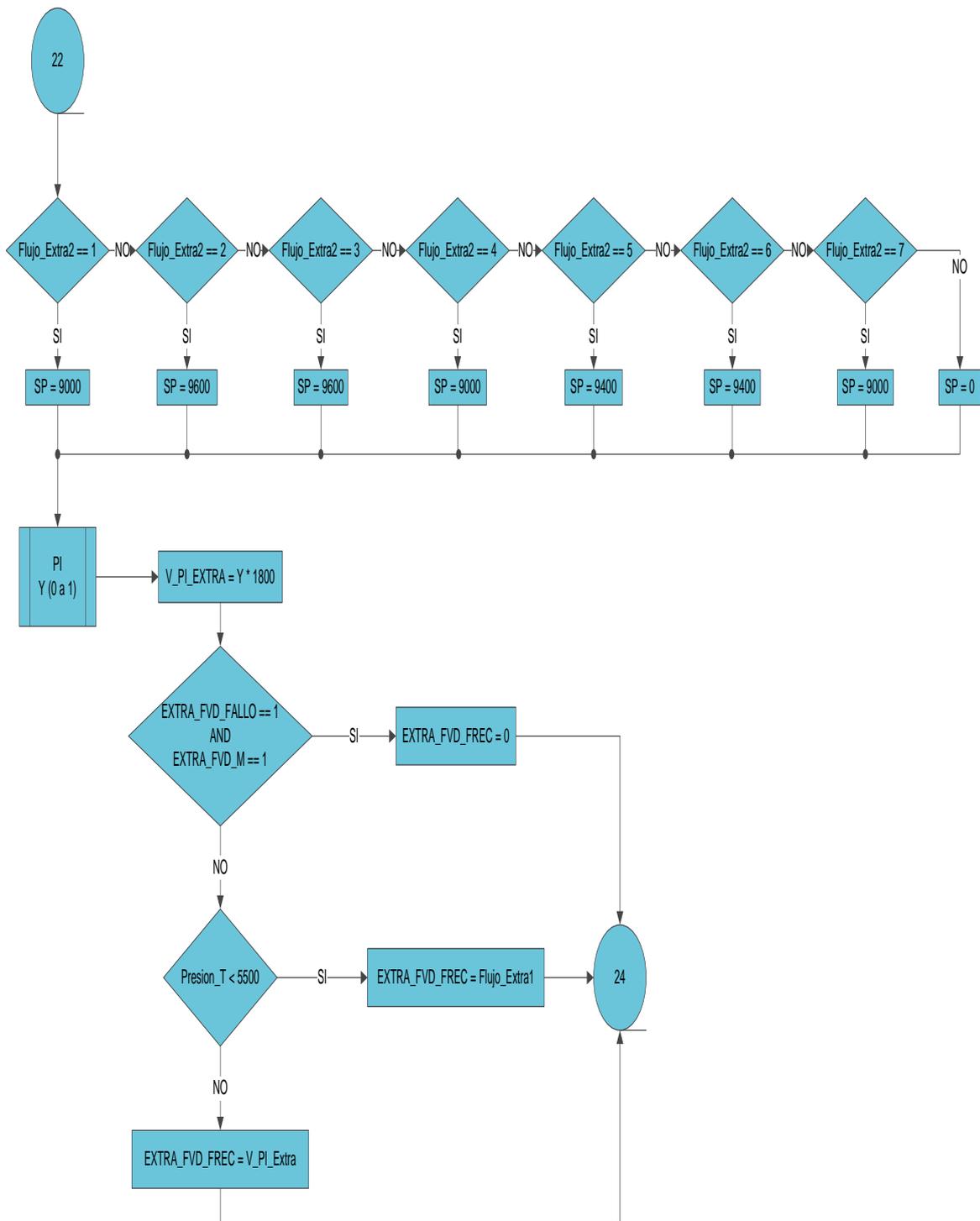


Figura 2.30. Diagrama de flujo del proceso para establecer la velocidad de funcionamiento según el número de brazos y la presión promedio en la tubería.

Variable	Descripción	Tipo
Detener_Aux3	Detiene la electrobomba auxiliar 3, es la primera en recibir la orden de detenerse.	Booleano
Detener_Aux2	Detiene la electrobomba auxiliar 3, es la segunda en recibir la orden de detenerse.	Booleano
Detener_Aux1	Detiene la electrobomba auxiliar 3, es la tercera en recibir la orden de detenerse.	Booleano
Detener_Principal	Detiene la electrobomba auxiliar 3, es la última en recibir la orden de detenerse.	Booleano
ENC_BPE	Envía la orden de encendido por arranque directo a la electrobomba principal.	Booleano
ENC_BAE	Envía la orden de encendido por arranque directo a la electrobomba auxiliar 1.	Booleano
ENC_BA2E	Envía la orden de encendido por arranque directo a la electrobomba auxiliar 2.	Booleano
ENC_BA3E	Envía la orden de encendido por arranque directo a la electrobomba auxiliar 3.	Booleano
Extra_MC_M	Variable que indica si el variador de frecuencia se encuentra en mantenimiento o en falla.	Booleano
I_0060	Entrada del sensor de presencia de voltaje.	Booleano
NO_BPE	Variable que indica que la electrobomba principal debe detenerse. Esto sucede cuando la electrobomba 3 es principal y se activa sólo con los brazos 19 y/o 22.	Booleano
%400260	Dirección de la palabra de encendido del variador de frecuencia	

Tabla 2.24. Variables que se utilizan para detener de manera secuencial las electrobombas. También se muestran las variables que encienden las mismas.

En la Figura 2.32 se puede constatar, según el diagrama de flujo el condicionado de encendido de las electrobombas que se basa en el condicionado del sistema antiguo.

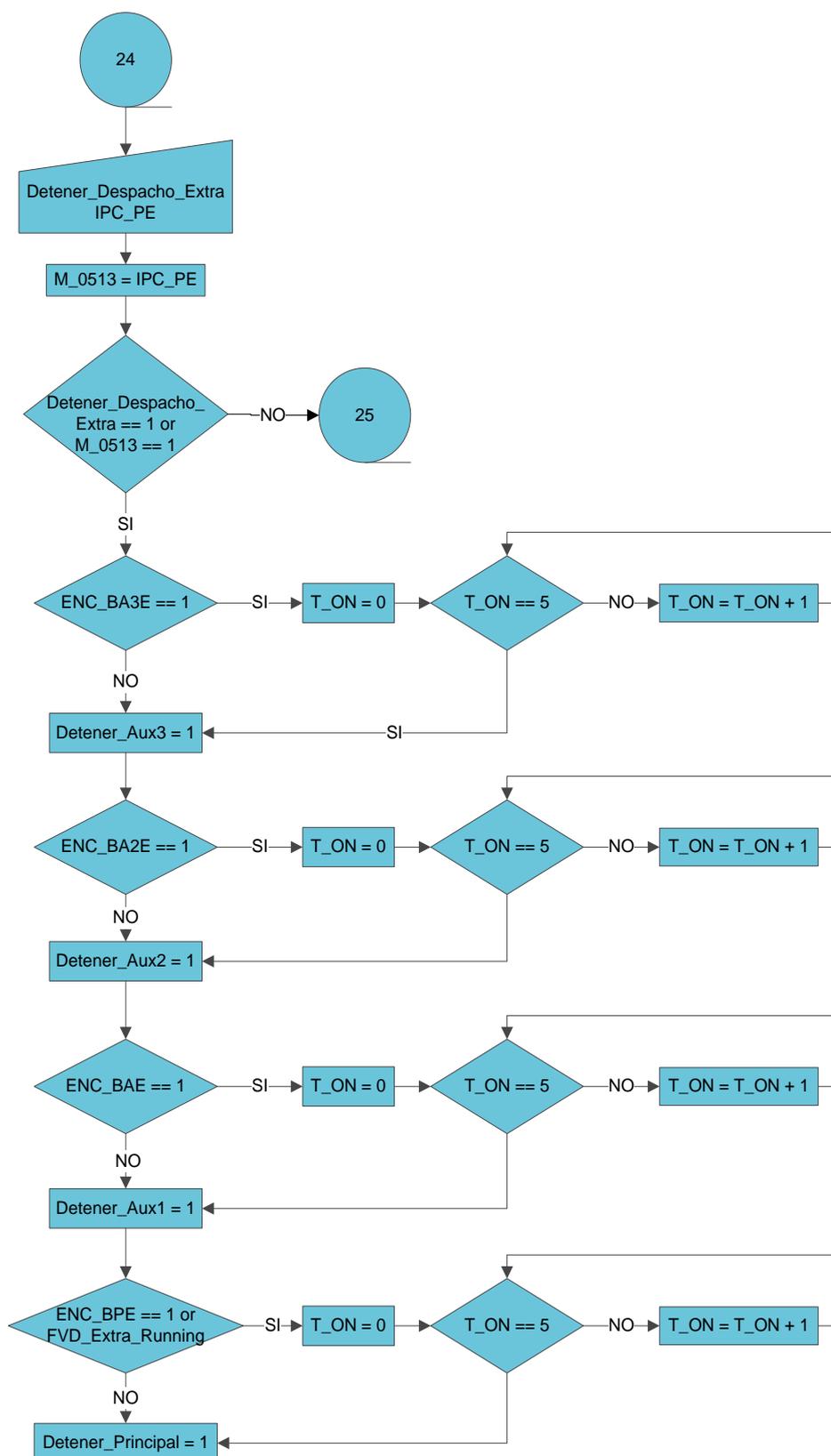


Figura 2.31. Diagrama de flujo que describe la manera en que se detiene el despacho al detener de manera secuencial cada una de las electrobombas.

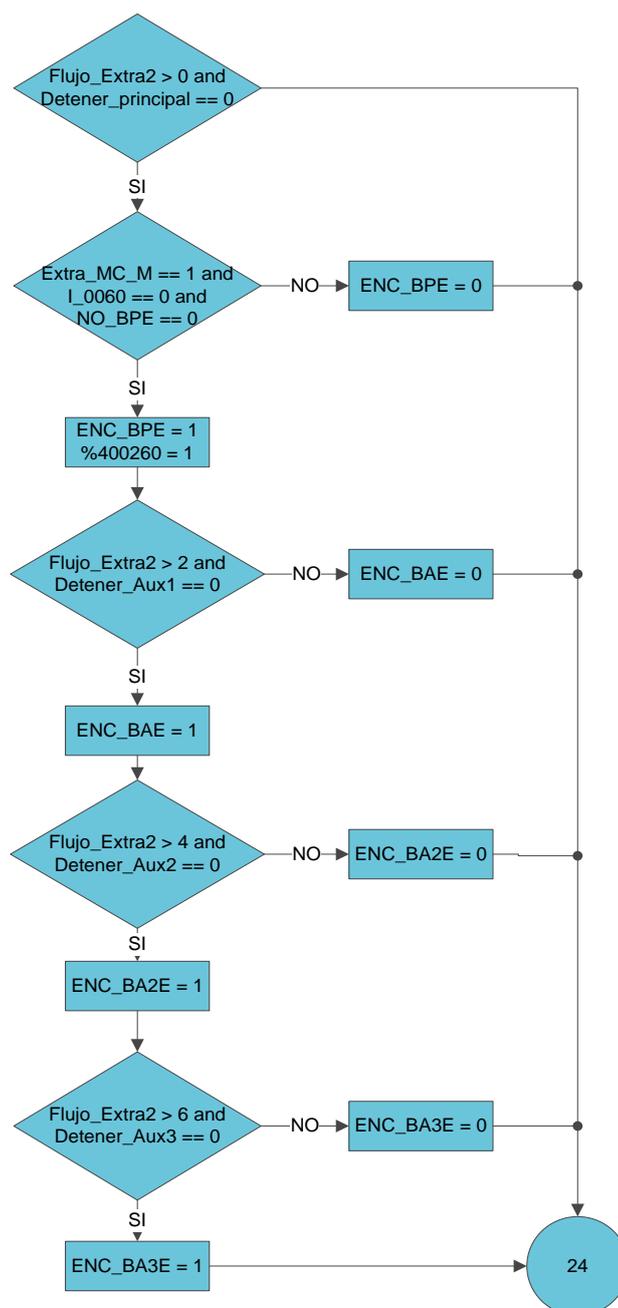


Figura 2.32. Diagrama de flujo que denota el encendido de las electrobomba condicionado por las variables de detención.

Así como se detiene el despacho con el apagado secuencial de las electrobombas, también se debe reiniciar encendiendo las electrobombas una por una en la secuencia invertida, es decir; primero se enciende la principal con la desactivación de las variables de detención, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.33.

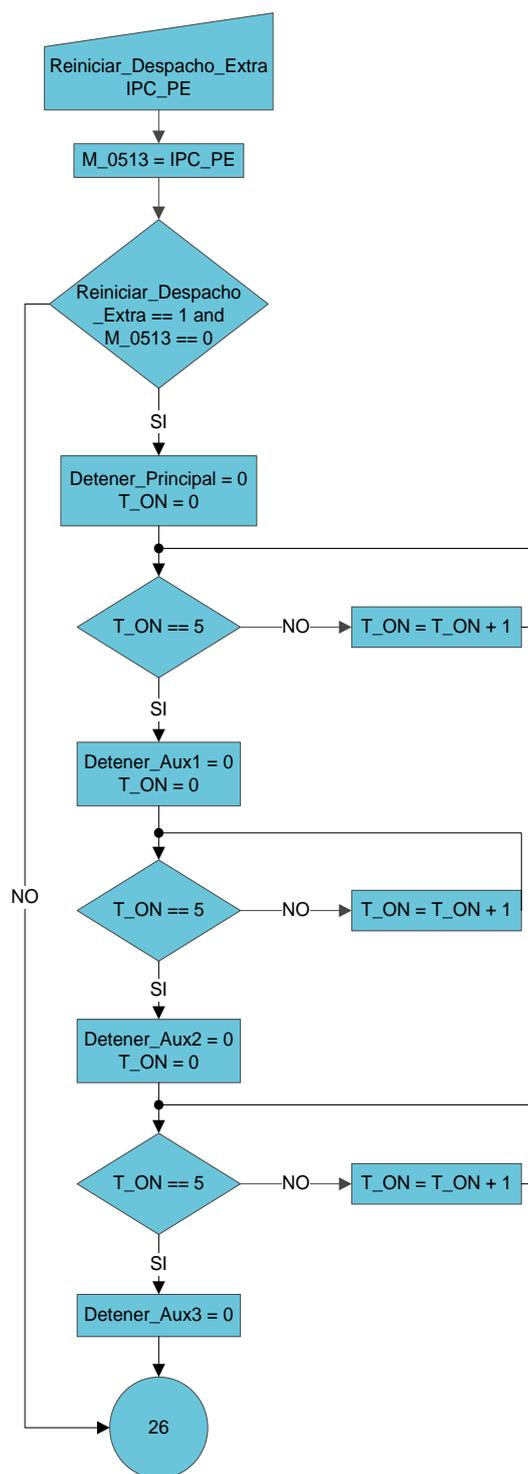


Figura 2.33. Diagrama de flujo que muestra el reinicio del despacho con la desactivación de las variables de detención.

Para mayor comprensión del programa, se muestra el código completo en el Anexo 11.

### 2.2.1.2 Interfaz Hombre-Máquina gasolina Extra

La interfaz Hombre – Máquina está implementada en una PC ubicada en la sala de control mediante el software INTOUCH de la empresa Wonderware; y en un touch panel MAGELIS ubicada en el Centro de Control de Motores programado en Vijeo Designer software de la empresa Schneider Electric.

Para administrar la red se utiliza **Archestra System Managemet Console**, para lo cual se debe instalar primeramente los respectivos **DAServer**, específicamente para la red del terminal están instalados los **DASMBTCP** (PLC Quantum, touch panel MAGELIS) y **DASMBSerial** (PLC's Momentum y TIO's). En TCPIP\_PORT se configura el DAServer; se ingresa la dirección IP del PLC Quantum, el Topic Name e intervalo de actualización de la aplicación en Intouch como muestran las Figura 2.34. y Figura 2.35. respectivamente.

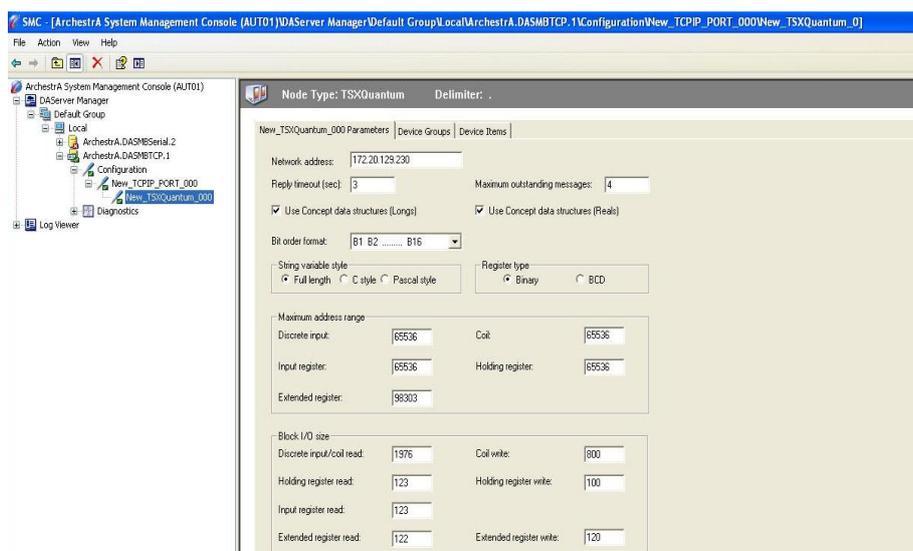


Figura 2.34. Configuración de la IP de Archestra DASMBTCP.

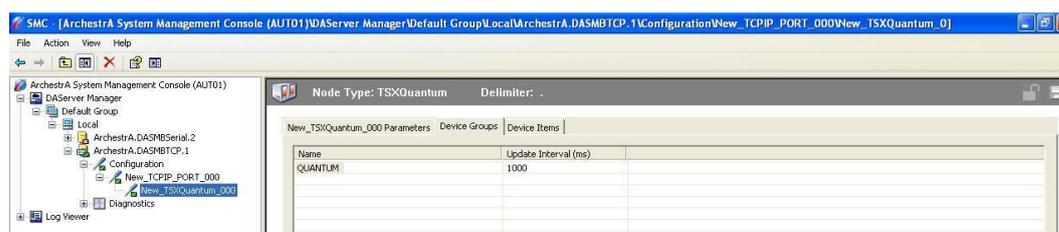


Figura 2.35. Configuración del Topic Name de Archestra DASMBTCP.

Se utiliza como redundancia una comunicación Modbus Plus para la visualización de datos técnicos de los actuadores que se encuentran en los tanques de almacenamiento y patio de bombas (MOM2, MOMENTUM) así como datos del PLC (QUANTUM). Para ello se configura directamente el I/O Server con sus diferentes Topic Name, como se muestra en la Figura 2.36.

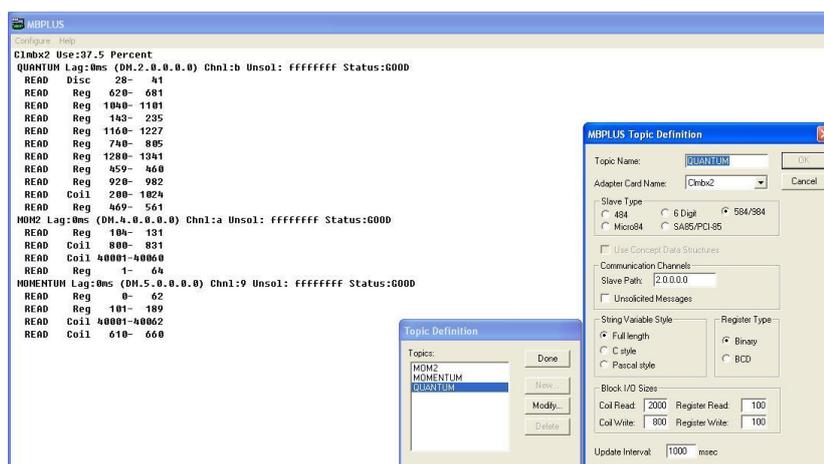


Figura 2.36. Configuración del Topic Name de MBPLUS.

Es importante detallar los campos usados para los diferentes Access Name usados en la HMI:

**Access Name:** Contiene la información que es usada para comunicarse con otra fuente de datos de I/O incluido el Node Name, Application Name, y Topic name. En este campo se ingresa el nombre del dispositivo con el que el usuario va a comunicarse; para nuestro caso se ingresa el nombre de los PLC's que se va a utilizar (QUANTUM, MOMENTUM, MOM2).

**Node Name:** En este campo se ingresa el nombre del nodo en el cual se encuentra el dispositivo, dado que el proyecto se encuentra en el mismo nodo se puede dejar este campo vacío.

**Application Name:** En este campo se ingresa el nombre del I/O server que se va a utilizar. Debido a que los valores están dados desde un I/O server Modbus Plus se usa MBPLUS y DASMBTCP.

**Topic Name:** Este campo contiene el nombre del archivo cargado en el dispositivo (QUANTUM, MOMENTUM, MOM2). Como muestra la Figura 2.37:

Figura 2.37. Ventana para el Nombre de Acceso QUANTUM.

### 2.2.1.2.1 HMI en INTOUCH

La interfaz Hombre-Máquina implementada en INTOUCH se modificó de manera que presente datos y condiciones actuales tanto del patio de bombas, islas de carga y tanques de almacenamiento, así como una presentación moderna. La identificación de los equipos de campo está en base al manual de identificación del terminal que se explica en la parte de Normas del Capítulo III. Como se muestra en la Figura 2.38 se modificó la pantalla de acceso y el menú inferior, mientras que en la Tabla 2.25. se describen las partes de esta ventana.



Figura 2.38. Pantalla acceso actual de la HMI INTOUCH

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Encabezado	Muestra información general del espacio en disco, memoria RAM disponible, historial de actividades, fecha, hora y usuario activo.
2	Ingreso	Permite ingresar el nombre de usuario y su respectiva contraseña que le permite acceder según el nivel de acceso: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador: acceso bajo, niveles de tanques y reconocimiento de alarmas.</li> <li>• Jefe de patio: acceso medio, a configuración de bombas.</li> <li>• Mantenimiento: acceso total, pantallas de mantenimiento.</li> </ul>
3	Menú inferior	Acceso: muestra la ventana de acceso.
		Ir A: accede a otras pantallas.
		Extra: muestra la ventana de operación de gasolina Extra.
		Súper: muestra la ventana de operación de gasolina Súper.
		Premium: muestra la ventana de operación de gasolina Premium.
		Diesel 2: muestra la ventana de operación de gasolina Diesel 2.
		Nivel de tanques: muestra información de nivel, temperatura, entre otros, de los tanques de almacenamiento.
		Respaldo Datos: realiza un respaldo de los datos del sistema.
		Bypass válvulas: activa ó no bypass de las válvulas del patio de bombas.
		Alarmas: muestra alarmas presentes en el sistema.
Parada de emergencia: paro total del sistema de despacho.		

Tabla 2.25. Descripción de las opciones de la pantalla de acceso de la HMI INTOUCH.

Anteriormente existía una ventana emergente cuando se presiona el botón Ir A, lo cual no es muy eficiente y se optó por cambiarla por un menú desplegable como se muestra en la Figura 2.39. y en la Tabla 2.26. se detallan las opciones que se pueden acceder mediante éste menú.



Figura 2.39. Imagen que muestra las opciones del menú desplegable Ir A.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Mantenimiento	Ventana donde se puede encontrar la opción de habilitar el mantenimiento de los brazos de carga.
2	Bomba Contra incendios	En esta ventana se encuentran los botones de activación de la bomba contra incendios.
3	Histórico Extra	Presentación de las gráficas de datos históricos de gasolina Extra.
4	Históricos	Presentación de las gráficas de datos históricos de todo el sistema de despacho.
5	Nivel Esferas	Ventana donde se muestran los niveles y datos informativos de las esferas.
6	Nivel Tanques	Pantalla de visualización general de niveles de los tanques.
7	Alarmas Tanques	Visualización de las alarmas existentes específicamente de los tanques.
8	Alarmas	Visualización de otras alarmas existentes en el sistema de despacho.

Tabla 2.26. Descripción de las opciones a las que se puede acceder a través del botón Ir A del Menú Inferior.

La siguiente ventana que requiere modificaciones es la de Operación de Gasolina Extra. La Figura 2.40., es una imagen de esta ventana con las correcciones respectivas que se detallan en la Tabla 2.27.

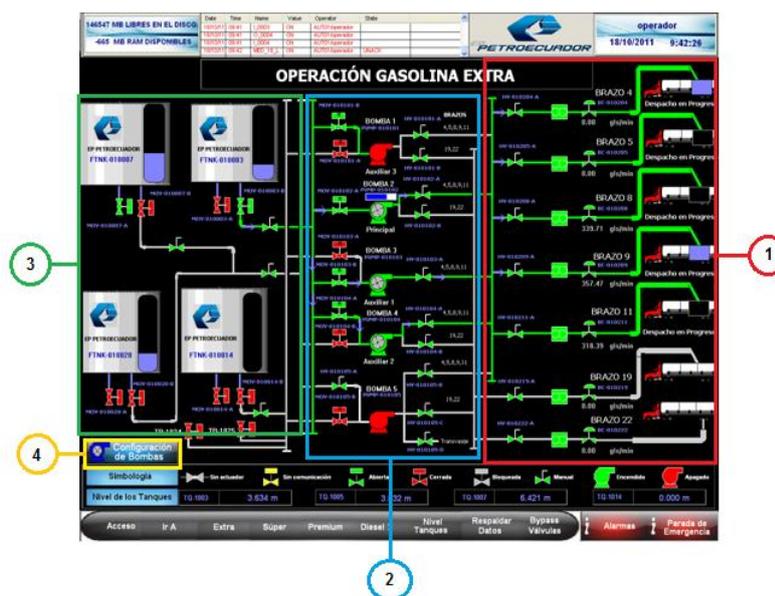


Figura 2.40. Imagen de la ventana de Operación de Gasolina Extra con las modificaciones respectivas.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Brazos de Carga	Actualización de 4 a 7 el número de brazos de carga, así como también se muestra la información de flujo de combustible en gls/min.
2	Patio de Electrobombas	Modificación de la nomenclatura de actuadores, electrobombas y válvulas manuales. También se añadió un indicador de tiempo de ciclo sobre la principal
3	Tanques de almacenamiento	Se actualizó la nomenclatura de los tanques y actuadores también se agregaron los actuadores y la tubería de salida correspondientes a las esferas 24 y 25. Se debe aclarar que el color correspondiente a gasolina Extra es el azul, como se puede ver en cada tanque y camiones tanqueros.
4	Configuración de Bombas	A diferencia de la HMI anterior, se acordó reemplazar la ventana de configuración de bombas por una ventana emergente más amigable que aparece cuando se presiona el botón Configuración de bombas que se encuentra en cada pantalla de Operación.

Tabla 2.27. Descripción de las modificaciones realizadas en la ventana de Operación de Gasolina Extra.

Dentro de la lógica de control es necesario seleccionar las electrobombas que se encuentran disponibles según el tanque del cual se va a realizar el despacho, por esta razón en la ventana emergente de configuración de bombas se puede

encontrar estas opciones. También se pueden observar dos botones cuya función es Detener y Reiniciar el despacho ya que antes de realizar algún cambio en la selección de tanque y electrobombas se requiere detener el despacho, y luego de aceptar los cambios realizados se debe reiniciar el despacho. En la Figura 2.41 se muestra una imagen de la ventana en mención y en la Tabla 2.28 la descripción de sus partes.

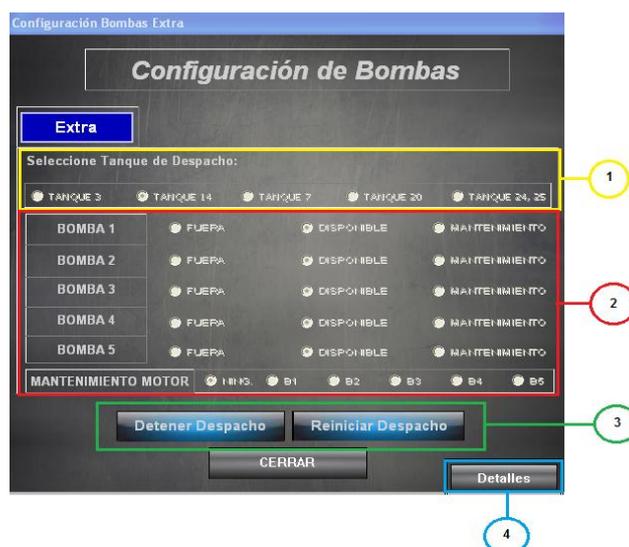


Figura 2.41. Imagen de la Ventana de Configuración de Bombas de gasolina extra.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Selección de Tanque de despacho	Aquí se debe seleccionar el tanque del cual se va a realizar el despacho. Los tanques de almacenamiento disponibles son Tanque 3, 7, 14, 20 y las esferas 24 y 25.
2	Disponibilidad de Electrobombas	En esta opción se selecciona la disponibilidad de las electrobombas que pueden estar: Fuera, Disponibles o en Mantenimiento.
3	Botones de Control de Despacho	Son dos botones: Detener Despacho y Reiniciar Despacho que se utilizan para controlar el despacho.
4	Detalles	Botón que despliega información detallada de las electrobombas.

Tabla 2.28. Descripción de las partes de la ventana de Configuración de Bombas de gasolina extra.

Los botones de control de despacho deben ser utilizados únicamente por el personal autorizado del terminal, cuando se necesite configurar las electrobombas ó detener el despacho ante alguna eventualidad.

Al detener ó reiniciar el despacho se presenta una ventana emergente de confirmación (Figura 2.42. y Figura 2.44.), así como también una ventana para indicar el progreso de apagado de las electrobombas (Figura 2.43.) y encendido (Figura 2.45.). El paro y reinicio de encendido se realiza con un intervalo de 2 segundos.

El tiempo total de encendido ó apagado depende del número de electrobombas que estuvieron activadas antes de detener el despacho. Este tiempo de apagado y encendido es de máximo 10 segundos, lo cual agiliza notablemente realizar este proceso en comparación al pasado que se necesitaba alrededor de 20 minutos hasta coordinar con todo el personal encargado de dicho proceso.

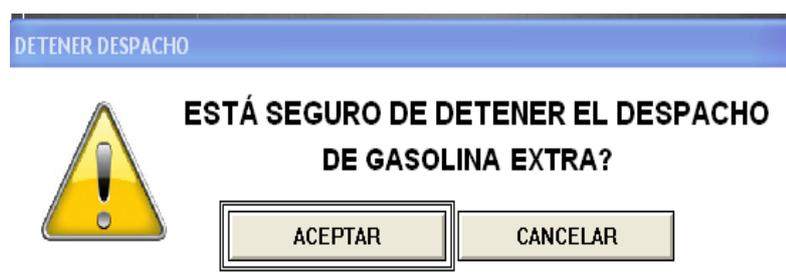


Figura 2.42. Imagen de la ventana emergente de confirmación que aparece al presionar el botón Detener despacho.



Figura 2.43. Imagen de la ventana emergente que indica el progreso al detener las electrobombas de gasolina extra.



Figura 2.44. Imagen de la ventana emergente de confirmación que aparece cuando se presiona el botón Reiniciar despacho.



Figura 2.45. Imagen de la ventana emergente de progreso al reiniciar el despacho.

La Figura 2.46., muestra una imagen de los detalles que se pueden observar al presionar el botón Detalles de la ventana de configuración de bombas mientras que la Tabla 2.29., describe la información que se presenta.

En la ventana de información del variador de frecuencia se añadió el dato indicador de presión existente en la tubería y la referencia de presión dado en PSI, para visualización del control proporcional integral implementado, esto se puede observar en la Figura 2.47 y Tabla 2.30.

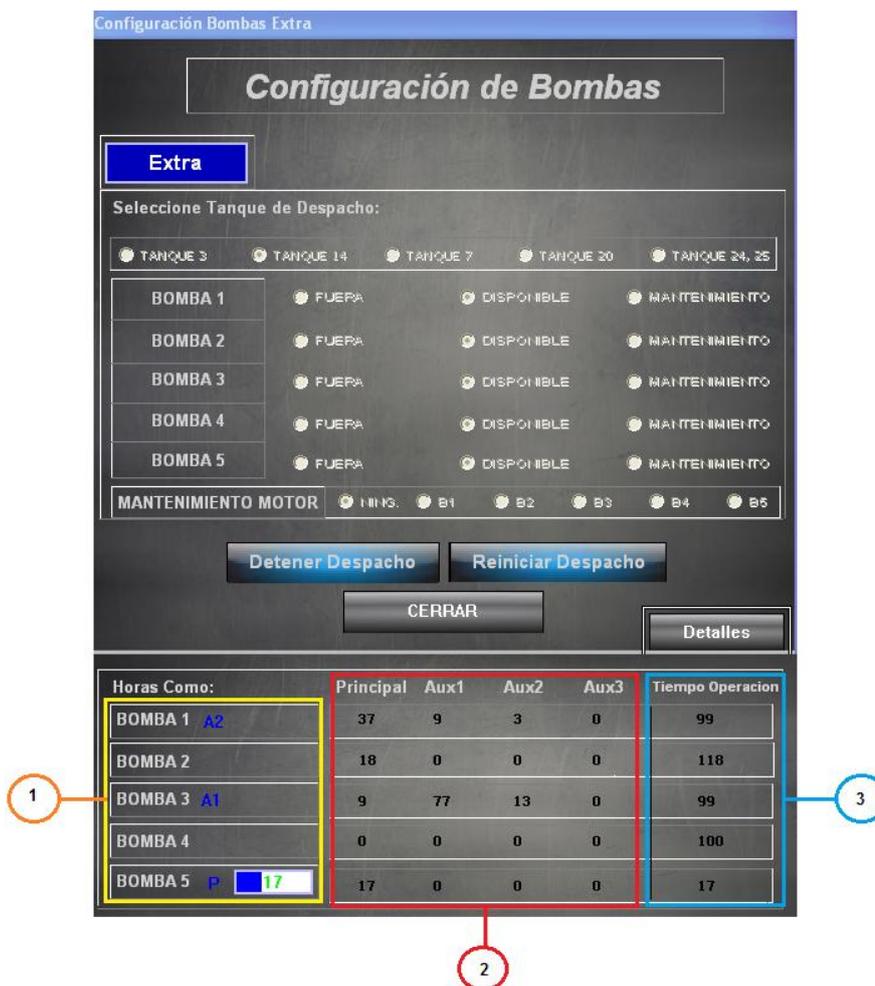


Figura 2.46. Imagen de los Detalles de las electrobombas de gasolina extra.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Detalle de configuración de Bombas.	Muestra la configuración actual de las electrobombas y en la principal se tiene una barra indicadora del tiempo de ciclo (50 horas) de la misma.
2	Número de horas de cada electrobomba	Se detallan el número de horas como principal, auxiliar 1, auxiliar 2 y auxiliar 3. Éstos indicadores se reinician cuando se completa el ciclo de trabajo de cada electrobomba.
3	Tiempos de Operación	Son indicadores de las horas de operación totales de cada electrobomba. Al alcanzar el valor de 2000 horas se reinicia el contador y se activa una alarma indicando que se requiere mantenimiento.

Tabla 2.29. Descripción de la ventana desplegable de Detalles de las electrobombas de gasolina extra.



Figura 2.47. Imagen de la ventana donde se muestra la información del Variador de Frecuencia.

Número	Acción / Ventana	Descripción
1	Presión (PSI)	Indicador de presión existente en la tubería de gasolina Extra.

Tabla 2.30. Indicador de presión en la ventana de información del variador de frecuencia.

Para indicar el estado del variador se utiliza la variable STATUS\_FVD\_EXTRA con la dirección 400268 que se comparte en la red mediante el Peer Cop, dicha variable controla 16 bits que se detallan en la Figura 2.48.

En la Figura 2.49. y Tabla 2.31. se presenta el estado de la bomba en la cual se puede resaltar el tiempo de operación que presenta cada bomba.

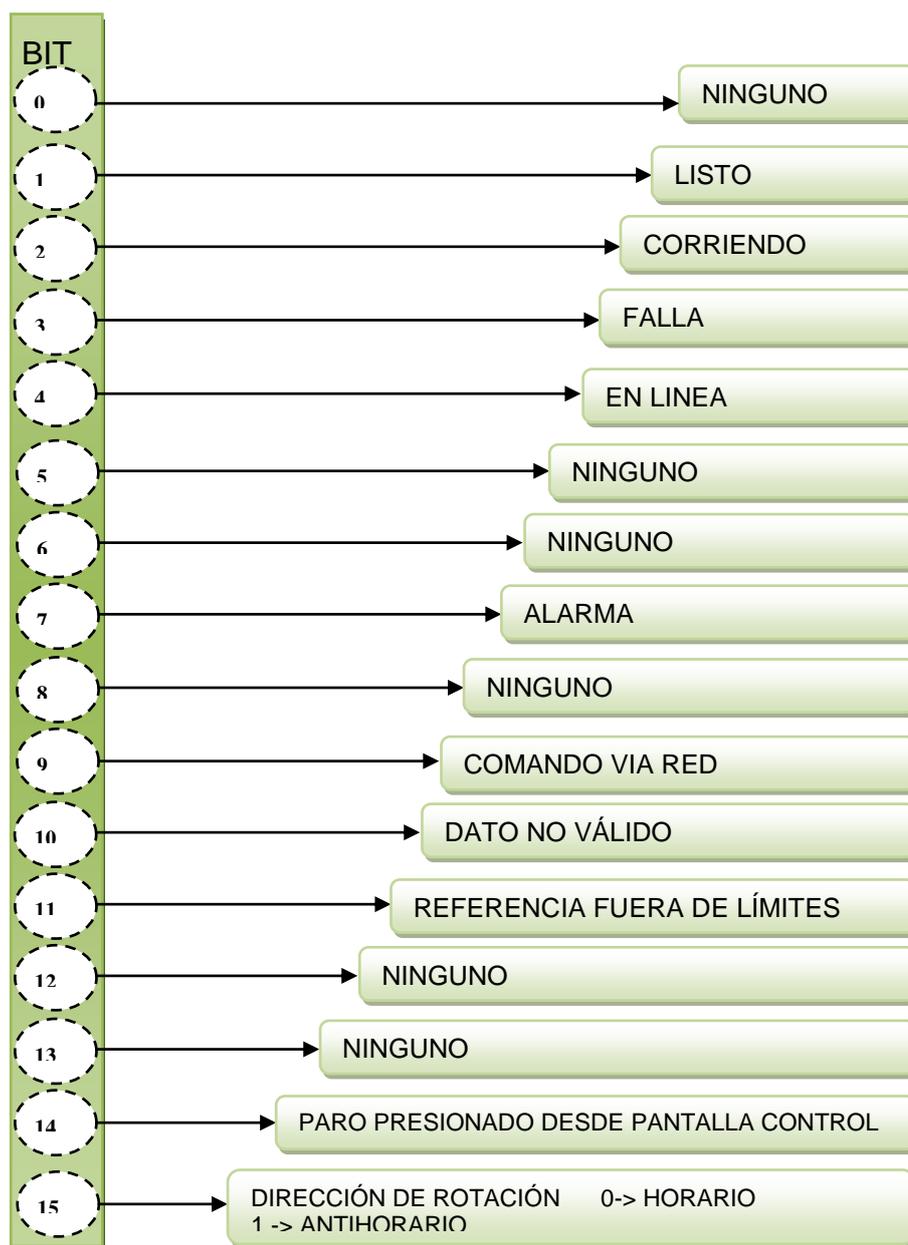


Figura 2.48. Palabra de estado del variador de frecuencia.

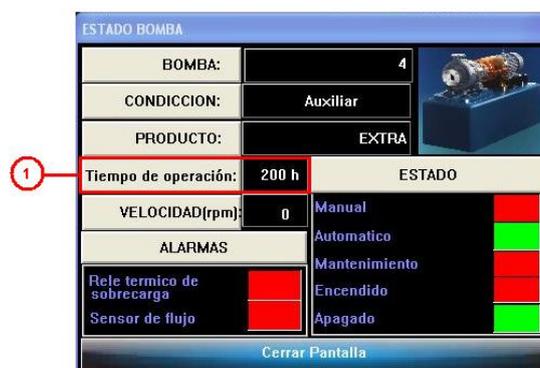


Figura 2.49. Imagen de la ventana donde se muestra el estado de la bomba de gasolina extra.

Número	Acción / Ventana	Descripción
1	Tiempo de operación	Indica el tiempo en horas que ha operado la bomba.

Tabla 2.31. Descripción de la ventana estado de la bomba de gasolina extra.

En la ventana estado de la válvula se actualizó los datos de identificación acorde al manual actual para el terminal, como se muestra en la Figura 2.50.

El estado de la válvula se comparte en la red a través del Peer Cop mediante la palabra de control RR\_0XXX, que varía según el actuador ya sea este de los tanques de almacenamiento ó del patio de bombas. Dicha palabra controla los bits de la Figura 2.51.



Figura 2.50. Imagen de la ventana estado de la válvula.

En todo sistema de control se necesita respaldar la información en una base de datos con la finalidad de obtener reportes, estadísticas o recuperar información importante, debido a que una falla energética o un reinicio de la memoria RAM del PLC provoca que la información como la configuración y los tiempos de operación de las electrobombas toman valores iniciales (0).

Es por esto que se implementó en la HMI la opción CARGA DESDE BASE DE DATOS, que recupera la información almacenada en el servidor.

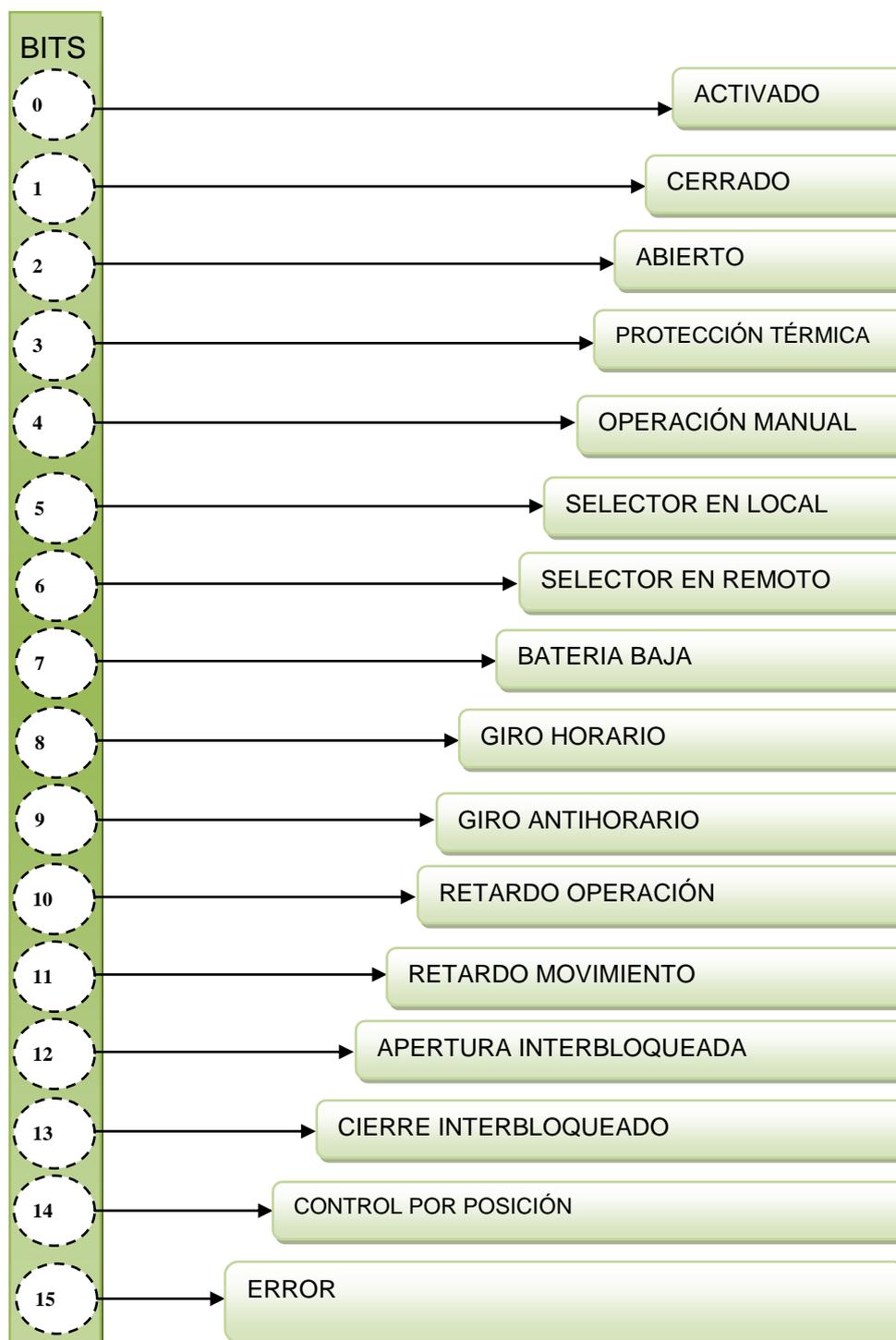


Figura 2.51. Palabra de estado del actuador.

Esta opción se encuentra en el menú inferior de la HMI, y tiene la posibilidad de realizar la carga de los tiempos de operación, para esto se realiza una búsqueda de los datos respectivos en la base de datos y se toman los valores válidos que estuvieron previos al reinicio ó falla de energía. En la Figura 2.52., se puede observar la ventana correspondiente a respaldar datos.



Figura 2.52. Imagen de la ventana Respaldo Datos.

Para mayor referencia de la consulta a la base de datos, se presenta el Anexo 4.

#### 2.2.1.2.2 HMI en touch panel MAGELIS

A continuación se presenta las capturas de las ventanas de gasolina extra que se mejoraron para modernizar y adaptar acorde a la fase I, el touch panel MAGELIS.



Figura 2.53. Pantalla acceso actual de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Niveles de acceso-ayuda	Se presenta los 3 niveles de acceso usados en INTOUCH con sus respectivas claves y logos. Además un botón para cambiar de clave y cerrar sesión actual
2	Contraseña	Presenta un teclado alfanumérico para el ingreso de la clave
3	Usuario	Presenta en todas las pantallas el usuario actual.
4	Menú inferior	<p>Se presenta la hora, logo del usuario actual, logo de la empresa y los siguientes botones para la navegación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alarmas: Indicador intermitente que se activa cuando se presenta una alarma, para desactivarla se pulsa en Quitar Alarma como muestra la Figura 2.54.</li> <li>• Acceso: Ingresa a niveles de acceso-ayuda</li> <li>• Ir A: permite ingresar a la pantalla Menú principal a partir de la cual se puede acceder a todas las funciones de la HMI, Figura 2.55.</li> <li>• Regresar: regresa a la pantalla anterior.</li> </ul>

Tabla 2.32. Detalle de la pantalla acceso actual de la HMI MAGELIS.

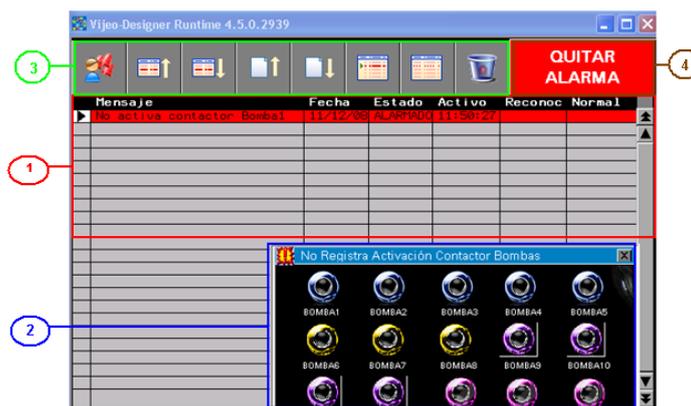


Figura 2.54. Imagen de la ventana Alarma de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Tabla de registro	Se escriben todas las alarmas presentes en el sistema con sus respectivos datos.
2	Reconocimiento de alarma	Al pulsar en Quitar alarma permite reconocer la alarma cuando no se activó una bomba para restablecer el encendido.
3	Opciones	Permite borrar el listado de alarmas y navegar entre ellas.
4	Quitar alarma	Botón que presenta el reconocimiento de alarma.

Tabla 2.33. Detalle de la ventana Alarma de la HMI MAGELIS.

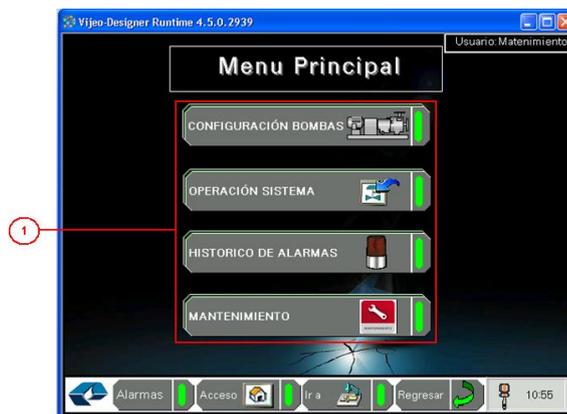


Figura 2.55. Imagen de la ventana Menú Principal de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Opciones Menú Principal	Permite ingresar a la pantalla de Configuración de Bombas, Operación Sistema, Histórico de alarmas, Mantenimiento que permite conFigurar la MAGELIS y administrar cuentas.

Tabla 2.34. Detalle de la ventana Menú Principal de la HMI MAGELIS.



Figura 2.56. Imagen de la ventana Configuración de Bombas de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Configuración de bombas	Ingresa a la configuración de tanques y bombas de Extra, Súper, Diesel Premium y Diesel2.

Tabla 2.35. Detalle de la ventana Configuración Bombas de la HMI MAGELIS.



Figura 2.57. Imagen de la ventana configuración de tanque y bombas de gasolina Extra de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Configuración tanque de despacho	Permite seleccionar un tanque de despacho a la vez. Según el tanque se habilitan o no las bombas con las que tiene conexión.
2	Configuración bomba	Son luces piloto indicadores de la configuración actual de la bomba (Disponible, Fuera, Mantenimiento), el sistema automáticamente asigna su condición (Principal, Auxiliar1, 2, 3) bajo cada bomba. Cuando se detiene el despacho hace invisible las luces piloto y sobre estas, se hace visible botones para cambiar la configuración.
3	Detener Despacho	Al pulsar detiene progresivamente el despacho de Extra desde la electrobomba auxiliar 3 hasta la principal (Figura 2.58.). El botón Reiniciar Despacho se vuelve intermitente.
4	Reiniciar Despacho	Al pulsar reinicia progresivamente el despacho de Extra, encendiendo la electrobomba principal hasta la auxiliar 3 (Figura 2.58.) y al finalizar se ubica en la pantalla Operación Gasolina Extra.

Tabla 2.36. Detalle de la ventana configuración de tanque y bombas de gasolina Extra de la HMI MAGELIS.

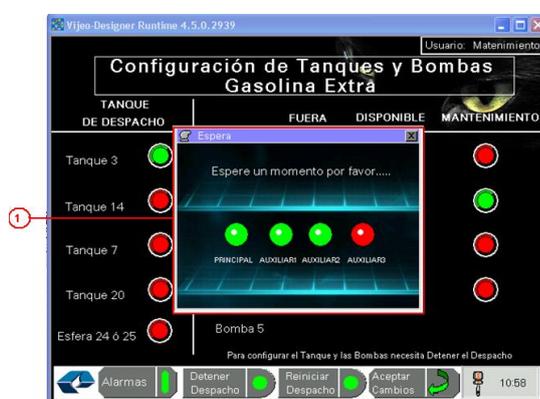


Figura 2.58. Imagen de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina Extra de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Espera	Muestra el encendido ó apagado de las electrobombas principal y auxiliares.

Tabla 2.37. Detalle de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina Extra de la HMI MAGELIS.

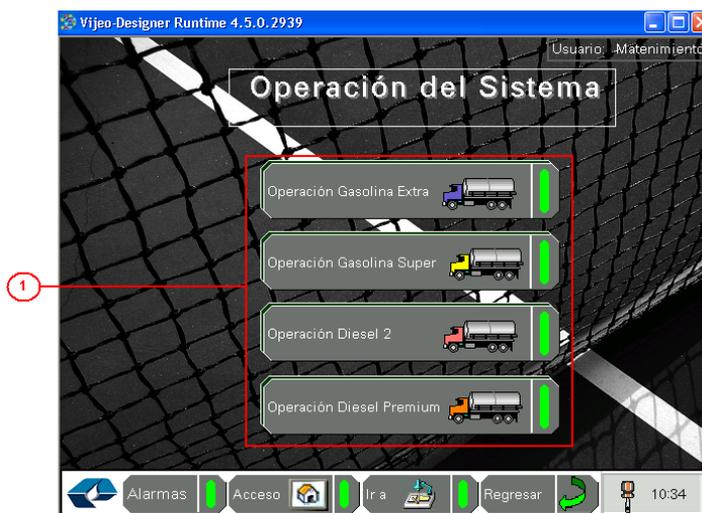


Figura 2.59. Imagen de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Operación del sistema	Permite ir a las ventanas de Operación de Gasolina Extra, Gasolina Súper, Diesel 2, Diesel Premium.

Tabla 2.38. Detalle de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS.



Figura 2.60. Imagen de la ventana operación gasolina extra del sistema de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Tanques de almacenamiento	Muestra la identificación, animación de los tanques, con sus respectivos actuadores de las válvulas de entrada y salida. Al pulsar sobre cada actuador se muestra la Figura 2.63.
2	Patio de bombas	Muestra la identificación, animación de las bombas y actuadores. Al pulsar sobre cualquier bomba auxiliar se presenta la Figura 2.61., si se pulsa sobre la bomba principal se muestra la Figura 2.62., y sobre cualquier actuador se presenta la Figura 2.63.
3	Brazos de carga	Muestra los brazos de carga de extra y auto tanques con su respectiva animación.

Tabla 2.39. Detalle de la ventana operación gasolina extra del sistema de la HMI MAGELIS.

En la ventana de la Figura 2.6 el estado de la bomba se resalta el tiempo de operación de la bomba en horas. En la Figura siguiente se puede apreciar la bomba 1 y 2.



Figura 2.61. Imagen de la ventana estado bomba de gasolina extra con arranque directo de la HMI MAGELIS.

En la ventana de la Figura 2.62 el estado variador se resalta el tiempo de ciclo de la bomba y la presión existente en la tubería como variable de proceso y el valor de presión de referencia.



Figura 2.62. Imagen de la ventana estado bomba de gasolina extra con variador de la HMI MAGELIS.

Únicamente para el personal de mantenimiento al presionar sobre el botón **Presión/ Ref. Presión** se presenta la gráfica a tiempo real de la variable Presión (Variable Proceso) y de la variable Ref. Presión (Valor de Referencia) para constatar el correcto desempeño. Dicha gráfica se presenta en la sección de Resultados del presente capítulo.

En la ventana de la Figura 2.63 el estado válvula se resalta la identificación de los equipos acorde al manual del terminal.



Figura 2.63. Imagen de la ventana estado válvula de gasolina extra con variador de la HMI MAGELIS.

Se desarrolla una ayuda del sistema de despacho con los botones de navegación y principales funciones que necesita conocer el operador, como se muestra en la Figura 2.64.

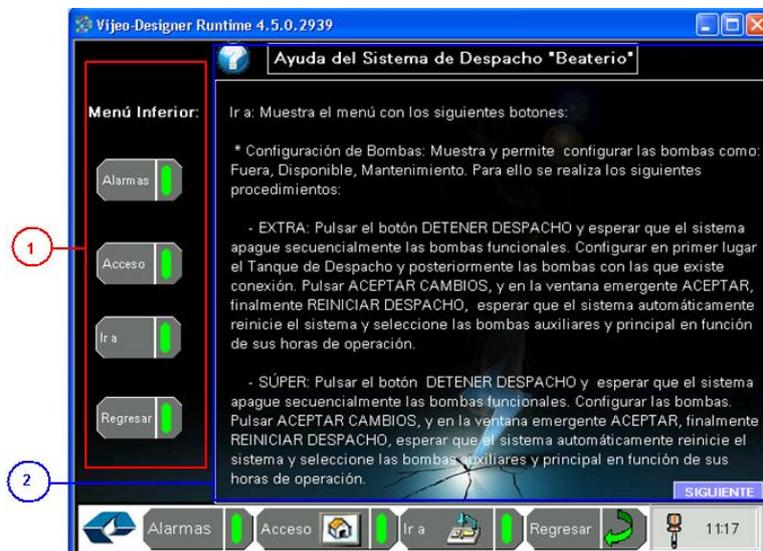


Figura 2.64. Imagen de la ventana ayuda de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Botones del menú inferior	Muestra las diferentes descripciones de ayuda de navegación y funcionamiento del sistema.
2	Descripción	Redacción explicativa.

Tabla 2.40. Detalle de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS.

Se incluyó los mensajes de advertencia e información como muestran las Figuras 2.65 y 2.66.



Figura 2.65. Mensajes de advertencia de la HMI MAGELIS.

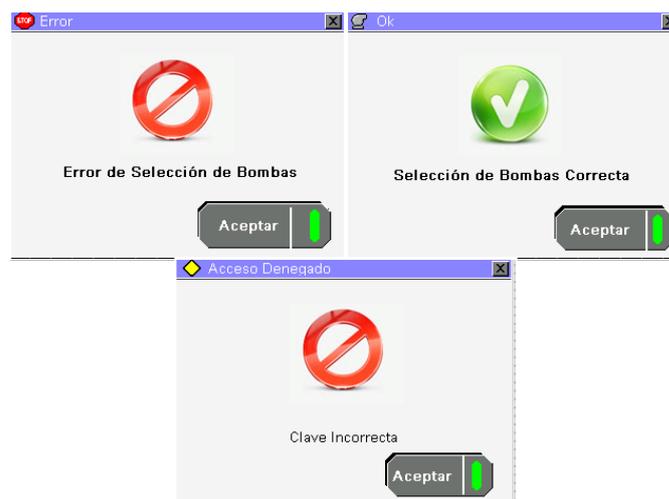


Figura 2.66. Mensajes de información de la HMI MAGELIS.

### 2.2.1.3 Estudio de las nuevas variables para el sistema de control de la Fase I.

En el Anexo 2 se detallan de manera organizada las variables del sistema de despacho de gasolina extra para la Fase I; dichas variables presentan el formato establecido, e incluyen un comentario explicativo para mejor comprensión del código. Se ordenó las tablas por número de bombas, dónde se detallan todas las variables que tienen relación con dicha bomba, su código actual, código propuesto (final), dirección anterior y actual.

Además, se organizó las variables de los actuadores de entrada y salida de los tanques de almacenamiento con su formato anterior y actual.

## 2.2.2 Gasolina Súper

### 2.2.2.1 Lógica de Control gasolina Súper

Se requiere que la configuración de las electrobombas se realice de manera automática considerando su tiempo de operación y disponibilidad. Como se explica en el diseño del programa las electrobombas que se van a controlar son las 6 y 7 con 4 brazos de carga (12, 15, 16, 21).

En primer lugar se debe determinar cuándo se requiere realizar un cambio de configuración, para esto se consideró las siguientes razones:

- Si existe algún cambio en la disponibilidad de las electrobombas ó
- Cuando cualquier electrobomba completó su ciclo de trabajo que en este caso es 28 horas (correspondientes al número aproximado de horas de trabajo de una semana).

En la Tabla 2.41., se detallan las variables que se utilizan para determinar un cambio de configuración y en la Figura 2.67., se muestra el diagrama de flujo respectivo.

Electrobomba	Variable	Descripción	Dirección en el PLC
6	M_0613	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba está disponible.	-
	Ciclo_Bomba6	Variable de tipo Booleano que indica si el tiempo de ciclo de trabajo ha llegado a su límite (28 horas).	-
	M_0606	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba 6 es Principal.	000639
	RWR_0812	Registro de lectura que almacena el tiempo de ciclo de trabajo.	400812
7	M_0633	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba está disponible.	-
	Ciclo_Bomba7	Variable de tipo Booleano que indica si el tiempo de ciclo de trabajo ha llegado a su límite (28 horas).	-
	RWR_0871	Registro de lectura que almacena el tiempo de ciclo de trabajo.	400871
-	Cambio_Combinación Súper	Variable de tipo Booleano que activa cuando se requiere un cambio de combinación.	-

Tabla 2.41. Tabla que describe las variables que se usan para determinar si se requiere un cambio de combinación.

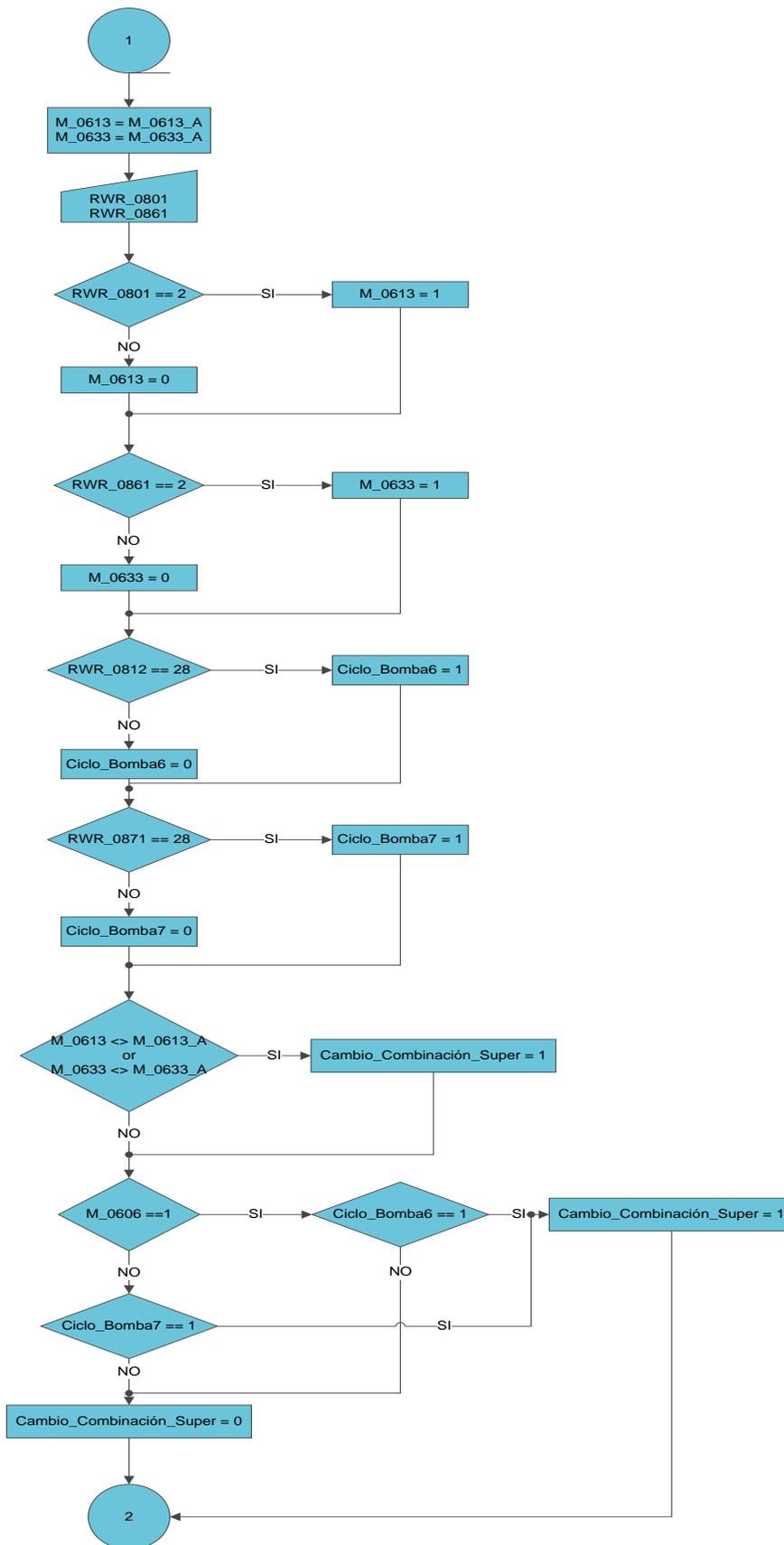


Figura 2.67. Diagrama de flujo que representa el proceso para determinar si se requiere un cambio de combinación.

La variable de bloqueo, en este caso Bloqueo\_Súper habilita la asignación de principal y auxiliar cuando se requiere un cambio de configuración de las electrobombas y cuando se detiene el despacho. Entonces la variable Bloqueo\_Súper se activa cuando Cambio\_Combinación\_Súper es igual a 1 y todas las bobinas de salida que encienden los contactores de arranque directo de las electrobombas y sus respectivos sensores de activación se encuentren desactivados. Lo explicado se muestra en la Tabla 2.42. y en la Figura 2.68.

Electrobomba	Variable	Descripción	Dirección en el PLC
6	I_0006	Sensor de activación del contactor de arranque directo.	100006
	O_0006	Bobina de Salida que activa el contactor de arranque directo de la electrobomba.	000006
7	O_0028	Bobina de Salida que activa el contactor de arranque directo de la electrobomba.	000028

Tabla 2.42. Variables condicionantes de la variable Bloqueo\_Súper.

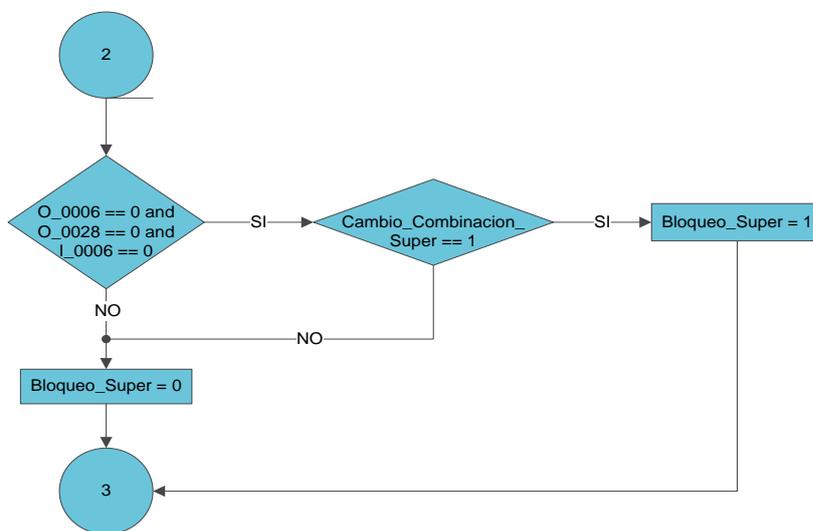


Figura 2.68. Diagrama de flujo de la activación de la variable Bloqueo\_Super.

Ahora, al tener 2 electrobombas la lógica del programa se facilita ya que se realiza solamente una comparación entre sus tiempos de operación y disponibilidad para conocer cuál es el menor. Así la electrobomba con el menor

tiempo será principal y la otra será auxiliar. En la Tabla 2.43. se describen las variables que se utilizan para la determinación de la configuración. Luego de realizar la asignación de principal y auxiliar las variables Cambio\_Combinación\_Súper y Bloqueo\_Súper se desactivan. El proceso se muestra en el diagrama de la Figura 2.69.

Electrobomba	Variable	Descripción	Dirección en el PLC
6	RWR_0801	Registro de lectura/escritura de tipo entero que se lee desde la HMI y determina la disponibilidad de la electrobomba.	400801
	M_0613	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba está disponible.	-
	RWR_0802	Registro de lectura que almacena el tiempo de operación de la electrobomba	400802
	M_0606	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba 6 es Principal.	000639
	M_0622	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba 6 es Auxiliar.	000641
7	RWR_0861	Registro de lectura/escritura que se lee desde la HMI y determina la disponibilidad de la electrobomba.	400861
	M_0633	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba está disponible.	-
	RWR_0862	Registro de lectura que almacena el tiempo de operación de la electrobomba	400862
	M_0607	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba 7 es Principal.	000640
	M_0621	Marca de tipo Booleano que indica que la electrobomba 7 es Auxiliar.	000642

Tabla 2.43. Descripción de las variables que se utilizan para determinar la electrobomba principal y auxiliar.

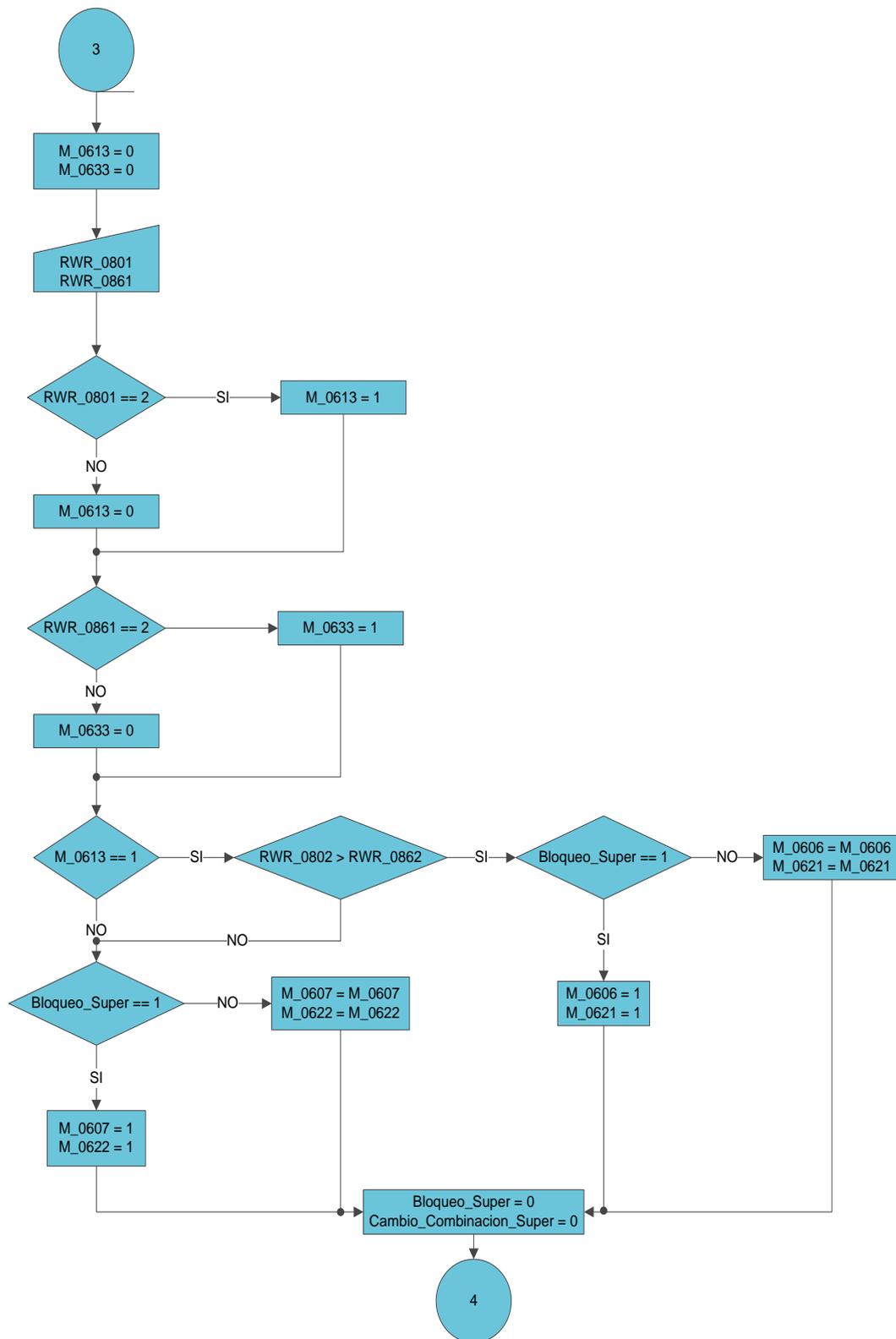


Figura 2.69. Diagrama de flujo que explica la determinación de la electrobomba principal y auxiliar.

La idea de controlar la detención y el reinicio del sistema de despacho también se aplicó a gasolina Súper y es por esto que se tienen dos botones para detener y reiniciar el despacho desde la HMI. Las variables que se utilizan para el control del encendido de las electrobombas se encuentran en la Tabla 2.44., las mismas que representan una condicionante para el encendido de las electrobombas, es decir; si se activa la variable que detiene el despacho, las electrobombas (incluyendo la número 8) que se encuentren encendidas se apagan secuencialmente cada 5 segundos y se volverán a encender cuando se envíe la señal de reinicio.

Es importante mencionar que cuando se activa el paro de emergencia las electrobombas también se apagan de manera secuencial.

El diagrama de flujo de la Figura 2.70 explica las siguientes condiciones que se deben cumplir para el encendido de las electrobombas:

- El actuador correspondiente a la válvula de entrada debe estar abierto o en su defecto el bit de Bypass debe estar activado.
- Cuando se activan uno o más brazos se debe encender la electrobomba principal.
- Si se activan más de 2 brazos se enciende la electrobomba auxiliar.
- La variable que detiene el despacho (Detener\_Despacho\_Súper) debe estar desactivada.
- El estado del selector Local/Remoto debe estar en Remoto, es decir activado.
- El estado del relé térmico de sobrecarga debe estar desactivado.
- Las marcas de bomba y motor en mantenimiento deben estar desactivadas.
- El estado del sensor de presencia de voltaje debe estar desactivado (se activa cuando no existe presencia de voltaje).
- La marca de disponibilidad de electrobomba debe estar activada.

Cuando se cumplen todas las condiciones se asigna 1 a la marca de encendido que activa la bobina de salida.

El programa del PLC que se lo puede encontrar en el Anexo 11, fue diseñado acorde con los diagramas de flujo expuestos, en el programa Concept de la marca Schneider Electric bajo el lenguaje tipo Diagrama de Bloques de Funciones ó FBD.

Variable	Descripción	Dirección en el PLC	Tipo
O_V11	Válvula de succión de la bomba 6 abierta.	000211	Booleano
M_0603	Bypass de la válvula de succión de la bomba 6.	000886	Booleano
Detener_ Despacho_Super	Señal de Detener despacho desde HMI.	001046	Booleano
M_0608	Encender electrobomba principal. Se activa cuando 1 o más brazos de carga están encendidos.	-	Booleano
Detener_ Principal_ Super	Señal que detiene la electrobomba principal.	001054	Booleano
M_0609	Encender electrobomba auxiliar. Se activa cuando más de 2 brazos de carga están encendidos.	-	Booleano
Detener_ Aux1_ Super	Señal que detiene la electrobomba principal.	001055	Booleano
I_0020	Entrada de estado del selector Local/Remoto	100020	Booleano
I_0048	Entrada de estado del relé térmico de sobrecarga.	100048	Booleano

M_0611	Marca de tipo Booleano que indica que la bomba de la electrobomba 6 se encuentra en mantenimiento.	-	Booleano
M_0610	Marca de tipo Booleano que indica que el motor de la electrobomba 6 se encuentra en mantenimiento.	-	Booleano
M_0623	Marca de tipo Booleano que indica que el motor de la electrobomba 7 se encuentra en mantenimiento.	-	Booleano
I_0060	Entrada de estado del sensor de presencia de voltaje.	000640	Booleano
M_0612	Marca de encendido de la electrobomba 6.	-	Booleano
O_0006 O_0028	Bobina de salida que activa el contactor de arranque directo de la electrobomba 6 y 7 respectivamente	000006 000028	Booleano
I_0006	Sensor de activación del contactor de arranque directo de la electrobomba 6.	100006	Booleano
M_0605	Marca que indica alarma de no activación de la electrobomba 6 luego de 10 segundos de enviar la señal de encendido.	000975	Booleano
RZF_6	Reconocimiento de alarma de no arranque de la electrobomba 6 desde HMI.	000926	Booleano

Tabla 2.44. Listado de variables que condicionan el encendido de las electrobombas.

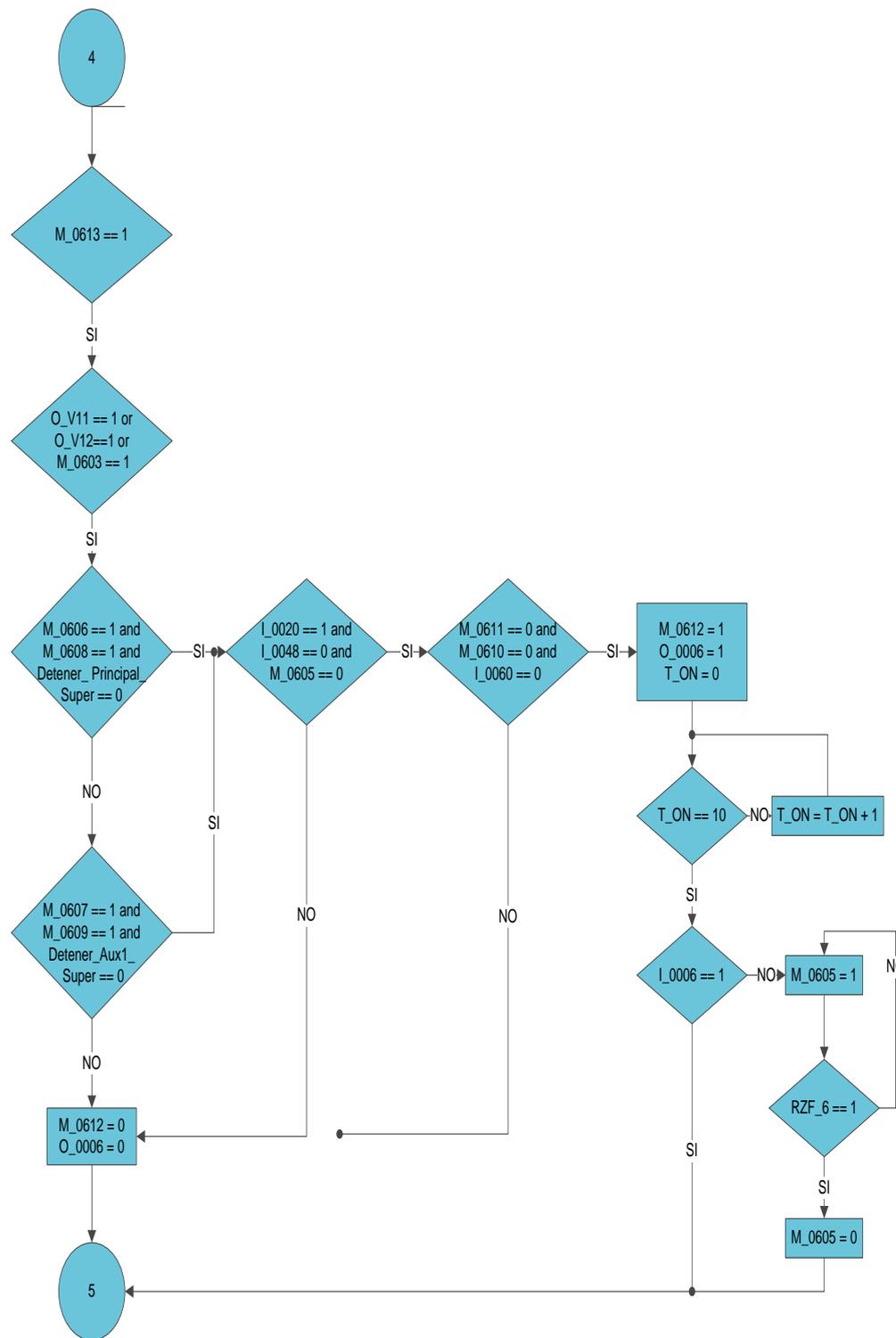


Figura 2.70. Diagrama de flujo que explica el encendido de la electrobomba 6. El diagrama de flujo para el encendido de la electrobomba 7 se encuentra en el Anexo 10.

## 2.2.2.2 Interfaz Hombre-Máquina gasolina Súper

Se diseñó las interfaces para la sala de control en INTOUCH y para el M.C.C. en el touch panel MAGELIS, en la cual se muestra el diagrama de flujo del despacho de gasolina súper desde los tanques de almacenamiento hacia los brazos de carga. Además se muestra la identificación (acorde al manual del terminal) y animación de los equipos similar a los demás combustibles.

### 2.2.2.2.1 HMI en INTOUCH

En la interface con la que se trabajaba anteriormente no constaba la ventana de operación de gasolina súper por lo que se tomó como base la ventana de operación de gasolina extra y se procedió a diseñar la ventana que se muestra en la Figura 2.71., acorde con la situación actual del sistema de despacho de gasolina súper. La Tabla 2.45 se detallan sus partes.

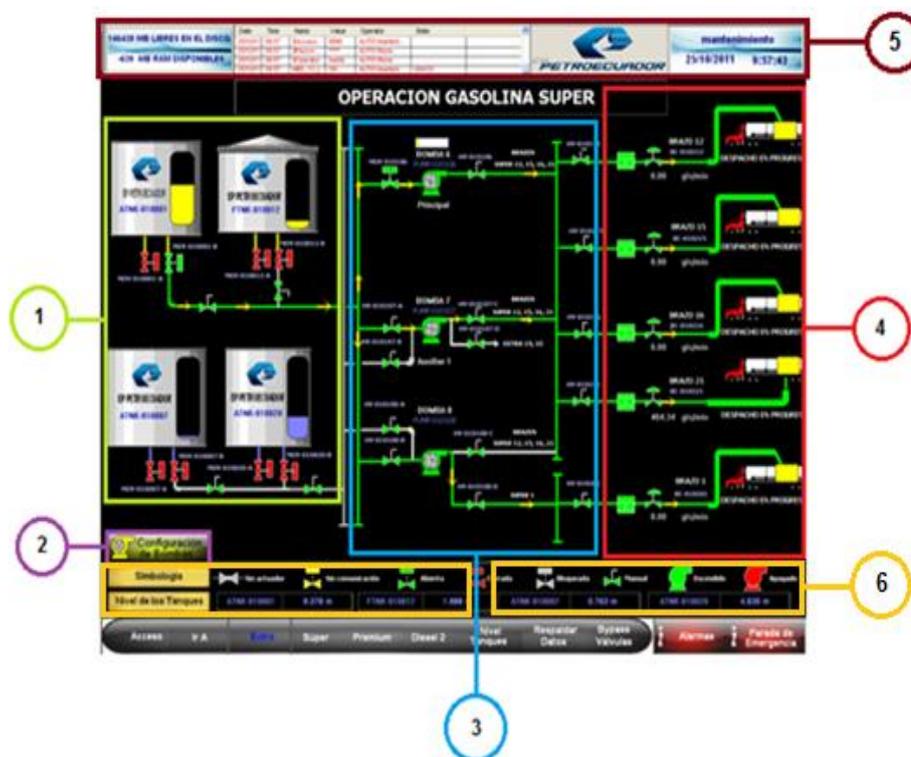


Figura 2.71. Imagen de la ventana de Operación de gasolina Súper.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Tanques de Almacenamiento	Visualización del nivel de los tanques: FTNK-010012, ATNK-010001 correspondientes a gasolina Súper y también los tanques: ATNK.010020 y ATNK-010007 que son de gasolina Extra ya que eventualmente se puede realizar bombeo de estos tanques con la electrobomba 8.
2	Botón de Configuración de Bombas	El personal de despacho y mantenimiento tienen la posibilidad de cambiar disponibilidad de las electrobombas así como ver la información de horas de trabajo de cada una, éste botón despliega la ventana donde se lo puede realizar.
3	Patio de Bombas	Se muestra el estado de las electrobombas, actuadores de succión y válvulas manuales.
4	Brazos de carga	En esta sección se puede monitorear el estado de los brazos de carga de gasolina súper (12, 15, 16, 21 y 22) con su respectiva nomenclatura e información de caudal de flujo en gls/min.
5	Encabezado	Aquí se encuentra la información de la capacidad del disco duro, un registro de eventos del sistema, hora, fecha y nombre de usuario actual.
6	Simbología y Nivel de tanques	Muestra el significado de los símbolos utilizados en la ventana, así como también los datos de nivel de combustible actual de tanques dado en metros.

Tabla 2.45. Descripción de las partes que conforman la ventana de operación de gasolina súper.



Figura 2.72. Imagen de la ventana de información de la electrobomba 7 de gasolina Súper.

La ventana de configuración de bombas de la Figura 2.73, permite: la selección del estado de las electrobombas, la opción de configurar a la electrobomba 8

para el brazo de carga 1 y elegir cuál de los motores de las electrobombas se encuentra en mantenimiento. Todas las opciones permanecen deshabilitadas hasta que se detenga el despacho mediante el botón respectivo. La Tabla 2.46 presenta el detalle de la ventana.

Para controlar el sistema de despacho se encuentran los botones:

- Detener Despacho.- Envía la señal al PLC para que se apaguen las electrobombas, una vez que todas se encuentren apagadas se habilitan las opciones de configuración.
- Reiniciar Despacho.- Luego de realizar la configuración deseada es necesario reiniciar el despacho con éste botón que envía la señal al PLC para que las electrobombas puedan encenderse nuevamente.

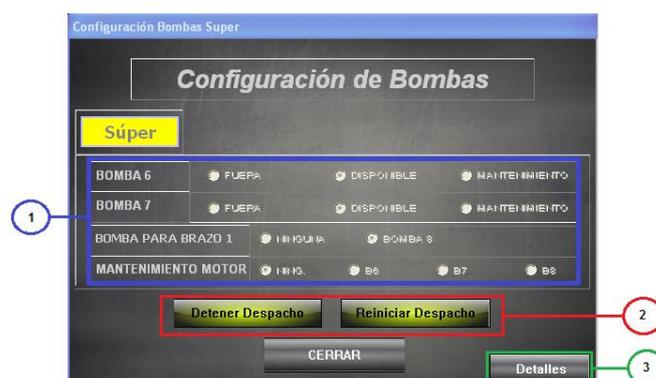


Figura 2.73. Imagen de la ventana de configuración de bombas.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Opciones de Configuración	Selección del estado de las bombas: Fuera, Disponible ó Mantenimiento, configuración de la bomba 8 para el brazo 1 y elección del motor en mantenimiento.
2	Botones de control de despacho	Detener despacho se lo utiliza para enviar la señal de parar el sistema de despacho y poder realizar algún cambio en la configuración de las electrobombas. Reiniciar despacho, luego de realizar el cambio deseado se debe enviar la señal de reinicio del despacho.
3	Detalles	Botón que despliega información detallada sobre las horas de operación de las electrobombas.

Tabla 2.46. Componentes de la ventana de configuración de electrobombas de gasolina Súper.

Por motivos de seguridad, los botones de control del sistema de despacho deben ser utilizados solamente por el personal autorizado, sin embargo para evitar cambios no autorizados o accidentales se muestra una ventana de confirmación al presionar el botón Detener despacho como en la Figura 2.74., así también en la Figura 2.75. se muestra una ventana emergente del progreso de la secuencia para detener las electrobombas cada 2 segundos.

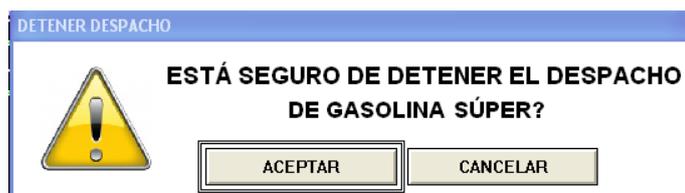


Figura 2.74. Imagen de la ventana emergente de configuración que aparece cuando se presiona el botón Detener despacho.



Figura 2.75. Imagen que muestra la ventana emergente que indica el progreso de la secuencia para detener las electrobombas.

De igual manera, para el botón Reiniciar despacho existe una ventana de confirmación y de progreso para la secuencia de reinicio de las electrobombas como se muestran en la Figura 2.76. y Figura 2.77., respectivamente.

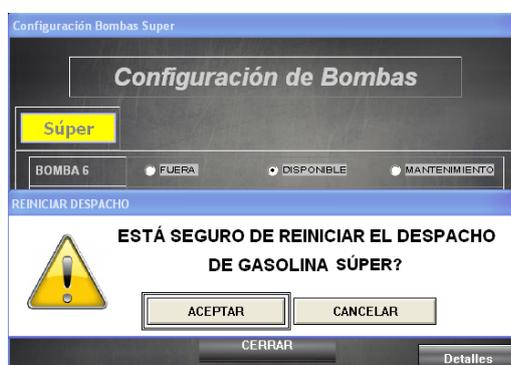


Figura 2.76. Imagen de la ventana de confirmación que aparece cuando se presiona el botón Reiniciar despacho.



Figura 2.77. Imagen de la ventana de progreso de la secuencia de reinicio de la operación de las electrobombas.

La Figura 2.78, es una imagen de la ventana de configuración de bombas con la información de detalles, en la Tabla 2.47. se describe cada uno de los mismos.

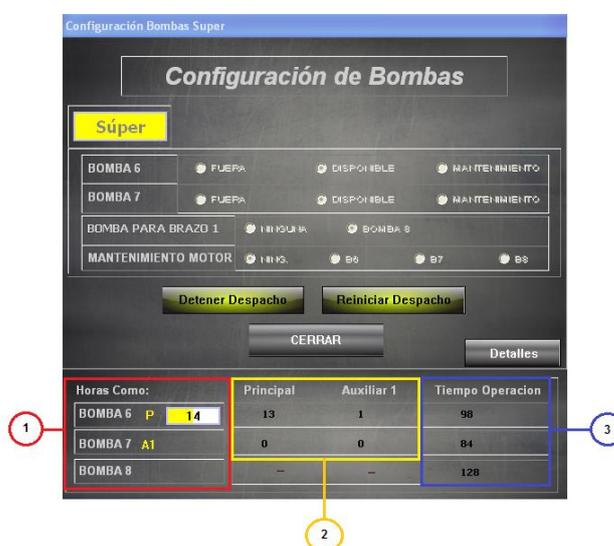


Figura 2.78. Imagen de la ventana de configuración de bombas con la información de detalles.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Detalle de configuración de Bombas.	Muestra la configuración actual de las electrobombas y en la principal se tiene una barra indicadora del tiempo de ciclo (28 horas) de la misma.
2	Número de horas de cada electrobomba	Se detallan el número de horas como principal y auxiliar. Éstos indicadores se reinician cuando se completa el ciclo de trabajo de cada electrobomba.
3	Tiempos de Operación	Son indicadores de las horas de operación totales de cada electrobomba. Al alcanzar el valor de 2000 horas se reinicia el contador y se activa una alarma indicando que se requiere mantenimiento.

Tabla 2.47. Descripción de la ventana desplegable de detalles de las electrobombas.

### 2.2.2.2. HMI en touch panel MAGELIS

A continuación se muestra las pantallas del touch panel MAGELIS de gasolina Súper para cumplir con la Fase I.



Figura 2.79. Imagen de la ventana configuración de bombas de gasolina súper de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Configuración bomba	Son luces piloto indicadores de la configuración actual de la bomba (Disponible, Fuera, Mantenimiento), el sistema automáticamente asigna su condición (Principal, Auxiliar1) bajo cada bomba. Cuando se detiene el despacho hace invisible las luces piloto y sobre estas, se hace visible botones para cambiar la configuración.
2	Detener Despacho	Al pulsar detiene progresivamente el despacho de súper desde la electrobomba auxiliar 1 hasta la principal (Figura 2.80.). El botón Reiniciar Despacho se vuelve intermitente.
2	Reiniciar Despacho	Al pulsar reinicia progresivamente el despacho de súper, encendiendo la electrobomba principal hasta la auxiliar 1 y al finalizar se ubica en la pantalla Operación Gasolina Súper.

Tabla 2.48. Descripción de la ventana configuración de bombas de gasolina súper de la HMI MAGELIS.



Figura 2.80. Imagen de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina súper de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Espera	Muestra el encendido y apagado de las electrobombas principal y auxiliar.

Tabla 2.49. Detalle de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina súper de la HMI MAGELIS.

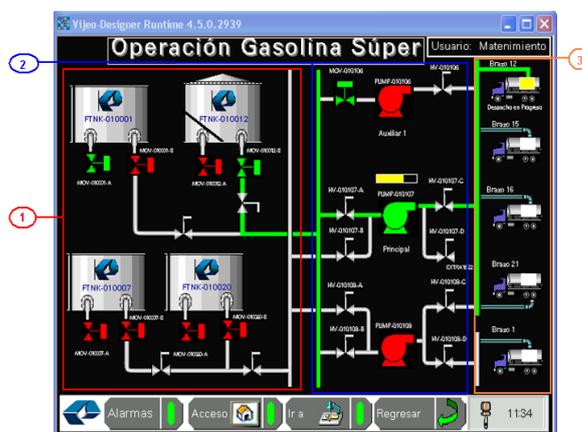


Figura 2.81. Imagen de la ventana operación de gasolina súper de la HMI MAGELIS.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Tanques de almacenamiento	Muestra la identificación, animación de los tanques, con sus respectivos actuadores de las válvulas de entrada y salida.
2	Patio de bombas	Muestra la identificación, animación de las bombas y actuadores.
3	Brazos de carga	Muestra los brazos de carga de súper y auto tanques con su respectiva animación.

Tabla 2.50. Descripción de la ventana operación de gasolina súper de la HMI MAGELIS.

### 2.2.2.3 Estudio de las nuevas variables para el sistema de control de la Fase I.

En el Anexo 2 se presenta las variables que tienen relación con las bombas de gasolina súper para el sistema de control de la fase I.

## 2.3 Pruebas y Fallos

En el mes de octubre del 2011 se pone en marcha la nueva HMI en INTOUCH y se carga el programa en el PLC con la lógica para cumplir con los objetivos planteados en la Fase I, para lo cual se realiza el procedimiento siguiente:

1. En **Fichero** se abre el programa a cargar
2. En el menú **Online** seleccionamos **Conectar** para enlazar con el PLC. En la pantalla Conectar con PLC debemos asegurarnos elegir el protocolo **TCP/IP**, en derecho de acceso elegir **Modificar Programa** y digitar la dirección IP del PLC: **172.20.129.230**. Pulsar **OK**. Ver Figura 2.82.
3. En el menú **Online** seleccionamos **Cargar**, previo a la selección de la opción **Secciones de programa IEC**. Al pulsar sobre **Cargar** se sube al PLC todas las FBD del nuevo programa. Ver Figura 2.83

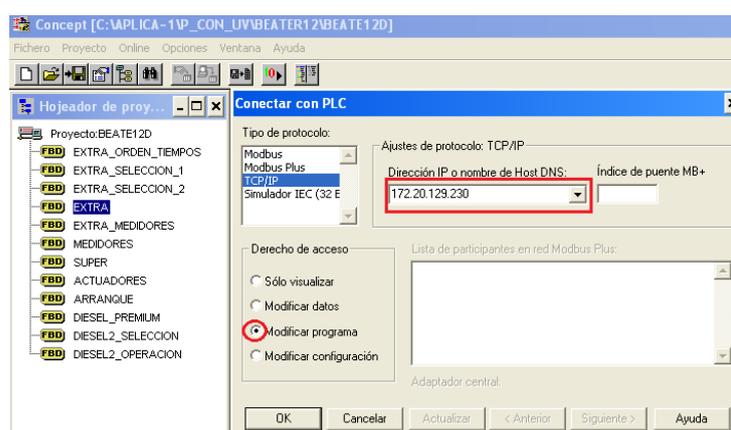


Figura 2.82. Captura para conectar con el PLC Quantum.

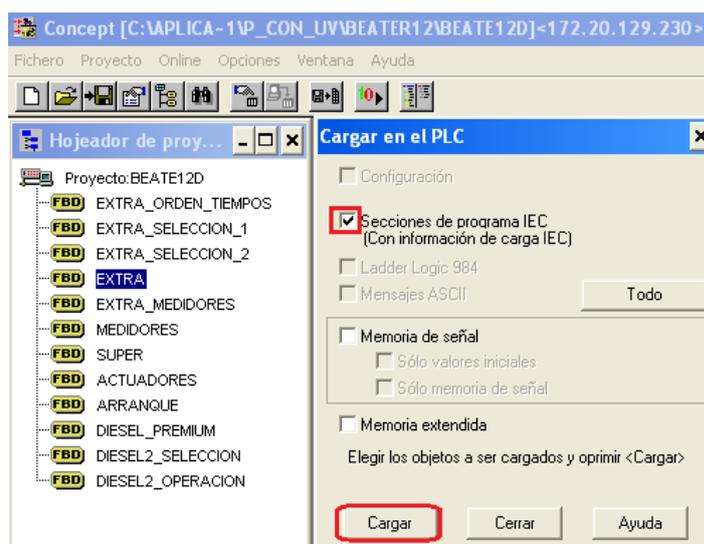


Figura 2.83. Captura para cargar un programa al PLC Quantum.

El sistema de control para el despacho de combustible del terminal que maneja el PLC Quantum central abarca gran cantidad de código para cumplir diversos objetivos; por ende, al poner a prueba la nueva lógica se debe asegurar el correcto funcionamiento del nuevo sistema. Para ello se evaluó durante 4 meses (octubre, noviembre, diciembre, enero); durante los cuales se registra varias fallas que se detalla a continuación para cada producto:

### 2.3.1 Gasolina Extra

- a) Cuando se cargó el programa en el PLC, no se tomó en cuenta la condición inicial en la lógica de designación de las electrobombas (Principal ó auxiliar) según su tiempo de operación; es decir todos los registros tienen un valor de 0 y el algoritmo no designaba que electrobomba es principal ó auxiliar. Por lo que se decidió designar a la electrobomba (Principal ó auxiliar), según su número de orden, cuando los registros tienen un mismo valor incluido el cero. Por lo tanto cuando cualquier electrobomba disponible tiene un mismo valor en su registro acumulativo la lógica las ordena acorde a su número (1, 2, 3, 4 ó 5).

- b) Para designar a la electrobomba como disponible se decidió agregar a su condicionamiento el estado (abierto ó cerrado) de la válvula de salida de los diferentes tanques de almacenamiento. De modo que se asegura electrobombas disponibles únicamente con las que se tiene conexión con el tanque. Posterior a 2 meses de un correcto funcionamiento se tuvo un problema de falla de comunicación del estado de la válvula y el programa del PLC impidió el normal despacho. Por lo tanto se decidió únicamente designar la electrobomba disponible acorde al Tanque de almacenamiento pero esta vez desde la HMI.
- c) La selección del tipo de controlador se tomó después de realizar varias pruebas con los valores calculados en la sección de sintonización, a continuación se muestran las curvas de respuesta con sus respectivos parámetros. En primer lugar se comprobó el funcionamiento de un controlador proporcional con la activación de un solo brazo de carga, y la respuesta de la presión se describe en la curva de la Figura 2.84.

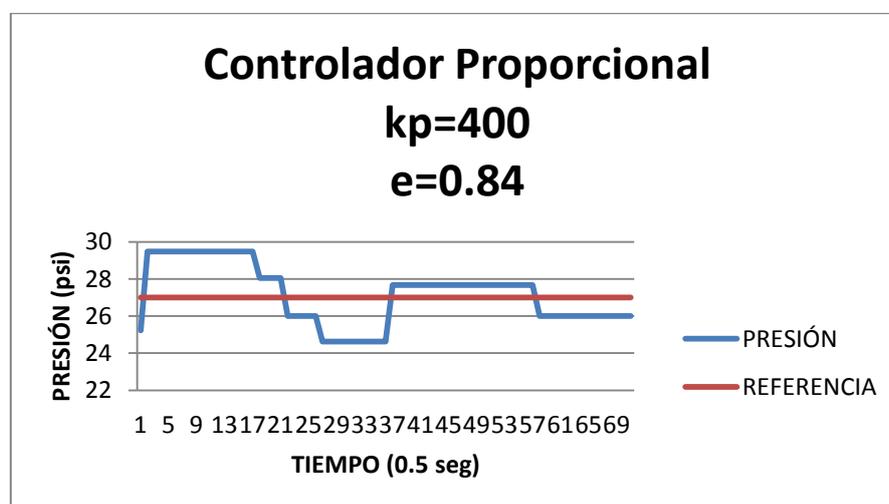


Figura 2.84. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional  $K_p = 400$  y error en estado estacionario  $e = 0.84$ .

Debido a que es necesario eliminar el error en estado estacionario se realizó una segunda prueba con un controlador proporcional integral PI, y arrojó la curva que se muestra en la Figura 2.85.

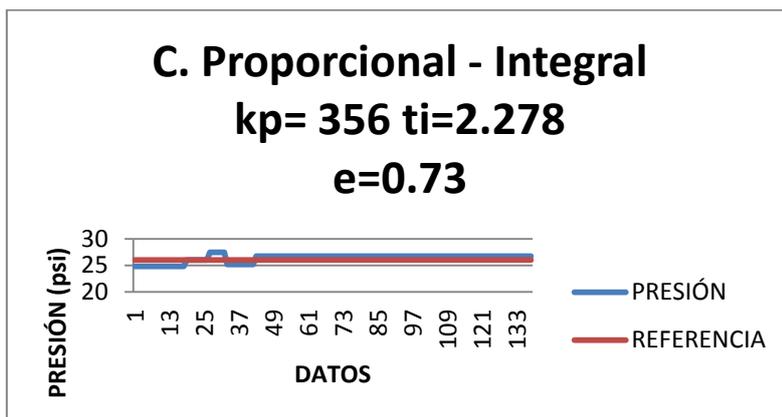


Figura 2.85. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral  $K_p = 356$ ,  $t_i = 2.278$  y error en estado estacionario  $e = 0.73$

Es importante recalcar que con el controlador PI se redujo el error en estado estacionario al igual que el valor de sobrepico, sin embargo se realizó una tercera prueba con el mismo controlador PI pero esta vez se redujo el valor de la ganancia proporcional lo cual eliminó considerablemente el valor de sobrepico y el error en estado estacionario, como se muestra en la Figura 2.86. Además, al reducir la ganancia proporcional, la señal de control no varía súbitamente y se evita cambios bruscos en la velocidad del motor.

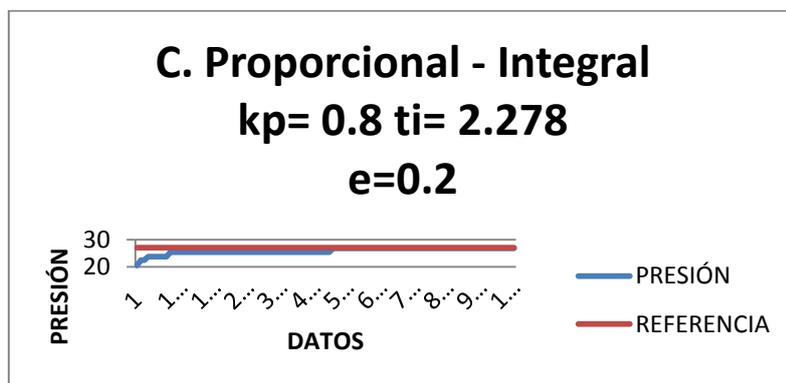


Figura 2.86. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral  $K_p = 200$ ,  $t_i = 2.278$  y error en estado estacionario  $e = 0.2$

Ya que el resultado fue satisfactorio se decidió implementar el controlador Proporcional Integral con los valores hallados.

- d) Después de implementar el control de la velocidad del driver acorde al dispositivo transmisor de presión, éste presentó varias veces una alarma (AL.01 CAP ERR) la misma que informa un daño en la capsula del sensor entregando el dato más alto, es decir 120 PSI. Por ende el fabricante recomienda cambiar la cápsula, pero se decidió cambiar por otro dispositivo similar. El daño en la capsula se debe a un error de manipulación mecánica durante la instalación.
- e) Varias veces los variadores de Extra y Diesel 2 entran en falla por diversos motivos y para reiniciarlos se necesita des-energizar. Si el operario se encuentra en el MCC se percata del fallo, lo que no pasa si estuviese en el cuarto de control; por lo que se decidió incluir en la HMI ventanas emergentes que alertan al operador que los variadores están en falla. Ver Figura 2.87.



Figura 2.87. Ventana emergente de variador en falla.

- f) La electrobomba 3 no posee conexión directa con los brazos 19 y 22 como se muestra en la Figura 1.4., lo cual representa un problema de bajo flujo, cuando ésta electrobomba opera como principal.

Para solucionarlo; el momento que se activan solo los brazos 19 y/o 22 la electrobomba 3 permanece apagada y se enciende la electrobomba que se encuentre como auxiliar 1, asegurando un correcto flujo en la línea. La electrobomba 3 se enciende cuando se active cualquiera de los brazos restantes (4, 5, 8, 9 y 11). Esto se refleja en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.88.

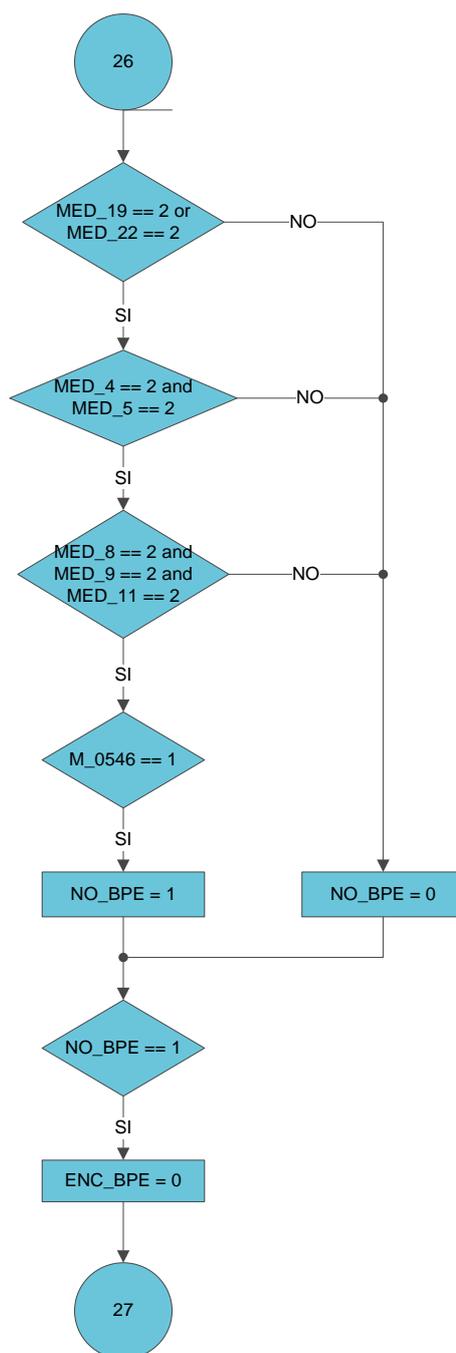


Figura 2.88. Diagrama de flujo de la solución para el problema de la prueba 3.

### 2.3.2 Gasolina Súper

Debido a la experiencia adquirida con gasolina Extra y por la simplicidad de funcionamiento de gasolina Súper no se registro fallas durante el tiempo de prueba.

## 2.4 Resultados

Posterior a un periodo de 4 meses de evaluación del sistema de control, se detalla varios resultados acorde a los objetivos planteados en la Fase 1. Para obtener los datos de los registros correspondientes a los resultados almacenados, se consulta en la base de datos de los servidores del cuarto de control.

### 2.4.1 Gasolina Extra

#### Resultado 1: Tiempo de operación de electrobombas.

En las Figuras 2.89, 2.90, 2.91, 2.92, se muestra la línea de tendencia que ratifica el cumplimiento de la igualdad de tiempos de operación de las electrobombas, objetivo planteado para la fase 1. Los respectivos datos que se almacenaron durante 4 meses se presentan en el Anexo 5.

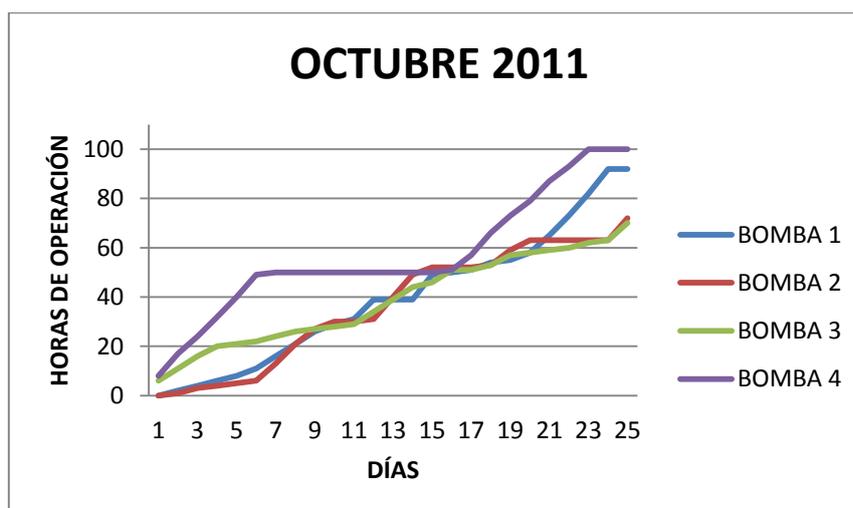


Figura 2.89. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de octubre 2011.

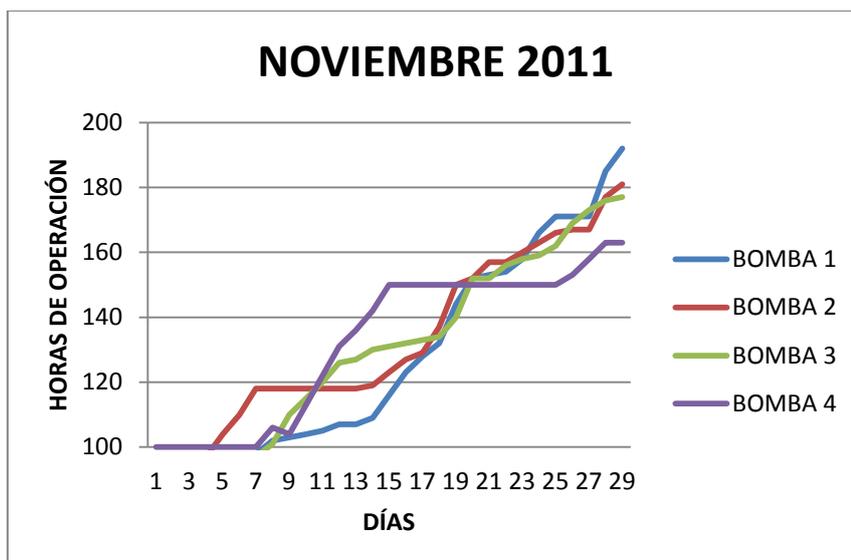


Figura 2.90. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de noviembre 2011.

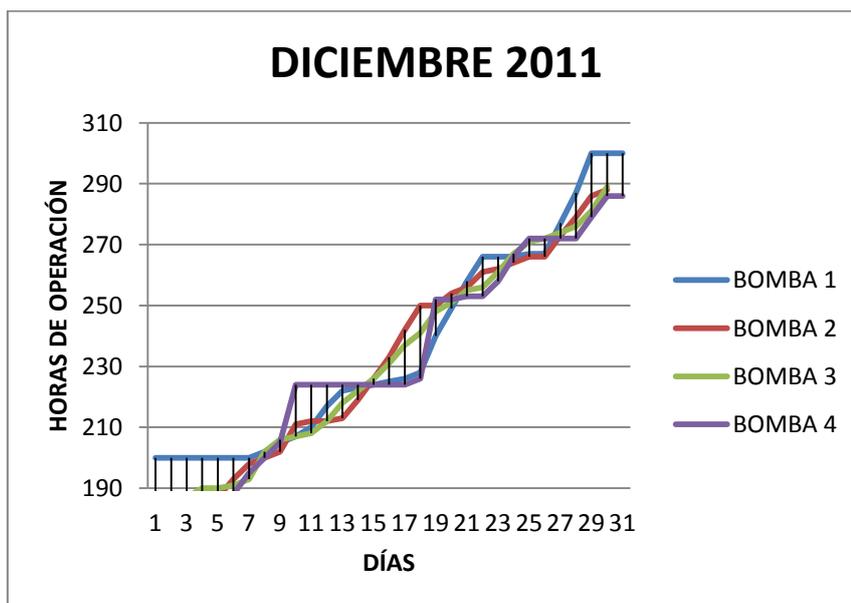


Figura 2.91. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de diciembre 2011.

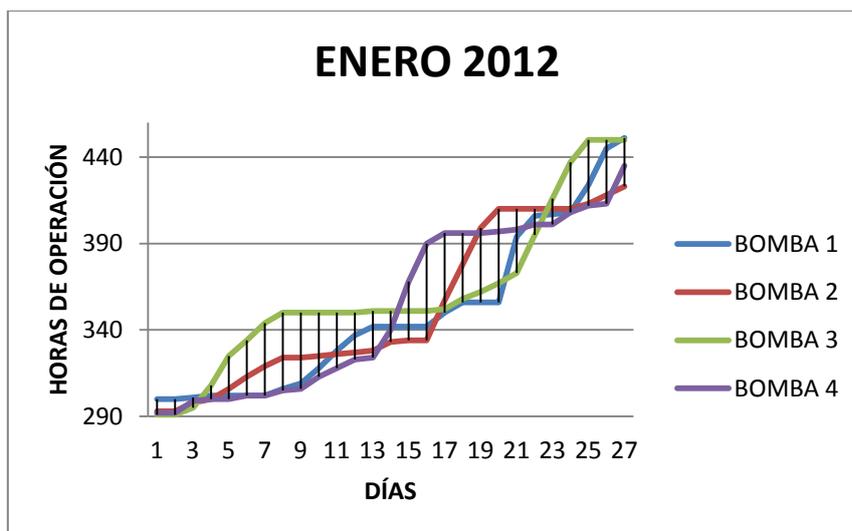


Figura 2.92. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de enero 2012.

En base a estos datos se puede decir que gracias a la lógica diseñada con un tiempo de ciclo de 50 horas y la configuración automática de las electrobombas, los tiempos de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 son similares. El número de horas de la electrobomba 5 es mucho menor; esto se debe a que el tanque de despacho seleccionado con mayor frecuencia es el FTNK-010003, desde el cual pueden realizar el bombeo las electrobombas de la 1 a la 4.

Al conseguir equilibrio en las horas de funcionamiento de todas las electrobombas de manera automática se garantiza menor desgaste y mayor tiempo de vida.

### Resultado 2: Control de la presión en la línea

A pesar de que no era un objetivo trazado al inicio del proyecto en la Fase I, se consiguió implementar un sistema de control de presión de la tubería en función a la velocidad que se asigna al variador de velocidad, logrando un flujo alto (aproximado a 500 gls/min) en cada brazo de carga.

Para constatar el correcto desempeño del controlador PI se presentan las gráficas a tiempo real del panel táctil MAGELIS.

- La primera gráfica (Figura 2.93.) muestra la presión con los números de brazo activados sin ningún tipo de control y sin variador de velocidad.



Figura 2.93. Gráfica Presión – número de brazos activados sin controlador y arranque directo.

En las gráficas se puede visualizar la presión (verde) y la referencia de presión (azul); mientras que en la segunda gráfica se visualiza el número de brazos que se activan.

### Análisis:

Al no contar con un controlador y sin uso del variador de velocidad (electrobombas con arranque directo) se puede apreciar en la gráfica que la presión de la línea es muy alta, alcanzando en este caso un valor pico de 60 PSI, cuando se cerraron 5 brazos de despacho. Además se puede apreciar que no existe seguimiento de la variable de proceso (Presión verde) con el valor de referencia (Ref. Presión azul).

- La segunda gráfica (Figura 2.94.) muestra la presión con los números de brazos activados, sin ningún tipo de control, usando el variador de velocidad, cuyas velocidades son establecidas según el número de brazos de carga activados (1350 rpm ó 1730 rpm).



Figura 2.94. Gráfica Presión – número de brazos activados sin controlador y con variador de velocidad.

### Análisis:

Podemos apreciar que al hacer uso del variador de velocidad al activarse o desactivarse los brazos, la presión de la tubería no es tan alta en comparación de la anterior gráfica que se enciende las electrobombas con arranque directo, alcanzando un pico máximo de 48 PSI cuando se desactivaron 4 brazos de carga.

Sin embargo, estas presiones altas, a más de los cambios bruscos cuando desciende la presión causan movimiento en la tubería y desgaste prematuro en sus accesorios.

- La tercera gráfica (Figura 2.95.) muestra la presión con los números de brazos activados, esta vez con un control PI, usando el variador de velocidad.

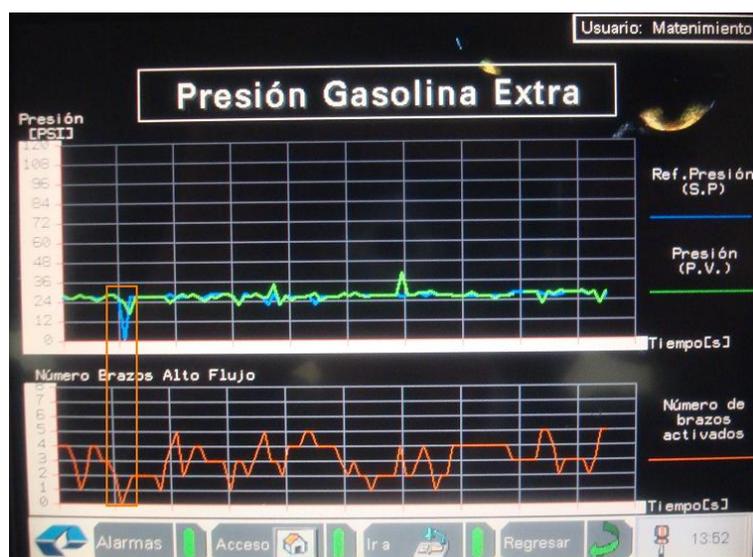


Figura 2.95. Gráfica Presión – número de brazos activados con variador de velocidad y controlador P.I.

### Análisis:

Claramente se puede apreciar los beneficios del controlador implementado, ya que la variable de proceso (Presión) le sigue al valor de referencia (Ref. Presión), consiguiendo un óptimo control de presión de la línea.

Se puede resaltar de la Figura en la parte de rojo, que cuando se detuvo el despacho, estuvieron activos 4 brazos de carga, que al cerrarse se registra un valor nulo de la Referencia de Presión, más aun la presión de la línea por efecto del controlador disminuyó su valor paulatinamente hasta que se activó otro brazo, consiguiendo mantener la presión en un valor constante.

Los resultados de trabajar con el nuevo sistema de control durante el periodo de evaluación se reflejan en la eliminación del golpe de ariete cuando inicia ó finaliza la carga en cualquiera de los brazos de gasolina Extra; por ende se consigue menor desgaste de accesorios de la tubería.

Además, en la siguiente tabla se puede constatar que se consiguió mantener un flujo alto, durante la operación máxima de las electrobombas (7 brazos de carga activados al mismo tiempo), evitando de esta manera caídas de flujo a lo largo de la jornada de despacho.

BRAZOS	FLUJO	FECHA
FT-010204	475.1855	21/01/2012 7:58
FT-010205	472.3315	21/01/2012 7:58
FT-010208	439.5366	21/01/2012 7:58
FT-010209	420.5519	21/01/2012 8:00
FT-010211	386.4531	21/01/2012 8:00
FT-010219	469.5117	21/01/2012 8:02
FT-010222	417.2053	21/01/2012 8:02
PT-010101	27.3250000	21/01/2012 8:02

Tabla 2.51. Valores de flujo en cada brazo en condición máxima.

### Resultado 3: Correcto funcionamiento de las HMI

Como se puede observar en las descripciones de las HMI tanto en Intouch como en el panel táctil MAGELIS del presente capítulo, durante el periodo de evaluación se constató un correcto funcionamiento y aceptación de los operadores al brindarles un sistema automático de configuración de electrobombas acorde a su tiempo de operación, capacidad de cargar valores iniciales desde la base datos ante cualquier eventualidad de fallo, una interfaz moderna con animaciones que reflejan procesos y equipos reales, y la posibilidad de detener y reiniciar el despacho automáticamente en el menor tiempo posible.

### Resultado 4: Análisis de ahorro de energía

Mediante un equipo analizador de energía eléctrica Power Logic PM 800 de Square D, se toma datos de cantidad de energía consumida por la electrobomba principal funcionando con el variador de velocidad.



Figura 2.96. Equipo analizador de energía

Para apreciar el ahorro de energía que se consigue con la implementación de un sistema de control PI de presión de la línea, frente al anterior sistema que funcionaba con un control únicamente en base al número de brazos activados (1730 RPM ó 1350 RPM), se presenta los siguientes datos tomados con el antiguo y nuevo sistema, conociendo además que el precio del Kw/h actual es de \$ 0.12

FECHA	SISTEMA DE CONTROL	TIEMPO DE MEDICION [h]	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
14-02-12	ANTIGUO (SEGÚN NUMERO BRAZOS)	1	6.34	0.76
14-02-12	NUEVO (CONTROL P.I. DE PRESIÓN)	1	5.08	0.61
<b>AHORRO</b>			<b>1.26</b>	<b>0.15</b>

Tabla 2.52. Datos de consumo de energía tomados de la electrobomba principal fase I.

## Análisis

En la tabla anterior se puede apreciar que gracias a la implementación de control de presión de la tubería, la electrobomba principal consume exactamente la energía que requiere, manteniendo una velocidad acorde al controlador. Con el sistema anterior, la velocidad mantenía valores constantes de 1350 RPM ó 1730 RPM según los brazos activados, más no según la presión, consumiendo así mayor energía.

La energía que se ahorra con la electrobomba principal en 1 hora es de 1.26 Kw/h que representa un valor de \$ 0.15. Si analizamos cuanto se ahorra durante un ciclo de trabajo (50 horas, 1 semana) nos daría un valor de \$ 7.55 y en un mes un valor aproximado de \$ 30. 20.

### 2.4.2 Gasolina Súper

#### Resultado 1: Tiempo de operación de electrobombas.

En las Figuras 2.97., 2.98., 2.99., 2.100., se muestra la línea de tendencia que ratifica el cumplimiento de la igualación de tiempos de operación de las electrobombas, objetivo planteado para la fase 1. Los respectivos datos que se almacenaron durante 4 meses se presentan en el Anexo 5.

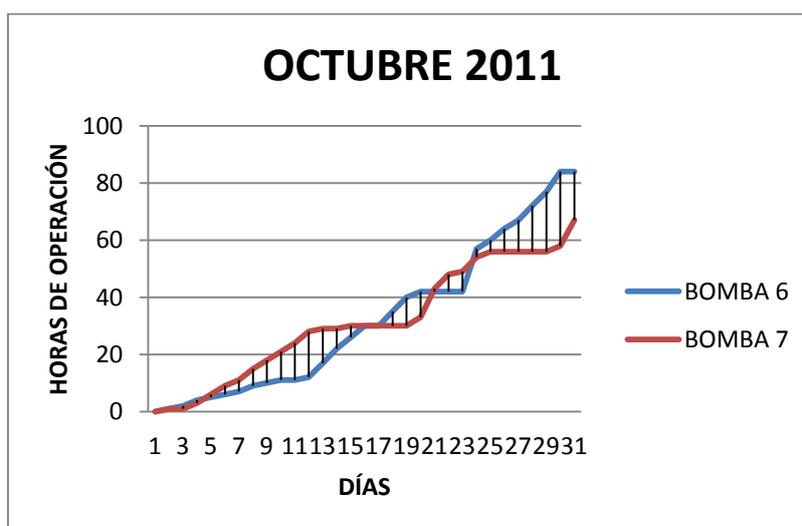


Figura 2.97. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de octubre 2011.

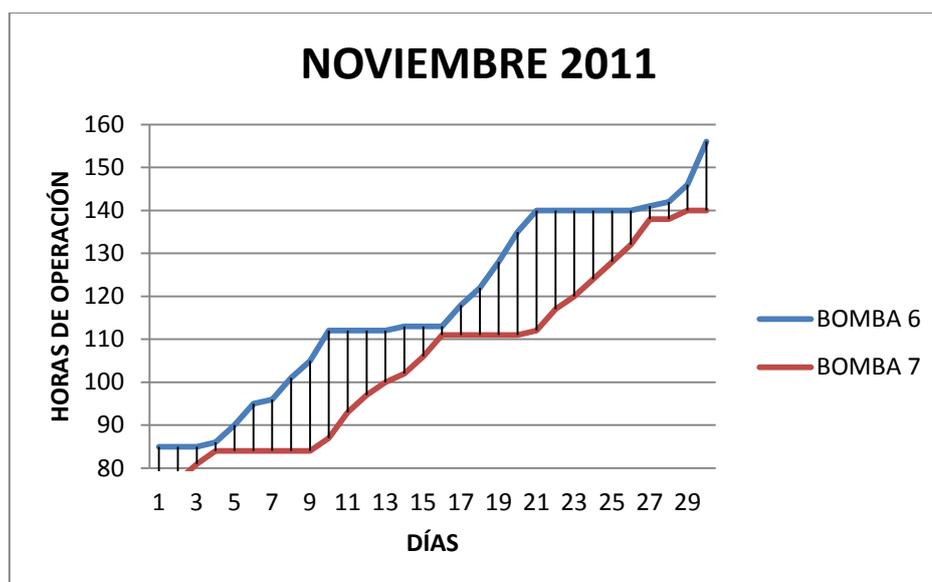


Figura 2.98. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de noviembre 2011.

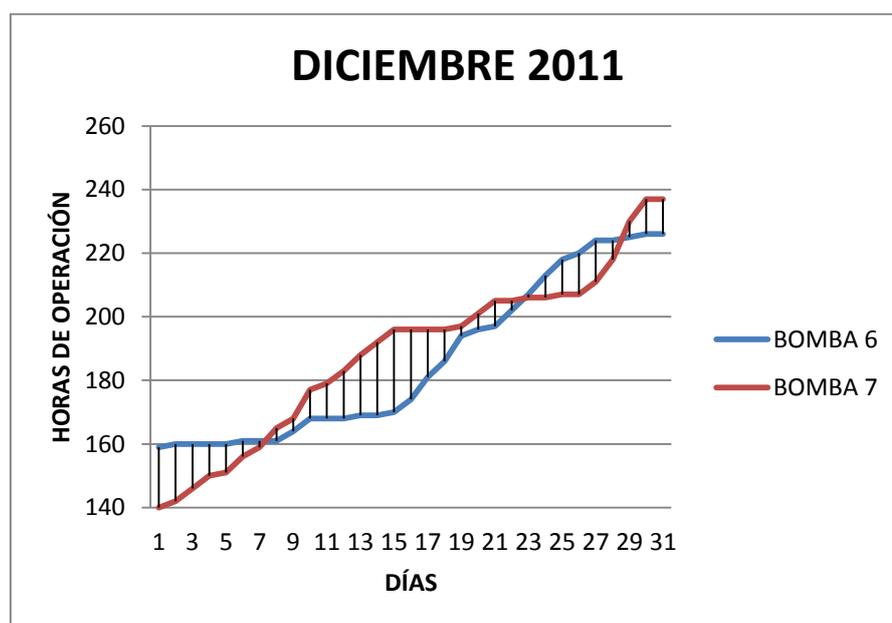


Figura 2.99. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de diciembre 2011.

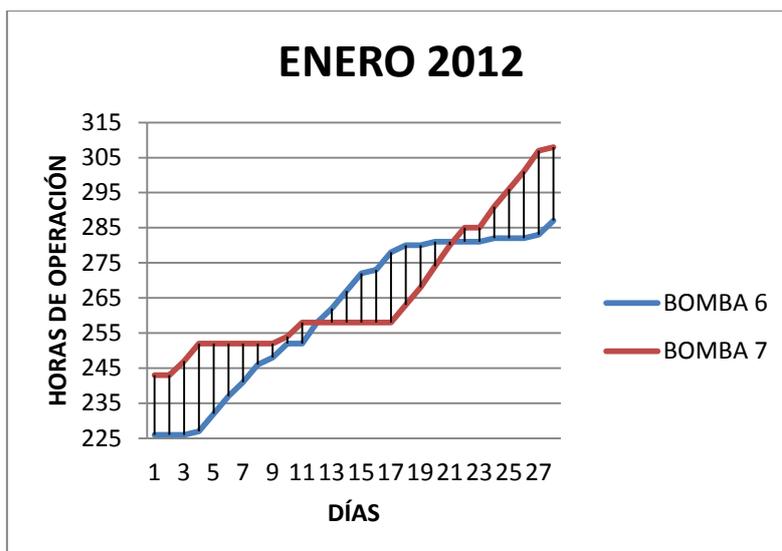


Figura 2.100. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de enero 2012.

Como se puede observar en las gráficas, el tiempo de ciclo de 28 horas y la lógica, permite que el trabajo de las electrobombas 6 y 7 se intercambie entre principal y auxiliar, de esta manera sus tiempos de operación llegan a ser iguales al finalizar cada ciclo.

Se puede apreciar que gracias a la lógica se obtiene horas de funcionamiento de las electrobombas 6 y 7 equilibradas, consiguiendo una mayor vida útil del equipo.

### Resultado 2: Correcto funcionamiento de las HMI

En las figuras presentadas en las descripciones de las HMI tanto en INTOUCH como en el panel táctil MAGELIS del presente capítulo se refleja el correcto desempeño de la Interfaz diseñada para gasolina Súper. Cabe mencionar que la HMI para dicha gasolina no existía, por ende durante el periodo de evaluación, la interfaz tuvo la aceptación de los operadores, ya que se consiguió la configuración automática de las electrobombas, posibilidad de detener y reiniciar el despacho automáticamente en un mínimo tiempo, cargar datos iniciales de la base de datos ante cualquier fallo del sistema, presentar un diseño moderno y normado para identificación de equipos del campo.

## 2.5 Desarrollo del Software para Fase II

El objetivo de la fase II es optimizar totalmente el sistema de bombeo de gasolina, de manera que la operación de todas las electrobombas sea mediante variadores de frecuencia lo cual reduce el consumo de energía y el desgaste de la tubería y sus accesorios. La Figura 2.101., muestra el esquema a diseñar:

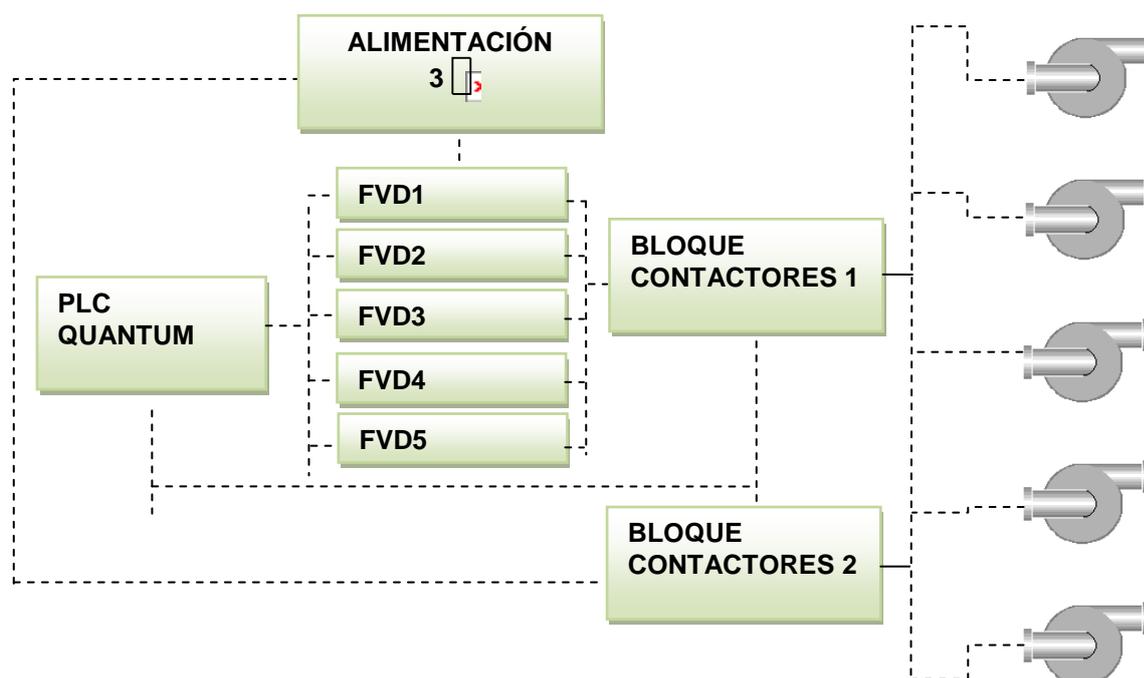


Figura 2.101. Configuración electrobombas - variador de velocidad para Fase II.

### 2.5.1 Lógica de Control

Se debe tener en cuenta que la lógica de control es similar a la que se implementó en la fase I, con la diferencia de que es necesario asignar la velocidad correspondiente a cada variador de frecuencia de acuerdo con el siguiente criterio:

- La velocidad del variador de frecuencia de la electrobomba principal se determina según el valor de lectura del transmisor de presión

- La velocidad del variador de frecuencia de las electrobombas auxiliares se establece de acuerdo a la corriente de salida del variador principal, ya que el objetivo es optimizar el consumo de energía del sistema

Las variables que se muestran en la Tabla 2.53. se utilizan para la asignación de las velocidades respectivas, mientras que en las Figuras: Figura 2.102., Figura 2.103., Figura 2.104 y Figura 2.105., se puede apreciar el diagrama de flujo para dicha modificación en el programa del PLC.

Variable	Descripción
V1_PI_Extra	Velocidad determinada por el bloque controlador proporcional integral (PI) del el variador principal, cuya entrada es el valor de lectura de la presión.
V2_PI_Extra	Velocidad determinada por el bloque controlador proporcional integral (PI) del el variador auxiliar 1, cuya entrada es el valor de corriente de salida del variador principal.
V3_PI_Extra	Velocidad determinada por el bloque controlador proporcional integral (PI) del el variador auxiliar 2, cuya entrada es el valor de corriente de salida del variador principal.
V4_PI_Extra	Velocidad determinada por el bloque controlador proporcional integral (PI) del el variador auxiliar 3, cuya entrada es el valor de corriente de salida del variador principal.
EXTRA_FVD1_FREC	Variable que contiene la velocidad a la cual trabaja el variador de frecuencia de la electrobomba 1.
EXTRA_FVD2_FREC	Variable que contiene la velocidad a la cual trabaja el variador de frecuencia de la electrobomba 2.
EXTRA_FVD3_FREC	Variable que contiene la velocidad a la cual trabaja el variador de frecuencia de la electrobomba 3.
EXTRA_FVD4_FREC	Variable que contiene la velocidad a la cual trabaja el variador de frecuencia de la electrobomba 4.
EXTRA_FVD5_FREC	Variable que contiene la velocidad a la cual trabaja el variador de frecuencia de la electrobomba 5.

Tabla 2.53. Variables que se utilizan para asigna la velocidad de los variadores de frecuencia de gasolina extra.

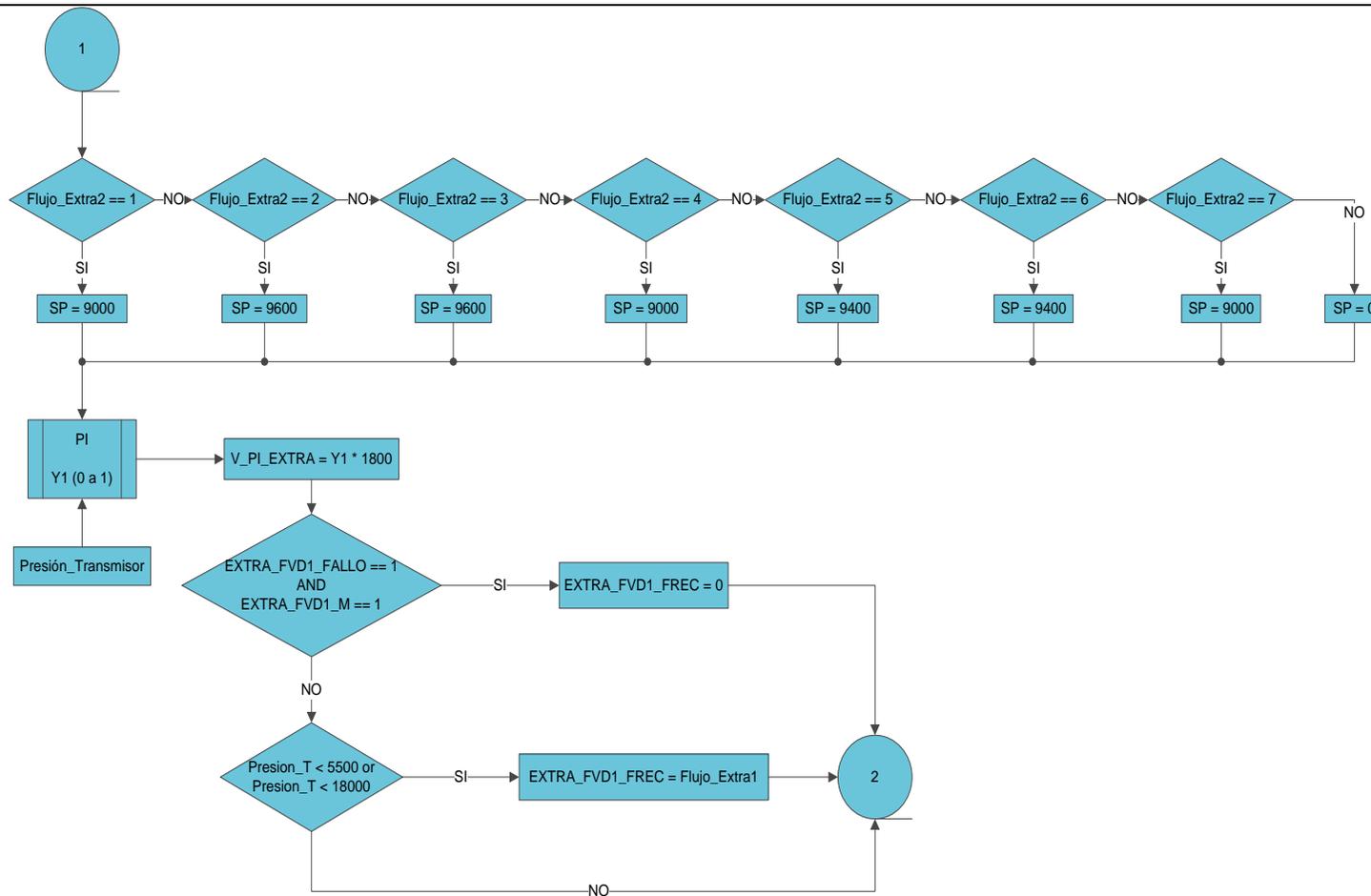


Figura 2.102. Diagrama de flujo del proceso para determinar la velocidad del variador de la electrobomba principal.

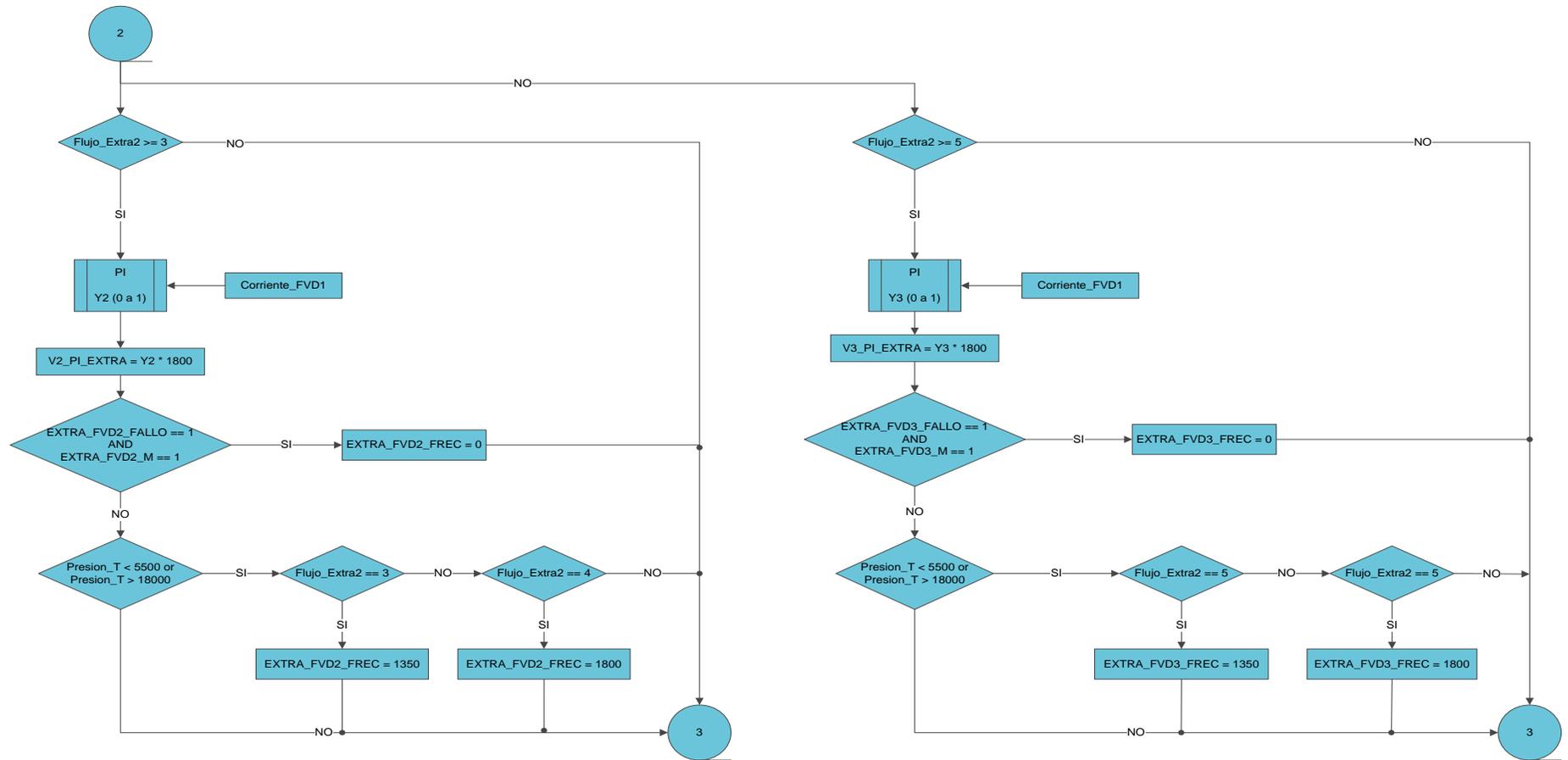


Figura 2.103. . Diagrama de flujo que describe cómo se determina la velocidad del variador de frecuencia auxiliar 1 y 2.

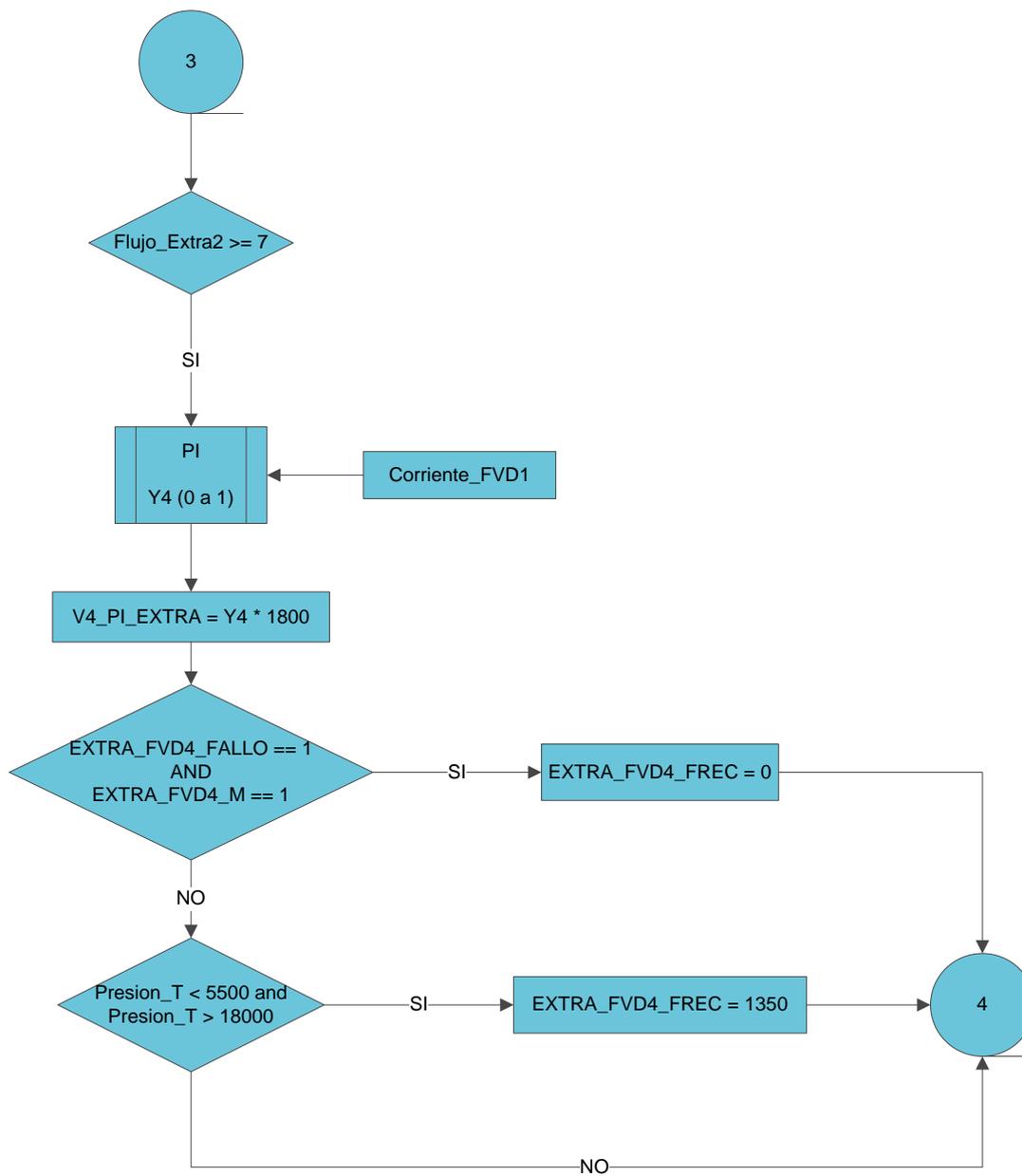


Figura 2.104. Diagrama de flujo que describe la determinación de la velocidad del variador de frecuencia auxiliar 3.

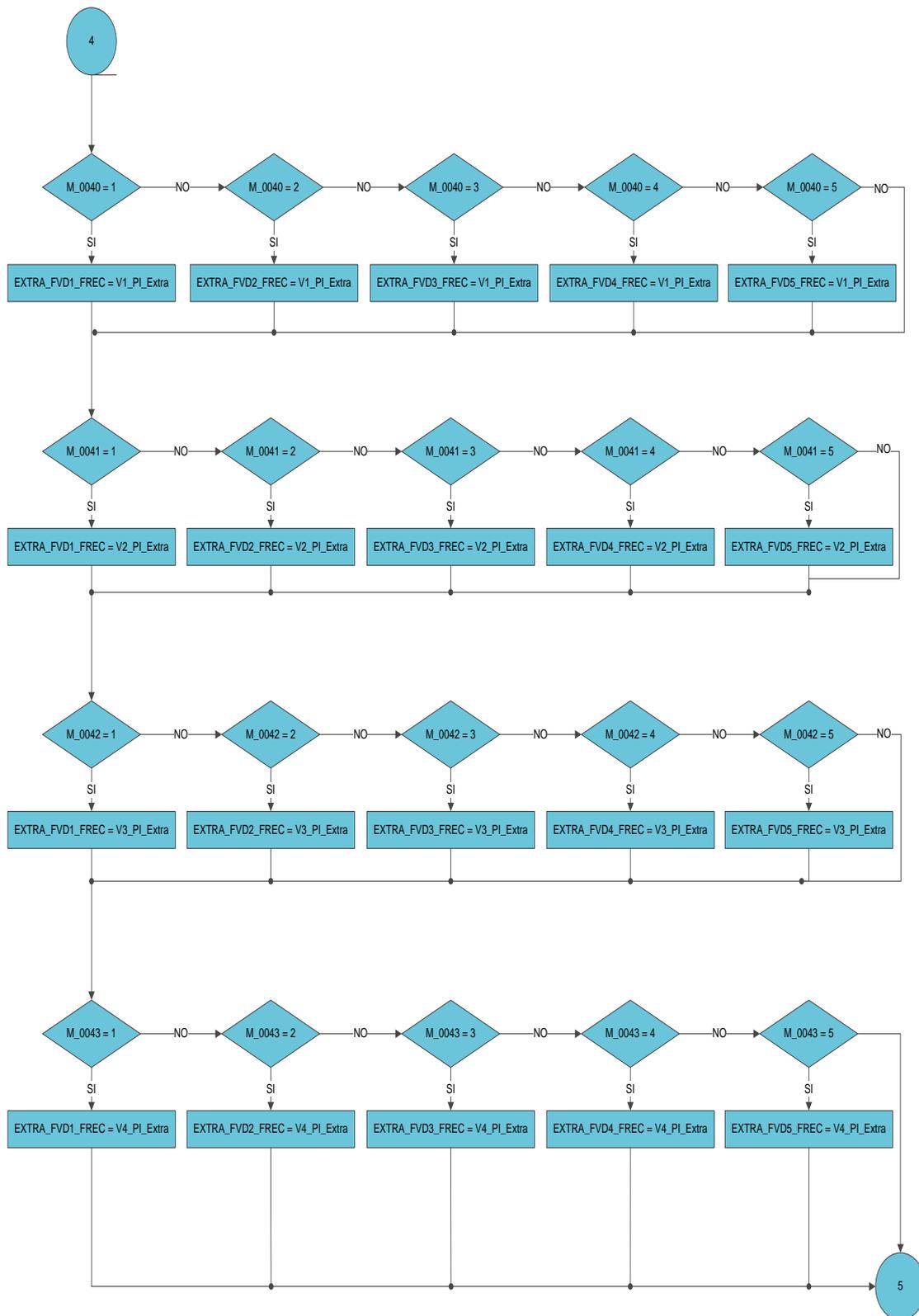


Figura 2.105. Diagrama de flujo que describe la asignación de los valores de velocidad a los variadores de frecuencia según corresponda (principal, auxiliar 1, auxiliar 2 y auxiliar 3).

### 2.5.2 Interfaz Hombre-Máquina

La HMI debe ser modificada de tal manera que al pulsar sobre cada electrobomba se muestre la información del funcionamiento del variador de frecuencia. Ver Figura 2.106. y Tabla 2.54



Figura 2.106. Pantalla estado bomba con variador de gasolina extra.

#	Acción / Ventana	Descripción
1	Datos técnicos	Muestra datos técnicos del variador como velocidad, corriente, voltaje, potencia, presión y código de falla.
2	Estado bomba	Muestra el estado de la bomba que está funcionando con el variador.
3	Estado variador	Presenta el estado del variador como listo, corriendo, falla, alarma, paro, dirección de rotación, automático y falla de comunicación.

Tabla 2.54. Detalle de la pantalla antigua estado bomba con variador de gasolina extra de la HMI INTOUCH.

## CAPÍTULO III

### INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA

La fase II del presente proyecto consta de la ingeniería básica y de detalle para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina extra y súper. Dicha repotenciación radica en que ya no solo la electrobomba principal trabaje con variador de velocidad, sino todas las electrobombas cuenten con su propio variador, de esta manera optimizar el sistema de control y sobre todo ahorrar energía.

En la ingeniería básica se plasma de manera preliminar los requerimientos del proyecto, listas de equipos del anterior y nuevo sistema, normas y toma de datos técnicos que constituyen una base sólida para la ingeniería de detalle.

#### 3.1 Normas

Para llevar a cabo la ingeniería básica y de detalle se deben tener presente las normas que debe cumplir la empresa, especialmente las referentes a la seguridad; por lo que se resumen todas las normas que se hace referencia en el capítulo 4 y 5 de la ingeniería básica y de detalle respectivamente.

Algunas normas indispensables que se deben cumplir en el terminal el Beaterio de EP Petroecuador son las siguientes:

- NEC (Código Eléctrico Nacional) para normar instalaciones eléctricas y electrónicas.

La NEC *National Electrical Code* (Código Eléctrico Nacional) es el conjunto estandarizado de recomendaciones para la seguridad eléctrica más conocido. El NEC en los Estados Unidos es publicado por la NFPA *National Fire Protection Association* (Asociación Nacional de Protección Contra Incendios) ó también conocida como la NFPA 70, refiriéndose al número de publicación utilizado para identificar el NEC. Mediante Registro N° 382 nuestro país al igual que otros países de Latinoamérica ha adoptado ésta como ley oficial.

- NFPA (Asociación Nacional de Protección Contra Incendios) para seguridad contra incendios.
- ANSI/ISA 5 (Instituto Nacional Americano de Estándares / Sociedad de Instrumentación de América) para el desarrollo de diagramas de instrumentación.
- NEMA ICS 19 (Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas) para planos de conexiones eléctricas.
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)
- API (Instituto Americano del Petróleo)

### 3.1.1 Clasificación por zona de riesgo

Para realizar la selección de los equipos de control, protección, bandejas porta cables, soporteria, tubería, etc. es necesario determinar la clasificación de las áreas peligrosas para poder escoger los elementos apropiados que cumplan las normas internacionales y evitar así correr riesgos en aquellos sitios donde se encuentra el combustible ó gases inflamables. Las áreas se clasifican acorde a las propiedades relacionadas con la inflamabilidad de los gases, vapores, líquidos, fibras o polvos presentes en el ambiente, los cuales pueden formar mezclas explosivas o inflamables al combinarse con el oxígeno ( $O_2$ ).

El artículo 500.5 del NEC, trata de la clasificación de zonas peligrosas dependiendo de las propiedades del gas inflamable, líquido inflamable producido por el vapor, combustible, polvos o fibras. Las clasificaciones se realizan en función a Clase, División y Grupo como muestran las tablas siguientes:

CLASE	DIVISIÓN	GRUPO	
		NOMBRE	SUSTANCIAS TÍPICAS
I	1	A	Acetileno
	2	B	Hidrógeno ó sustancias con 30% de mayor volumen
2		C	Etil, Ether y Etileno
	2	D	Acetona, Amoníaco, Benceno, benzol, butano, gasolina, hexano, petróleo nafta, gas natural, propano, vapores de barniz solvente o gases o vapores de peligrosidad.
II		1	E
	2	F	carbón, coque
2		G	Harina, Granos, madera, plásticos y químicos
	III	1	
2			

Tabla 3.1. Clasificación por zonas de riesgo según el NEC.

### 3.1.1.1 Áreas Clase I

En el artículo 501, cubre las Áreas Clase I, División 1 y 2 detallando todos los requisitos para equipos eléctricos - electrónicos y cableados para todas las tensiones.

Área Clase I son lugares con presencia de gases ó vapores inflamables en cantidades suficientes para producir mezclas con el oxígeno, capaces de generar incendios o explosiones. Las localizaciones más comunes de la clase 1 son donde un cierto proceso implica el uso de un líquido altamente volátil e inflamable, tal como: gasolina, nafta de petróleo, benceno, éter, acetona.

En cualquier localización de la clase I, una mezcla explosiva de aire y gas inflamable ó vapor, pueden estar presentes cuando se causa la explosión por un arco ó por una chispa.

Cuando la mezcla del gas y del aire estalla en el interior, la mezcla ardiente se debe confinar enteramente dentro del recinto, para prevenir la ignición de gases inflamables en el cuarto, por lo tanto es necesario que el recinto sea construido con suficiente fuerza.

Un recinto a prueba de explosión para las localizaciones de la clase I, es capaz de soportar una explosión de un gas ó de un vapor específico que pueda ocurrir dentro de ella, y prevenir la ignición del gas especificado o vapor alrededor del recinto por las chispas, explosiones del gas o del vapor dentro.

El equipo a prueba de explosión debe proporcionar las siguientes características:

- Fuerza.
- Empalmes que no permitan que la llama o los gases calientes escapen.
- Operación ventilada y prevenir la ignición de la atmósfera circundante.

En las áreas clase I se puede tener 2 divisiones:

- a) Clase I División I: Comprende las áreas en las cuales durante operaciones normales ó labores de mantenimiento existe presencia permanente de gases, vapores ó líquidos inflamables, de manera continua ó intermitente y en cantidades suficientes para producir explosiones e incendios.
- b) Clase I División II: Comprende aquellas áreas donde se manejan, procesan ó almacenan productos inflamables, pero en las que normalmente no existen concentraciones peligrosas; y los productos se encuentran en recipientes ó sistemas cerrados, de los cuales solo puede escapar producto ya sea por rotura ó mal funcionamiento del equipo de proceso; así como también lugares en presencia de gases inflamables ó vapores dónde ante fallas de los sistemas de ventilación se pueda producir una atmósfera inflamable.

### 3.1.1.2 Áreas Clase II

El artículo 502, cubre las Áreas Clase II, División 1 y 2 detallando todos los requisitos para equipos eléctricos - electrónicos y cableados para todas las tensiones.

En esta Clase II están comprendidas todas las áreas que son peligrosas debido a la presencia de polvo combustible. Puede tener las siguientes Divisiones:

- a) Clase II División I: Comprende las áreas en las que el polvo combustible está presente en el aire en condiciones normales, con cantidades suficientes para producir mezclas explosivas ó inflamables. Además, lugares en que ante una falla mecánica ó funcionamiento anormal de equipo pueda causar una mezcla inflamable peligrosa.
- b) Clase II División II: Comprende aquellas áreas donde debido a operaciones anormales el polvo combustible puede estar presente en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas ó inflamables.

### 3.1.1.3 Áreas Clase III

El artículo 503, cubre las Áreas Clase III, División 1 y 2 detallando todos los requisitos para equipos eléctricos - electrónicos y cableados para todas las tensiones.

Lugares Clase III son aquellos que son peligrosos debido a la presencia de fibras fácilmente inflamables ó materiales que producen partículas flotantes combustibles. Se pueden tener las siguientes Divisiones:

- a) Clase III División 1: Comprende lugares dónde se manipulan ó fabrican fibras fácilmente inflamables ó partículas flotantes.
- b) Clase III División 2: Comprende lugares en las que se almacenan estas fibras inflamables ó partículas flotantes posterior al proceso de fabricación.

El terminal Beaterio tiene áreas Clase I División I y II, y pertenece al grupo D, pues la gasolina esta dentro de este grupo. Para mejor ubicación de las áreas clasificadas referirse al Anexo 7 Plano 4.

### 3.1.2 Normas para el desarrollo de diagramas

Las normas que se deben tener presente para el desarrollo de los diferentes diagramas de la ingeniería básica y detalle son las siguientes:

- ANSI / ISA 5.1: Símbolos de instrumentación e identificación <sup>4</sup>

Mediante éste estándar se designan uniformemente los instrumentos y sistemas de instrumentación utilizados para la medición y control. Para esto define un sistema de designación que incluye un código de identificación alfanumérico y simbología.

El código numérico representa la identificación de un instrumento en función de un lazo de proceso del cual forma parte el equipo ó instrumento. Dicho código debe ser implementado de acuerdo a las características particulares de cada planta. De manera similar se procede con los equipos.

- ANSI/ISA 5.5: Símbolos para procesos.<sup>5</sup>

Establece una simbología a ser utilizada en los diagramas de procesos manejado por operadores, ingenieros, entre otros, con fines de monitoreo y control. El objetivo de esta simbología es facilitar la rápida comprensión de la información mostrada y definir una práctica uniforme en la realización de este tipo de diagramas.

Ambas normas ANSI se utilizan para realizar diagramas de instrumentación y diagramas de flujo de proceso, que se muestran en los siguientes anexos:

Gasolina extra: Anexo 7 Plano 2a, diagrama de instrumentación

Gasolina súper: Anexo 7 Plano 2b, diagrama de instrumentación

Gasolina extra: Anexo 7 Plano 3a, diagrama de flujo de proceso

Gasolina súper: Anexo 7 Plano 3b, diagrama de flujo de proceso

---

<sup>4</sup> ANSI/ISA-S5.1-1984(R1992) Instrumentation Symbols and Identification, 1992-07-13.

<sup>5</sup> ISA 5.5 1985 Graphic Symbols for Process Displays, 1986-02-03.

- NEMA ICS 19-2002

Norma NEMA para diagramas, designación de dispositivos y símbolos para Control Industrial y Sistemas.

- IEC 60617

Norma para realizar diagramas unifilares de sistemas de alimentación de energía eléctrica generales y específicos por áreas. Conocida también como EN 60617 a nivel europeo y en España como UNE-EN 60617.

### 3.1.3 Manual de Codificación de equipos e Instrumentos Zona Norte

Existe un manual de elaboración de planos, nomenclatura y codificación para equipos e instrumentos para la regional norte en la que está incluido el terminal el Beaterio elaborado en el 2009 y que nos sirve en el presente proyecto para la Fase I y II. La codificación de equipos e instrumentos se descompone en la identificación (Amarillo) y ubicación (Azul y Rojo) como muestra la siguiente figura.



Figura 3.1. Codificación de equipos e instrumentos del terminal Beaterio<sup>6</sup>

La identificación (sección izquierda), se encuentra conformada por cuatro letras ( $A_1 A_2 A_3 A_4$ ) y describen el nombre del instrumento o equipo a ser codificado.

La codificación de los instrumentos se basa en el estándar ISA 5.1. Instrumentation Symbols and Identification. Bajo esta nomenclatura, los

<sup>6</sup> Manual de elaboración de planos, nomenclatura y codificación para equipos e instrumentos para la regional norte; Ing. Álvaro Chávez, Ing. Pamela Gómez, Ing. Santiago Santamaría, Ing. Williams Villalva.

instrumentos se identifican mediante un código de cuatro letras, en la cual la primera representa la magnitud física que mide el instrumento, mientras que las sucesivas representan la función que cumple el Instrumento. Los símbolos implementados en los diagramas de flujo para los instrumentos, deberán ser los que establece este estándar.

La codificación de equipos se basa en el Estándar ISA 5.5. Graphic Symbols for Process Displays, la misma que establece los símbolos para equipos principales y codificación de cuatro letras para los equipos.

Debido a que no todos los equipos que dispone EP Petroecuador pueden ser codificados bajo este estándar, se deberán codificar con nombres de planos ó proyectos anteriores que sean familiares para los usuarios como por ejemplo las válvulas con actuador eléctrico se representaran con la nomenclatura MOV (Motor Valve). Aunque este código no se encuentra dentro de la ISA se la adoptó pues la mayoría del personal operativo conoce este término.

La ubicación del instrumento se codifica mediante una serie de seis números como sigue

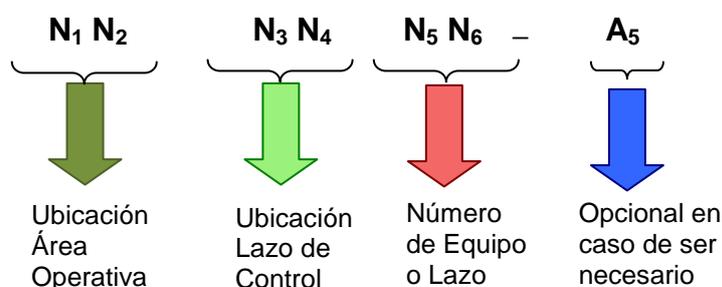


Figura 3.2. Codificación para la ubicación de instrumentos del terminal Beaterio<sup>6</sup>

- *Ubicación Área Operativa (N<sub>1</sub> N<sub>2</sub>)*

Identifica el área operativa, no de modo físico, sino como es administrada operativamente. Por ejemplo, dentro del Terminal de El Beaterio, se tienen tres áreas operativas administradas de manera independiente:

- ✓ Estación Reductora de los Poliductos Esmeraldas- Quito y Shushufindi- Quito,
- ✓ Estación de Bombeo del Poliducto Quito- Ambato y
- ✓ Terminal de Productos Limpios.

Para lo cual se tiene un número diferente para cada una de ellas, pudiendo extenderse hasta 99 diferentes áreas operativas. Hasta el momento se tienen las zonas operativas que se muestran en la Tabla 3.2.

<b>N<sub>1</sub> N<sub>2</sub>: ZONA OPERATIVA</b>	
Código	Zona
00	Terminal Ambato
01	Terminal Beaterio
02	Planta de Envasado y Llenaderas Esmeraldas
03	Terminal Oyambaro.
04	Deposito Riobamba.
05	Terminal Santo Domingo.
06	Llenaderas y envasadora Shushufindi
07	Estación Esmeraldas
08	Estación Santo Domingo
09	Estación Faisanes
10	Estación Corazón
11	Estación Reductora Beaterio E-Q
12	Estación Shushufindi.
13	Estación Quijos
14	Estación Osayacu.
15	Estación Chalpi.
16	Estación de Bombeo Beaterio.
17	Estación Reductora Ambato.
18	Estación Reductora Beaterio SH-Q
19	Estacion de Bombeo Ambato
20	Estación Reductora Riobamba Q-A-R
21	Estacion de Servicio Quito
50	Terminal GLP Salitral
51	Terminal GLP Chorrillo
52	Terminal Barbasquillo
53	Deposito Baltra
54	Deposito Cuenca
55	Deposito La Toma
56	Terminal Fuel Oil
57	Terminal Pascuales
58	Estación de Bombeo Monteverde
59	Estación Reductora Chorillo
60	Estación Reductora Manta
61	Estacion Reductora Pascuales
62	Estacion de Bombeo La Libertad
63	Estación de Bombeo La Troncal
64	Estacion de Bombeo Tres Bocas
65	Estación de Servicio Guayaquil
66	Estación de Servicio San Cristobal

Tabla 3.2. Zona operativa del terminal Beaterio<sup>6</sup>.

- *Ubicación Lazo de Control (N<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)*

La clasificación de la Zona Operativa a la que pertenece el equipo ó instrumento no basta para especificar exactamente su ubicación. Para ello se ha dividido de

acuerdo a los subprocesos en algunos casos ó de acuerdo al equipo principal al que pertenezca el instrumento en otros casos, esta clasificación se la realizará por lazos de control, de acuerdo a la Tabla 3.3.

<b>N<sub>3</sub> N<sub>4</sub>: CLASE DE EQUIPO PRINCIPAL O LAZO</b>	
<b>Código</b>	<b>Clasificación</b>
0	Zona de Tanques o Area de Almacenamiento
1	Bomba o Patio de Bombas
2	Islas de Despacho de Combustibles
3	Suministro de energía Eléctrica
4	Tren de medición
5	Zona de Filtrado (Jet Fuel)
6	Compresores o Compresión
7	Intercambiador de Calor.
8	Estación Reductora de Presión o Isla de recepción
9	Incrementador
10	Motor Eléctrico (Estación de Bombeo)
11	Motor de combustión interna.
12	Tubería
13	Reductora de presión
14	Unidad de Relicuefaccion
15	Manifold
16	Tanques de Alivio
17	Sistema ContraIncendios
18	Sistema Potabilizacion de Agua
19	Sistema de Generacion Electrica
20	Sistema de Combustion de Gases Tea
21	Sistema Variador de Frecuencia
22	Tratamiento de Aguas residuales

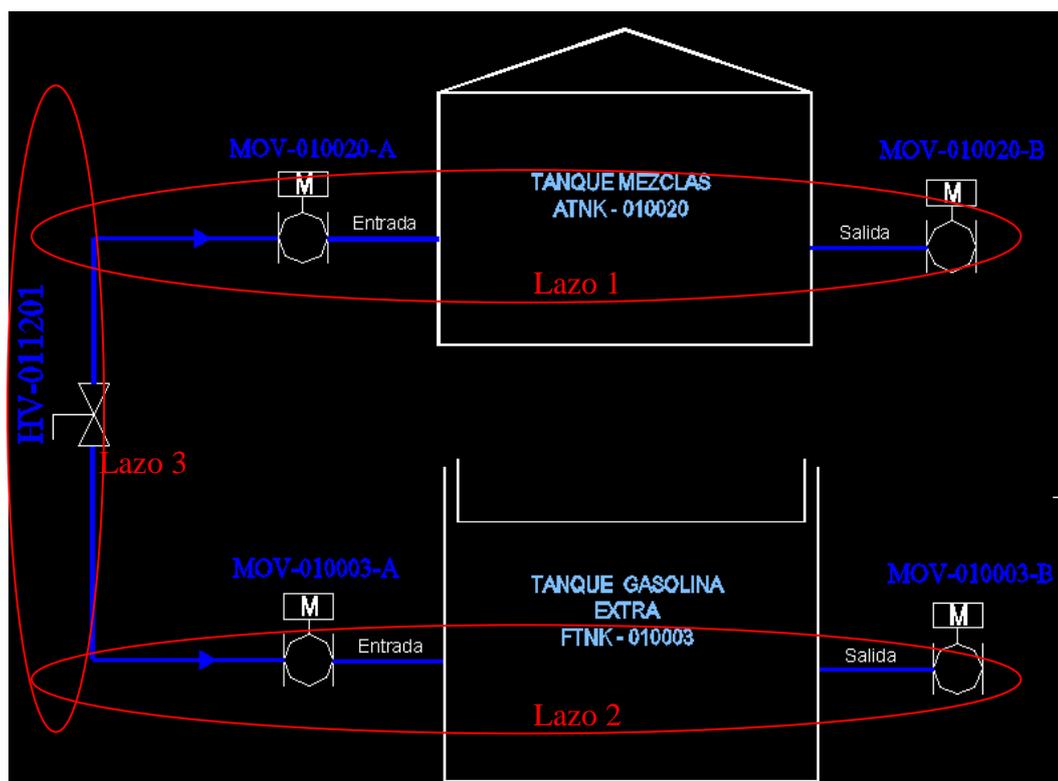
Tabla 3.3. Clase de equipo principal ó lazo<sup>6</sup>.

- *Número de equipo ó Lazo (N<sub>5</sub>N<sub>6</sub>)*

Se cuenta con un par de dígitos para determinar el número de equipo ó lazo que preferentemente deberán relacionarse con los actuales números de los equipos ó instrumentos.

- *Letra Opcional (A<sub>5</sub>)*

En el caso en que puedan existir dos o más equipos con el mismo código, se tiene la opción de incluir una letra adicional para distinguirlos

Ejemplo de Codificación<sup>6</sup>Figura 3.3. Ejemplo de codificación para la ubicación el instrumento<sup>6</sup>

En la Figura 3.3. se muestra un ejemplo de un Diagrama de Flujo y la división de lazos. Existen tres lazos de Control el lazo 1 y 2 están asociados directamente a cada tanque y el lazo tres al no asociarse a un equipo principal por afectar a ambos tanques es un lazo diferente, mismo que se asocia a una tubería. Una vez identificados los lazos se procede a colocar la codificación como sigue:

**Lazo 1**

Es un tanque de techo fijo su nomenclatura es ATNK se encuentra ubicado en el Beaterio 01 ver Tabla 3.2., su lazo es el de almacenamiento 00 ver Tabla 3.3 y es el tanque número 20 por lo que su código es: **ATNK-010020**.

Los instrumentos asociados al lazo utilizaran la misma numeración que el tanque por lo que al tener la válvula con actuador en la entrada su nomenclatura es MOV y su código será **MOV-010020-A** y para la salida **MOV-010020-B** la letra final diferencia entre dos elementos iguales.

## Lazo 2

Es un tanque de techo flotante su nomenclatura es FTNK se encuentra ubicado en el Beaterio 01 ver Tabla 3.2., su lazo es el de almacenamiento 00 ver Tabla 3.3., y es el tanque número 03 por lo que su código es: **FTNK-010003**.

Los instrumentos asociados al lazo utilizaran la misma numeración que el tanque por lo que al tener la válvula con actuador en la entrada su nomenclatura es MOV y su código será **MOV-010003-A** y para la salida **MOV-010003-B** la letra final diferencia entre dos elementos iguales.

## Lazo 3

Este lazo no se asocia a ningún equipo principal y es un lazo de control diferente porque tiene control sobre ambos tanques por esta razón se asocia al lazo de tubería. Es una válvula manual con símbolo HV al encontrarse en el Beaterio 01 ver Tabla 3.2., siendo el lazo de tubería número 12 ver Tabla 3.3., y al ser el primer lazo de tubería especificado el 01 (este número deberá documentarse durante la realización de los planos a fin de que no existan duplicaciones deberá ser único para cada lazo del mismo tipo) y su código será **HV-011201**.

Es importante mencionar que para diferenciación de los combustibles está definido un color característico para cada producto siendo: Gasolina Extra (azul), Gasolina Súper (amarillo), Diesel Premium (morado), Diesel 2 (rosado); mismos que se pueden apreciar en las Interfaces Hombre- Máquina.

## 3.2 Estudio del sistema de despacho actual.

Para desarrollar el proyecto de repotenciación en lo que respecta a la ingeniería básica, es menester tener claro el sistema de despacho, para identificar equipos con los que se cuenta y realizar una lista preliminar de equipos necesarios para el proyecto. Además una vez identificados los equipos se debe realizar un levantamiento de distancias para cuantificar el cable necesario de alimentación y comunicación.

En el capítulo I del presente proyecto ya se cumplió un porcentaje del estudio de la ingeniería básica, pues se detalló el proceso de despacho de las gasolinas y

se presentaron las tablas de especificaciones de los principales equipos de campo y de control.

Por lo que, en esta parte se cuantifica e identifica equipos de comunicación y protección del Centro de Control de Motores, así como los existentes en el Patio de Bombas, los mismos que formarán parte del nuevo sistema de despacho en el que funcionarán cada electrobomba con un variador de velocidad.

### 3.2.1 Levantamiento de equipos del Centro de Control de Motores (M.C.C.)

En el M.C.C. se controla de manera local los equipos, cuenta con cableado de alimentación trifásica de 460 VAC canalizado con bandejas porta cables. En caso de falta de energía eléctrica, se cuenta con un generador de energía para alimentación general y de un equipo U.P.S. local para alimentar los equipos de comunicación y control.

El armario es de la empresa Schneider, tiene 14 divisiones dónde se encuentran los diferentes equipos de alimentación, protección, control y comunicación como se aprecia en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Armario de equipos del M.C.C.

#	Compartimento	Descripción
1	Variadores de Velocidad	Se encuentran los variadores de velocidad de Diesel 2 y gasolina Extra, con su respectiva apareamiento. Además cada uno cuenta con su terminal gráfica.
2	Contactores de aislamiento	Se encuentran 14 contactores de aislamiento, de los cuales únicamente están conectados los de gasolina Extra y Diesel 2.
3	Panel táctil, Electrobombas	Se encuentra el panel táctil MAGELIS junto con bombas 7 y 8 de gasolina Súper, 10 y 11 de Diesel Premium y la bomba contra incendios.
4	Control de iluminación- Equipos de control y comunicación	Se encuentra el control de iluminación de los tanques de almacenamiento y patio de bombas. En el siguiente compartimento se identifican equipos de control (PLC's) y comunicación (Switch, conversores).
5	Control Bombas	Se encuentra la apareamiento para el control manual de la bomba mediante arranque directo.

Tabla 3.4. Descripción de compartimentos del armario de equipos del M.C.C.

Una vez descritos de forma general los compartimentos del armario, se procede a detallar datos técnicos de los diferentes equipos que se encuentran en cada uno de ellos, y posteriormente su cuantificación por cada producto.

➤ En el compartimento de los variadores de velocidad se encuentran equipos de los cuales los datos técnicos generales se presentan en las tablas: Tabla 3.5., Tabla 3.6., Tabla 3.7., Tabla 3.8. y Tabla 3.9.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Interruptor Automático
MARCA	Square D.
MODELO	HLL36150
DATOS GENERALES	
PROTECCION CONTRA	Sobrecarga y cortocircuito
SISTEMA DE DISPARO	Roto activo
AMPERAJE NOMINAL(In)	150 A
VOLTAJE NOMINAL(Ue)	600 VAC/ 250 VDC
TIPO DE BREAKER	Estándar
PODER DE RUPTURA ÚLTIMO (Icu)	100 A
PODER DE RUPTURA DE CORTOCIRCUITO (Ics)	100 A
CATEGORIA	A: No requieren selectividad. No proveen, en su funcionamiento ningún retardo en la desconexión por COC.
VOLTAJE DE AISLAMIENTO(Ui)	750 VAC
VOLTAJE DE IMPULSO (Uimp)	8kV
CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN	100kA a 480 VAC
TAMAÑO DEL CABLE	# 14 a #3/0 AWG (Al/Cu)
PESO	5Libras
NUMERO DE POLOS	3
NORMAS	IEC 60947-2, UL 489, CSA C22.2, NOM-003, NMX-J-266.
IMAGEN	
	

Tabla 3.5. Especificaciones generales del interruptor automático Power Pact 150 [A]

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Fusible de retardo
MARCA	C-TRON COOPER Bussmann
MODELO	FNQ-R-5
DATOS GENERALES	
PROTECCIÓN CONTRA	Efectos térmicos y magnéticos de COC (aguas abajo)
AMPERAJE NOMINAL	5 A
VOLTAJE NOMINAL	600 VAC
CLASE	CC (acción retardada)
CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN	200,000 A RMS
APLICACIÓN	Protección de transformadores
IMAGEN	
	

Tabla 3.6. Especificaciones generales del fusibles de retardo C-TRON

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Inductancia AC CHOKE
MARCA	Telemecanique
MODELO	VWA3A4556
DATOS GENERALES	
PROTECCION CONTRA	Sobretensiones de la línea y reducir armónicos de corriente.
INSTALACION	Aguas arriba de la unidad
CORRIENTE NOMINAL	100 A
RANGO DE VOLTAJE	200 A 690 V
INDUCTANCIA (mH)	0.3
FRECUENCIA (Hz)	50/60
PARA USO EN	Altivar 31 – 61 - 71
IMAGEN	
	

Tabla 3.7. Especificaciones generales de inductancia de línea AC CHOKE

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Relé
MARCA	Telemecanique
MODELO	A013250
<b>DATOS GENERALES</b>	
VOLTAJE NOMINAL(Ve) / FRECUENCIA	110 VAC / 60 Hz
CORRIENTE TERMICA NOMINAL (Ith)	10 A
CALIBRE CABLE (AWG)	10-18 CU 75 °C
CONTACTOS N. O. / N.C.	3 / 3
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.8. Especificaciones generales de relé Telemecanique

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Luces-selector-potenciómetro-terminal gráfica (VARIADOR)
MARCA	Telemecanique
MODELO	Altivar 61
<b>DATOS GENERALES</b>	
PIXELES	8 líneas 240 x 160
TECLAS DE FUNCIÓN	F1 - F2 - F3 – F4
STOP/RESET	Control local de paro y reinicio de fallo
RUN / ESC	Operación motor / Abortar un valor
FWD/REV	Dirección de rotación del motor
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.9. Especificaciones generales de luces piloto- selectores-potenciómetro- terminal gráfica del Driver

- Total de equipos de gasolina Extra:

Equipos del compartimento Variadores de Velocidad		
Ord	Equipo	Total
1	Variador Altivar 61	1
2	Terminal gráfica	1
3	Selector de tres posiciones (Auto-Fuera-Manual)	1
4	Selector de dos posiciones (Adelante-Atrás)	1
5	Luz indicadora (Marcha-Falla)	3
6	Pulsador para prueba de luces	1
7	Potenciómetro de 2 k $\Omega$ .	1
8	Interruptor Automático HLL36150	1
9	Fusible de retardo C-TRON (5 A- 6.25 A- 100 A)	7
10	Inductancia ó reactor de línea AC CHOKE	1
11	Relé Telemecanique	3
12	Transformador Square D 500 VA	1
13	Ventilador	1

Tabla 3.10. Total equipos del compartimento Variadores de Velocidad de gasolina Extra

- Total de equipos de gasolina Súper:

Gasolina Súper no cuenta con variador

- En el compartimento de los contactores de aislamiento se encuentran equipos de los cuales los datos técnicos generales se presenta a continuación:

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Contactor
MARCA	Square D
MODELO	8502SE02
<b>DATOS GENERALES</b>	
TAMAÑO	NEMA 3
VOLTAJE NOMINAL(Ve)	460 VAC
TENSION NOMINAL DE AISLAMIENTO	600 V
TENSION NOMINAL DE AGUANTE A IMPULSOS	5 Kv
TEMPERATURA AMBIENTE	0 - 40 °C
CAPACIDAD NOMINAL DE CIERRE Y APERTURA	10 Corriente Nominal
VALOR NOMINAL DE COC PERMITIDO	104 A
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO CIERRE / APERTURA	17.3 ms / 32.3 ms
VIDA UTIL MECANICA	5 millones de ciclos
VELOCIDAD MAXIMA DE FUNCIONAMIENTO	4500 ciclos / hora
CORRIENTE REG. CONTINUO	90 A
CORRIENTE NOMINAL TERMICA	90 A
FRECUENCIA	50 / 60 Hz
POTENCIA MAXIMA	50 HP
TENSION DE ACTIVACION BOBINA	120 VAC
USO PARA CONMUTAR	Motores eléctricos dónde la protección para sobrecargas se proporciona por separado
TIPO ACCIONAMIENTO	Electromecánico
NORMAS	NEMA ICS-1, ICS-2, UL 508
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.11. Especificaciones generales de Contactor NEMA tamaño 3

- Total de equipos de gasolina Extra: Existen 5 Contactares NEMA 3
  - Total de equipos de gasolina Súper: Existen 3 Contactores NEMA 3 (desconectados)
- En el compartimento de bombas se encuentran equipos de los cuales los datos técnicos generales se presenta en las tablas: Tabla 3.12., Tabla 3.13, Tabla 3.14, Tabla 3.15 y Tabla 3.16.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Interrupor Automático 70 A
MARCA	Square D
MODELO	FHP36070
DATOS GENERALES	
PROTECCION CONTRA	Sobrecarga y Cortocircuito
VOLTAJE NOMINAL (Ue)	415 V
PODER DE CORTE ULTIMO(Icu)	10 kA
PODER CORTE EN SERVICIO (Ics)	2.5 kA
TENSION DE AISLAMIENTO (Ui)	750 V
VOLTAJE DE IMPULSO (Uimp)	6 kV
CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN	25kA a 480 V
NUMERO DE POLOS	3
TAMAÑO DEL CABLE	2.5-50mm <sup>2</sup> (Al/Cu)
IMAGEN	

Tabla 3.12. Especificaciones generales de Interruptor automático 70 A

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Fusible de retardo
MARCA	C-TRON COOPER Bussmann
MODELO	FNQ-R-1/2
DATOS GENERALES	
PROTECCION CONTRA	Efectos térmicos y magnéticos de COC (aguas abajo)
AMPERAJE NOMINAL	0.5 A
VOLTAJE NOMINAL	600 VAC
VALOR MINIMO	12 s a 200 %
CLASE	CC (acción retardada)
CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN	200,000 A RMS
IMAGEN	
	

Tabla 3.13. Especificaciones generales de fusibles de retardo C-TRON 0.5 [A]

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Relé de sobrecarga
MARCA	Square D
MODELO	Motor Logic
DATOS GENERALES	
TASA DE CORRIENTE	15 A a 45 A
VOLTAJE MAXIMO	600 VAC
FRECUENCIA	50-60 Hz
TRIP	125%
CLASE	9065
SERIE	S NEMA 3 Y 4 (reposición)
IMAGEN	
	

Tabla 3.14. Especificaciones generales de relé de sobrecarga Motor Logic

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Contactador
MARCA	Square D
MODELO	8536SDO1H20S
<b>DATOS GENERALES</b>	
TAMAÑO	NEMA 2
VOLTAJE NOMINAL(Ve)	460 VAC
CORRIENTE REG. CONTINUO	90 A
FRECUENCIA	50 / 60 Hz
POTENCIA MAXIMA	25 HP
TENSION DE ACTIVACION BOBINA	120 VAC
TIPO ACCIONAMIENTO	Electromecánico
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.15. Especificaciones generales de contactor NEMA tamaño 2

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Pulsadores-Selector-Luces
MARCA	Telemecanique
MODELO	Altivar 61
<b>DATOS GENERALES</b>	
SELECTOR	3 posiciones (Auto-Fuera-Manual)
CABEZA DE LUZ PILOTO	Rojo/ Verde
PULSADOR	N.A.
VOLTAJE	120 VAC
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.16. Especificaciones generales de luces Piloto- Pulsadores-Selector de la Bomba

- Total de equipos de gasolina Extra:

<b>Equipos del compartimento Control de Bombas</b>		
Ord	Equipo	Total
1	Interruptor Automático 70 A	5
2	Fusible de retardo C-TRON (0.5 A)	10
3	Relé de sobrecarga MOTOR LOGIC	5
4	Contactador NEMA 2	5
5	Selector de tres posiciones (Auto-Fuera-Manual)	5
6	Luz indicadora (On - Off)	10
7	Pulsador (Start - Stop)	10

Tabla 3.17. Total equipos del compartimento Control Bombas de gasolina Extra

- Total de equipos de gasolina Súper:

<b>Equipos del compartimento Control de Bombas</b>		
Ord	Equipo	Total
1	Interruptor Automático 70 A	3
2	Fusible de retardo C-TRON (0.5 A)	6
3	Relé de sobrecarga MOTOR LOGIC	3
4	Contactador NEMA 2	3
5	Selector de tres posiciones (Auto-Fuera-Manual)	3
6	Luz indicadora (On - Off)	6
7	Pulsador (Start - Stop)	6

Tabla 3.18. Total equipos del compartimento Control Bombas de gasolina Súper

- Los datos técnicos generales de los equipos para comunicación se detallan en las tablas: Tabla 3.19., Tabla 3.20., Tabla 3.21., Tabla 3.22. y Tabla 3.23.

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Breaker multi 9
MARCA	Merlin Gerin
MODELO	C60N
DATOS GENERALES	
VOLTAJE DE OPERACIÓN	480 VAC
TIPO	B
CORRIENTE NOMINAL (In)	6 A
TIPO CURVA	C Protección de 5 a 10 In
IMAGEN	
	

Tabla 3.19. Especificaciones generales de breaker MERLIN GERIN C60N

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Fuente de alimentación 12 VDC
MARCA	idec
MODELO	PS5R-A12
DATOS GENERALES	
VOLTAJE DE ENTRADA	100-240 VAC
CORRIENTE DE ENTRADA	0.17 A
FRECUENCIA	50/60 Hz
VOLTAJE DE SALIDA	120VDC
CORRIENTE	0.6 A
POTENCIA	7.5 W
IMAGEN	
	

Tabla 3.20. Especificaciones generales de alimentación 12 VDC

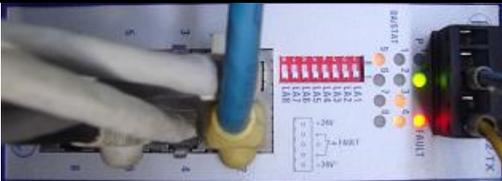
<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Switch para riel
MARCA	Hirschmann
MODELO	RS2-TX
<b>DATOS GENERALES</b>	
VELOCIDAD	Ethernet (10Mbit/s) / FastEth. (100Mbit/s)
CABLE/CONECTOR	8X10/100Base-TX, RJ 45
LONGITUD CABLE	0-100 m
VOLTAJE/CORRIENTE	24 VDC / 290 Ma
CLASIFICACIÓN	Clase I División 2
REDUNDANCIA ALIMENTACIÓN	24 VDC
TEMPERATURA :	0 a 60 °C
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.21. Especificaciones generales de Switch para riel

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Relé de Fallo de Fase
MARCA	Square D
MODELO	DAS
<b>DATOS GENERALES</b>	
VOLTAJE	480 VAC /60 Hz /3 fases
CARGA DE ENTRADA MÁXIMA	5.5 VA / 5,5 VA
VALORES NOM. DE LOS CONTACTOS	1800 VA /5 A
PROTECCIÓN DEL MOTOR MONITOREANDO:	-Pérdida de alguna fase -Desbalance del voltaje de fase -Inversión de fase
NIVELES DETECCIÓN DE DESBALANCE	5% a 15 %
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 3.22. Especificaciones generales de relé de fallo de fase

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Conversor Protocolo
MARCA	B&B electronics
MODELO	485LDRC9
DATOS GENERALES	
RANGO DE ALIMENTACION	10-30 VDC
RANGO DE TEMPERATURA	-40 ° - 80 ° C
BLOQUE CONECTORES	Para RS-232 y RS-422/485 (2hilos)
INCREMENTA RANGO COMUNICA	1200 m
CONEXIÓN HASTA	32 nodos
COMPATIBLE	MODBUS
RANGO DE TEMPERATURA	-40 A 80
IMAGEN	
	

Tabla 3.23. Especificaciones generales de conversor de protocolo de comunicación.

Cabe resaltar que las tablas técnicas de los equipos de control como son los PLC's ya se presentaron en el capítulo I.

### 3.2.2 Levantamiento de equipos y distancias del Patio de Bombas

En el Patio de Bombas se encuentran equipos como son: bombas centrífugas, motores, actuadores, y transmisores de presión.

En la Tabla 3.24. se muestra el levantamiento de los motores del Patio de Bombas con sus respectivos datos de placa:

En las tablas: Tabla 325. , Tabla 3.26. se muestra el levantamiento de los actuadores del Patio de Bombas y Tanques de Almacenamiento con sus respectivos datos de identificación.

<b><u>MOTORES</u></b>							
<b>EXTRA</b>							
<b>N° Motor</b>	<b>RPM</b>	<b>Factor de Potencia (fp)</b>	<b>N° Motor</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Voltaje Nominal (V)</b>	<b>Corriente Nominal (A)</b>	<b>NEMA NUM EFFICENCY</b>
M1	1760	0.765	NMOTR-0001	25	230/460	61,2/30,6	88,5
M2	1775	0.765	NMOTR-0002	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M3	1775	0.765	NMOTR-S/N	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M4	1760	0.765	NMOTR-0004	25	230/460	61,2/30,6	88,5
M5	1775	0.765	NMOTR-0011	25	230/460	59,8/29,9	92,4
<b>SUPER</b>							
M6	1775	0.765	NMOTR-0013	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M7	1775	0.765	NMOTR-0007	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M8	1760	0.765	NMOTR-0008	25	230/460	61,2/30,6	88,5
<b>DIESEL PREMIUM</b>							
M9	1755	0.765	NMOTR-0061	20	230/460	50,6/25,3	87,5
M10		0.765	NMOTR-0040	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M11		0.765	NMOTR-0042	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M12		0.765	NMOTR-0012	25	230/460	59,8/29,9	92,4
<b>DIESEL 2</b>							
M13		0.765	NMOTR-0003	25	230/460	61,2/30,6	88,5
M14		0.765	NMOTR-0041	25	230/460	59,8/29,9	92,4
M15		0.765	NMOTR-0015	25	230/460	59,8/29,9	92,4

Tabla 3.24. Motores del Patio de Bombas datos de placa

ITEM	LOCALIZACION	DETALLE	MARCA	MODELO	No. SERIE	DIRECCION MODBUS (HEX)	MODBUS (DEC)	TARJETA MODBUS
1	BOMBA 1	SUCCION TB-1014	ROTORK	IQ10	B3393501/03	1	1	MK1
2	BOMBA 1	SUCCION TB-1003	ROTORK	IQ10	B3393501/05	2	2	MK1
3	BOMBA 2	SUCCION TB-1003	ROTORK	IQ10	B3393501/04	4	4	MK1
4	BOMBA 3	SUCCION TB-1014	ROTORK	IQ10	B3393501/02	5	5	MK1
5	BOMBA 3	SUCCION TB-1003	ROTORK	IQ10	B3393501/01	6	6	MK1
6	BOMBA 4	SUCCION TB-1003	ROTORK	IQ10	B3393501/09	7	7	MK1
7	BOMBA 4	SUCCION TB-1020	ROTORK	IQ10	B3393501/06	8	8	MK1
8	BOMBA 5	SUCCION TB-1007	ROTORK	IQ10	B3393501/08	0A	10	MK1
9	BOMBA 6	SUCCION TB-1012 SUCCION TB-1001	ROTORK	IQ10	B3393501/07	0B	11	MK1
10	BOMBA 9	SUCCION TB-1011	ROTORK	IQT1000	B359470104	0F	15	MK1
11	BOMBA 9	SUCCION TB-1016 SUCCION TB-1022	ROTORK	IQT1000	B402190110	10	16	MK1
12	BOMBA 10	SUCCION TB-1011	ROTORK	IQT1000	B402190101	11	17	MK1
13	BOMBA 10	SUCCION TB-1016 SUCCION TB-1022	ROTORK	IQT1000	B402190102	12	18	MK1
14	BOMBA 10	DESCARGA MED 9, 10, 11 Y 12	ROTORK	IQ12	B3312601/09	1D	29	MK1
15	BOMBA 11	SUCCION TB-1016 SUCCION TB-1022	ROTORK	IQT1000	B359470112	13	19	MK1
16	BOMBA 12	SUCCION TB-1010 SUCCION TB-1013	ROTORK	IQT1000	B359470111	14	20	MK1
17	BOMBA 13	SUCCION TB-1010 SUCCION TB-1013	ROTORK	IQT1000	B402190105	15	21	MK1
18	BOMBA 14	SUCCION TB-1010 SUCCION TB-1013	ROTORK	IQT1000	B359470113	16	22	MK1

Tabla 3.25. Actuadores eléctricos del Patio de Bombas

ITEM	LOCALIZACION	DETALLE	MARCA	MODELO	No. SERIE	DIRECCION		TARJETA MODBUS
						(HEX)	(DEC)	
1	TB-1001	ENTRADA	ROTORK	IQ12	B3393502/01	9	9	MK1
2	TB-1001	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470202	0A	10	MK1
3	TB-1003	ENTRADA	ROTORK	IQT2000	B359470214	1C	28	MK2 PRO
4	TB-1003	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470205	18	24	MK2 PRO
5	TB-1005	ENTRADA	ROTORK	IQ12	B3393502/03	0D	13	MK1
6	TB-1005	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470210	0E	14	MK1
7	TB-1007	ENTRADA	ROTORK	IQT2000	B359470204	0F	15	MK1
8	TB-1007	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470216	10	16	MK1
9	TB-1010	ENTRADA	ROTORK	IQT2000	B359470212	19	25	MK2 PRO
10	TB-1010	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470201	1A	26	MK2 PRO
11	TB-1011	ENTRADA	ROTORK	IQT1000	B359470107	5	5	MK1
12	TB-1011	SALIDA	ROTORK	IQT1000	B359470106	6	6	MK1
13	TB-1012	ENTRADA	ROTORK	IQT2000	B359470218	11	17	MK1
14	TB-1012	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470220	12	18	MK1
15	TB-1013	ENTRADA	ROTORK	IQT1000	B359470109	3	3	MK1
16	TB-1013	SALIDA	ROTORK	IQT1000	B359470105	4	4	MK1
17	TB-1014	ENTRADA	ROTORK	IQ12	B3312601/06	13	19	MK1
18	TB-1014	SALIDA	ROTORK	IQ12	B3393502/04	14	20	MK1
19	TB-1016	ENTRADA	ROTORK	IQT1000	B359470101	1	1	MK1
20	TB-1016	SALIDA	ROTORK	IQT1000	B359470102	2	2	MK1
21	TB-1017	ENTRADA	ROTORK	IQT1000	B410060316	1D	29	MK2 PRO
22	TB-1017	SALIDA	ROTORK	IQT1000	B410060311	1E	30	MK2 PRO
23	TB-1018	ENTRADA	ROTORK	IQ12	B3286204/02	0D	13	PACKSCAN
24	TB-1018	SALIDA	ROTORK	IQ14	B26131020103	0C	12	PACKSCAN
25	TB-1019	ENTRADA	ROTORK	IQT500	B402190210	1B	27	MK2 PRO
26	TB-1019	SALIDA	ROTORK	IQT1000	B402190108	0C	12	MK1
27	TB-1020	ENTRADA	ROTORK	IQT2000	B359470221	15	21	MK1
28	TB-1020	SALIDA	ROTORK	IQT2000	B359470206	16	22	MK1
29	TB-1022	ENTRADA	ROTORK	IQ12	B3393502/02	0B	11	MK1
30	TB-1022	SALIDA	ROTORK	IQ12	B3393502/05	17	23	MK1

Tabla 3.26. Actuadores eléctricos de los Tanques de Almacenamiento.

Los datos técnicos de dichos equipos del patio de bombas se presentaron en el Capítulo I, excepto del transmisor de presión que se presenta conjuntamente con la calibración e instalación en el Anexo 3.

Se realizó el levantamiento de distancias de equipos desde el M.C.C. hasta su ubicación en el patio de bombas, para determinar la cantidad de cable necesario para alimentar y comunicar los diferentes equipos con el M.C.C.

Dentro del desarrollo de la fase II del presente proyecto, se planteo cambiar el cableado de todos los equipos del patio de bombas, ya que ciertos cables no cumplen normas de clasificación de áreas peligrosas, sobre todo el cableado de fuerza del motor no es el apropiado para funcionar con un variador de velocidad.

El levantamiento de distancias, proformas y requisiciones del cableado (fuerza y comunicación) de equipos del patio de bombas se realiza para todos los productos (Extra, Súper, Diesel y Diesel Premium) por pedido de los funcionarios de Mantenimiento del terminal. Para una mejor comprensión de las distancias referirse al diagrama isométrico del Anexo 7 Plano 1.

Cabe resaltar que para el cable de comunicación del actuador, por su conexión en serie, se debe sumar a la distancia del actuador más lejano (motor 15) 36 metros que corresponden a un valor de 1,2 m por los 30 actuadores del patio de bombas.

Por lo tanto, en las tablas: Tabla 3.27., Tabla 3.28., Tabla 3.29., y Tabla 3.30. se presenta las mediciones de cada equipo especificado para cada producto:

<b>MOTOR</b>				
<b>PRODUCTO</b>	<b>NÚMERO</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>ESTIMADA (+20%)</b>	
		<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[pies]</b>
DIESEL 2	15	94.40	113.28	371.65
DIESEL 2	14	91.03	109.24	358.39
DIESEL 2	13	87.59	105.11	344.84
DIESEL PREMIUM	12	79.30	95.16	312.20
DIESEL PREMIUM	11	75.87	91.04	298.70
DIESEL PREMIUM	10	73.07	87.68	287.68
DIESEL PREMIUM	9	69.27	83.12	272.72
SÚPER	8	65.57	78.68	258.15
SÚPER	7	62.14	74.57	244.65
SÚPER	6	60.12	72.14	236.69
EXTRA	5	58.27	69.92	229.41
EXTRA	4	54.27	65.12	213.66
EXTRA	3	52.22	62.66	205.59
EXTRA	2	47.95	57.54	188.78
EXTRA	1	44.41	53.29	174.84
<b>TOTALES</b>		<b>1015.48</b>	<b>1218.58</b>	<b>3997.95</b>

Tabla 3.27. Distancias del cableado de motores del patio de bombas

<b>BOTONERA</b>				
<b>PRODUCTO</b>	<b>NÚMERO</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>ESTIMADA (+20%)</b>	
		<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[pies]</b>
DIESEL 2	15	94.40	113.28	371.65
DIESEL 2	14	91.03	109.24	358.39
DIESEL 2	13	87.59	105.11	344.84
DIESEL PREMIUM	12	79.30	95.16	312.20
DIESEL PREMIUM	11	75.87	91.04	298.70
DIESEL PREMIUM	10	73.07	87.68	287.68
DIESEL PREMIUM	9	69.27	83.12	272.72
SÚPER	8	65.57	78.68	258.15
SÚPER	7	62.14	74.57	244.65
SÚPER	6	60.12	72.14	236.69
EXTRA	5	58.27	69.92	229.41
EXTRA	4	54.27	65.12	213.66
EXTRA	3	52.22	62.66	205.59
EXTRA	2	47.95	57.54	188.78
EXTRA	1	44.41	53.29	174.84
<b>TOTALES</b>		<b>1015.48</b>	<b>1218.58</b>	<b>3997.95</b>

Tabla 3.28. Distancias del cableado de botoneras del patio de bombas

<b>ACTUADOR FUERZA</b>				
<b>PRODUCTO</b>	<b>NÚMERO</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>ESTIMADA (+20%)</b>	
		<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[pies]</b>
DIESEL 2	15	112.80	135.36	444.09
DIESEL 2	14	109.33	131.20	430.43
DIESEL 2	13	105.81	126.97	416.57
DIESEL PREMIUM	12	96.71	116.05	380.75
DIESEL PREMIUM	11	93.14	111.77	366.69
DIESEL PREMIUM	10	90.50	108.60	356.30
DIESEL PREMIUM	9	87.75	105.30	345.47
SÚPER	8	84.20	101.04	331.50
SÚPER	7	80.80	96.96	318.11
SÚPER	6	78.30	93.96	308.27
EXTRA	5	76.20	91.44	300.00
EXTRA	4	72.15	86.58	284.06
EXTRA	3	69.70	83.64	274.41
EXTRA	2	65.50	78.60	257.87
EXTRA	1	62.00	74.40	244.09
<b>TOTAL 1 ACTUADOR</b>		<b>1284.89</b>	<b>1541.87</b>	<b>5058.62</b>
<b>TOTAL 2 ACTUADORES</b>		<b>2569.78</b>	<b>3083.736</b>	<b>10117.2444</b>
<b>COMUNICACIÓN</b>				
<b>TOTAL 1</b>		<b>112.80</b>	<b>135.36</b>	<b>444.09</b>
<b>TOTAL 1 + 36 m</b>		<b>148.80</b>	<b>178.56</b>	<b>585.83</b>

Tabla 3.29. Distancias del cableado de actuadores del patio de bombas

<b>TRANSMISOR COMUNICACIÓN HART</b>			
<b>PRODUCTO</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>ESTIMADA (+20%)</b>	
	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[pies]</b>
EXTRA	80.75	96.90	317.91
SÚPER	95.25	114.30	375.00
DIESEL PREMIUM	109.21	131.05	429.96
DIESEL 2	130.30	156.36	512.99
<b>TOTAL</b>	<b>415.51</b>	<b>498.61</b>	<b>1635.87</b>

Tabla 3.30. Distancias del cableado de transmisores del patio de bombas

Una vez realizado el levantamiento de equipos del sistema actual, se realiza una breve descripción del proceso que siguen los operadores en un día normal de despacho, para diferenciar con la descripción del proceso del nuevo sistema de despacho e identificar los beneficios de la repotenciación del nuevo sistema.

### 3.2.3 Descripción del proceso de despacho actual

El despacho de combustible en el terminal Beaterio se lo realiza en horario ininterrumpido de 7:00 am a 17:00 pm todos los días, por lo que se dispone de diferentes áreas de coordinación desde que se recibe el producto, almacena y despacha. El procedimiento que se describe a continuación es una parte del proceso y de interés para el presente proyecto.

#### 3.2.3.1 Gasolina Extra

Para el despacho de gasolina Extra se sigue el siguiente proceso:

- Se alinea el tanque de despacho, abriendo las respectivas válvulas manualmente.
- Con el conocimiento de electrobombas funcionales se abren válvulas de las electrobombas operativas y se cierran las no operativas, en el patio de bombas.
- Según el tanque de despacho y tiempo de operación, se configuran las electrobombas (1, 2, 3, 4 y 5) como Principal, Auxiliar1, Auxiliar2 y Auxiliar 3, para ello el operador debe tener conocimiento y experiencia de la conexión electrobomba – tanque y de similar manera si se despacha desde una esfera.
- Se verifica la configuración de las electrobombas y apertura de sus respectivas válvulas, ya sea desde el cuarto de control (INTOUCH) ó desde el M.C.C (MAGELIS). Cabe mencionar que en este paso los operadores contaban con una interfaz que no mostraba equipos del campo (actuadores de las válvulas, brazos de carga, conexión de tubería), ni una animación comprensiva.
- Sobre la electrobomba principal, se verifica el encendido y datos técnicos del variador de velocidad. Además se observa las luces piloto para verificar el arranque directo de las electrobombas auxiliares, y en caso de falla se requiere mandar el arranque manualmente.

Si fuera el caso que se terminó el producto de un tanque y se requiere cambiarlo durante el despacho, se necesita ordenar a los despachadores de cada isla el paro momentáneo, que toma un tiempo considerable hasta cumplir con toda la logística del proceso explicado y mandar a reiniciar el despacho.

### **3.2.3.2 Gasolina Súper**

Para despachar gasolina Súper se sigue el siguiente proceso:

- Se alinea el tanque de despacho y se abren las respectivas válvulas.
- Se selecciona entre las electrobombas 6 y 7 la principal y auxiliar según su tiempo de operación. Adicionalmente se selecciona como Disponible a la electrobomba 8 para trabajar con el brazo 1.
- Se verifica la configuración de las electrobombas y apertura de sus respectivas válvulas, únicamente en una ventana de Configuración de Bombas en la HMI de INTOUCH. De hecho, al no contar con una interfaz como en los otros productos, ocasiona confusión a los operadores.
- Se verifica el arranque directo de las electrobombas, observando las luces piloto, ya que en caso de falla se debe arrancar manualmente.

Cuando se necesita cambiar el tanque de despacho, se requiere comunicar a los operadores el paro momentáneo; aunque por su demanda de operación, este proceso toma menos tiempo que gasolina extra.

## **3.3 Estudio del nuevo sistema de despacho.**

Las fases I y II del presente proyecto son la base para el nuevo sistema de despacho que se tiene la visión de implementar en el terminal próximamente. Con el objetivo de optimizar el sistema de control y ahorrar energía el principal equipo a adquirir es el variador de velocidad, para el cual se debe dimensionar cableado así como equipos de protección, trabajo de la fase II. Mientras que el trabajo de la fase I complementa el uso de los variadores, mediante una configuración automática de las electrobombas ya sea como principal ó auxiliar según su tiempo de operación; y un óptimo sistema de control (P.I.) de presión de la tubería.

### 3.3.1 Lista de equipos para el nuevo sistema de despacho

Para el nuevo sistema de despacho de gasolina extra de manera general se necesitan adquirir los equipos que se detallan en la Tabla 3.31.

### 3.3.2 Descripción del proceso del nuevo sistema de despacho

El proceso del nuevo sistema de despacho de gasolinas Extra y Súper será el siguiente:

- Se alinea el tanque de despacho en el campo, abriendo las respectivas válvulas manualmente
- En la interfaz HMI ya sea en el Cuarto de Control mediante INTOUCH ó en el M.C.C. mediante la panel táctil MAGELIS, se debe seleccionar solamente el tanque de despacho, y automáticamente se habilitan las electrobombas con las que el tanque seleccionado tiene conexión; las mismas que se debe asignar la configuración Disponible. Con las electrobombas disponibles el sistema automáticamente asigna la configuración como principal ó auxiliar según el tiempo de operación.
- El operador puede visualizar el correcto funcionamiento de los variadores de velocidad de las electrobombas únicamente pulsando sobre cada electrobomba dónde adicionalmente se muestra la presión de la tubería. Si se desea verificar el funcionamiento del sistema de control, puede acceder a las gráficas a tiempo real, que muestra líneas de tendencia del seguimiento de la variable de proceso y valor de referencia.
- Por cualquier eventualidad si el variador de velocidad esta en fallo, la electrobomba debe encenderse con arranque directo. El operador puede visualizar ó configurar datos técnicos de operación del motor mediante un equipo inteligente controlador de gestión de motores que cuenta además con una interfaz HMI.

<b>Gasolina EXTRA</b>		
<b>Ord</b>	<b>Equipo</b>	<b>Total</b>
<b>EQUIPOS</b>		
1	Variador de velocidad	4
2	Selector de tres posiciones (Auto-Fuera-Manual)	4
3	Selector de dos posiciones (Adelante-Atrás)	4
4	Luz piloto verde indicadora de marcha	4
5	Luz piloto amarilla indicadora de falla	4
6	Pulsador para probar luz verde	4
7	Pulsador para probar luz amarilla	4
8	Potenciómetro manual	4
9	Interruptor automático termo magnético	4
10	Fusibles	10
11	Reactor de Línea AC CHOKE	4
12	Relé para control de pulsadores y luces piloto	12
13	Ventilador	4
14	Dispositivo transmisor de presión	1
<b>Gasolina SÚPER</b>		
15	Variador de velocidad	3
16	Selector de tres posiciones (Auto-Fuera-Manual)	3
17	Selector de dos posiciones (Adelante-Atrás)	3
18	Luz piloto verde indicadora de marcha	3
19	Luz piloto amarilla indicadora de falla	3
20	Pulsador para probar luz verde	3
21	Pulsador para probar luz amarilla	3
22	Potenciómetro manual	3
23	Interruptor automático termo magnético	3
24	Fusibles	7
25	Reactor de Línea AC CHOKE	3
26	Relé para control de pulsadores y luces piloto	9
27	Ventilador	3
28	Dispositivo transmisor de presión	1
<b>CABLEADO y CANALIZACIÓN (todos los productos)</b>		<b>[m]</b>
29	Cable de fuerza para el motor	1218.576
30	Cable de fuerza para el actuador	3083.736
31	Cable de fuerza para botonera	1218.576
32	Cable de comunicación para el actuador	178.56
33	Cable de comunicación y fuerza para el transmisor	498.612
34	Bandejas porta cables	
35	Soportería y Tubería	
<b>Equipos Complementarios</b>		
36	Controlador de gestión de motores	1
37	Filtro activo de armónicos	1

Tabla 3.31. Lista de equipos para el nuevo sistema de despacho

Si fuera el caso que se terminó el producto de un tanque y se requiere cambiarlo durante el despacho, esta vez basta con pulsar un botón Detener Despacho y el sistema automáticamente detiene el despacho de manera progresiva en un tiempo máximo de 20 s; de igual manera para Reiniciar el Despacho el sistema enciende las electrobombas con el variador de velocidad de manera progresiva en un tiempo máximo de 20s. Dichos botones estarán en las diferentes interfaces

HMI.

## **CAPÍTULO IV**

### **INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA**

En el presente capítulo se desarrolla la ingeniería de detalle del presente proyecto que consiste en la revisión de la anterior ingeniería; iniciando con el dimensionamiento de los equipos identificados en la ingeniería básica, posteriormente se presenta los diferentes planos que reflejan los equipos a adquirir con su conexionado, finalizando con la presentación de las respectivas proformas y requisiciones presentadas a la empresa.

#### **4.1 Dimensionamiento de equipos**

El equipo más importante para implementar el presente proyecto es el variador de velocidad, el mismo que se ofrece en el mercado conjuntamente con los equipos apropiados de funcionamiento. Schneider Electric ha sido la empresa que ha suministrado dichos equipos en varias oportunidades, por lo que se ratifica como empresa proveedora para el variador de velocidad y sus respectivas protecciones; sin embargo se presenta a la empresa varias opciones.

Con respecto al contactor de aislamiento, cabe mencionar que al inicio del proyecto ya se encontraba instalado, por lo que únicamente se realiza una verificación de características apropiadas.

Las conexiones eléctricas del M.C.C debe realizarse mediante un cableado NEMA clase 2 tipo B. Esta clasificación especifica que existen conexiones entre los módulos que conforman el Centro de Control de Motores, que el cableado de

campo debe ser conectado en terminales (borneras) o adyacentes a cada módulo y que el cableado de potencia (tamaño NEMA 3 o menor) debe ser conectado en terminales adyacentes o que forman parte del equipo que se está conectado.

#### 4.1.1 Variador de velocidad

Los variadores de velocidad (VFD *Variable Frequency Drive*) son equipos electrónicos que permiten variar la velocidad y el torque de los motores asíncronos trifásicos. Suministra tensión alterna a partir de una red monofásica ó trifásica de frecuencia fija (60 Hz para Ecuador), con valor eficaz y frecuencia variables según la relación del principio de funcionamiento V/F constante.

Para seleccionar el variador de velocidad más adecuado debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos<sup>7</sup>:

- Tipo de carga: Par variable, este tipo de carga es comúnmente encontrado en los impulsores de bombas centrífugas, donde el torque y potencia varían con la velocidad. Son cargas que requieren mucho menos torque a bajas velocidades que a altas velocidades. La potencia varía aproximadamente al cubo de la velocidad, y el torque varía al cuadrado de la velocidad.
- Tipo de motor: De inducción asíncrono rotor jaula de ardilla, corriente 29.9 A, potencia nominal 25 HP, factor de servicio 1.15, rango de voltaje 0-460 V. La potencia del variador debe ser mayor a la del motor a controlar, puede ser mayor a 30 HP.
- Rangos de funcionamiento: Velocidad máxima 1730 rpm y velocidad mínima 0 rpm.
- Condiciones ambientales: Temperatura ambiente de 8°C a 30°C, 2800 m altura, el gabinete necesita ventilación.
- Consideraciones de la red: Se necesita un equipo de corrección de armónicos.
- Consideraciones de la aplicación: Se requiere protección del motor para sobre temperatura, sobrecarga.

---

<sup>7</sup> Manual y Catálogo del Electricista, Schneider Electric, 2006.

- Aplicaciones Especiales: Las electrobombas están en paralelo, funciona uno a la vez con el variador.
- Tipo de comunicación: Se requiere capacidad de integración para una red Modbus plus.

#### 4.1.1.1 Recomendación de circuito

El circuito para utilizar variador de velocidad debe constar de los siguientes equipos<sup>7</sup>:

- *Interruptor Automático*: El límite de la corriente de cortocircuito en la línea es de 65 kA para una tensión de 460 V- 60 Hz.
- *Contactor de línea*: Este elemento garantiza un seccionamiento automático del circuito en caso de una emergencia ó en paradas por fallas. Su uso junto con el interruptor automático garantiza coordinación y facilita las tareas de puesta en marcha y mantenimiento. La selección es en función de la potencia nominal del motor en servicio S1 y categoría de empleo AC3.
- *Inductancia de línea*: Estas inductancias permiten garantizar una mejor protección contra las sobretensiones de red, y reducir el índice de armónicos de corriente que produce el variador.
- *Filtro de radio perturbaciones*: Estos filtros permiten limitar la propagación de los parásitos que generan los variadores por conducción, y que podrían perturbar a determinados receptores situados en las proximidades del aparato (radio, televisión, sistemas de audio, etc.). Existen filtros estándar para cada tipo de variador. Algunos variadores lo traen incorporados de origen.
- *Resistencia de frenado*: Su función es disipar la energía de frenado. De este modo se logra el máximo aprovechamiento del par del motor, durante el momento de frenado y se conoce como frenado dinámico. Normalmente es un opcional ya que solo es necesaria en aplicaciones donde se necesita altos pares de frenado.

#### 4.1.1.2 Recomendaciones de instalación

Para una instalación con un variador de velocidad se recomienda<sup>8</sup>:

##### Cableado:

- En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
- Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
- La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia.
- Cables con la menor longitud posible
- El variador debe estar lo más cerca posible del motor.
- Cuidar de los cables de potencia estén lejos de cables de antenas de televisión, radio, ó redes informáticas.

##### Gabinete:

- Metálico o al menos en una bandeja metálica conectada a la barra de tierra. En los manuales de uso de los variadores se hacen las recomendaciones en cuanto al tamaño.

##### Ventilación:

- Debe estar acuerdo al calor disipado por el equipo a potencia nominal.

##### Puesta a tierra

- La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia. Se deberá realizar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación, así como las carcasas de los motores eléctricos. El sistema de puesta a tierra deberá tener una resistencia de un valor tal que asegure una tensión de contacto menor ó igual a 24 V en forma permanente.

### 4.1.1.3 Opciones y variador de velocidad seleccionado

Acorde a los aspectos de dimensionamiento mencionados anteriormente, se presentan opciones de variadores de velocidad que cumplen los requerimientos necesarios para el presente proyecto:

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN (VARIADOR OPCIÓN 1)</b>	
NOMBRE	Variador de velocidad
MARCA	ABB
MODELO	AC S400
<b>DATOS GENERALES</b>	
TENSIÓN DE RED	3 fases, 200 a 480 VAC
FRECUENCIA DE RED	48 a 63 Hz
ENTRADAS DIGITALES	5
ENTRADAS ANALÓGICAS	2 (0 VDC a 10 VDC, 4Ma a 30 mA)
SALIDAS POR RELÉ	2
SALIDAS ANALÓGICAS	1
TEMPERATURA DE FUINCIONAMIENTO	0°C a 40 °C
POTENCIA	30 HP
OPCIONES DE COMUNICACIÓN	Profibus, Interbus-S, Modbus Plus, DeviceNet , Profibus DP, DeviceNet, ControlNet, Ethernet, Modbus, Modbus/TCP, CANopen.
APLICACIONES TÍPICAS	Bombeo, ventilación y conveyors.
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 4.1. Especificaciones generales de variador de velocidad ABB model AC S400

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN (VARIADOR OPCIÓN 2)</b>	
NOMBRE	VARIADOR DE VELOCIDAD
MARCA	SCHNEIDER TELEMECANIQUE
MODELO	ATV61HD30N4(ATV 61)
<b>DATOS GENERALES</b>	
TENSION DE RED	3 fases 480 VAC
FRECUENCIA DE RED	50 a 60 Hz
ENTRADAS DIGITALES	6 (24 VDC)
ENTRADAS ANALÓGICAS	1 (-10 VDC a 10 VDC,1 configurable por software (0VDC a 10 VDC, 0/4 mA a 20 mA)
SALIDAS POR RELÉ	5, DC 30V/ 6 A(carga ohmica); AC 250 V / 2 A (carga inductiva)
SALIDAS ANALÓGICAS	1 configurable por software (0VDC a 10 VDC, 0/4 mA a 20 mA) ó configurable como salida lógica
TEMPERATURA DE FUIONCIAMIENTO	-15°C a 40 °C
POTENCIA	40 HP
OPCIONES DE COMUNICACIÓN	Modbus, Modbus/TCP, MObus Plus, CANopen, Ethernet, DeviceNet, Profibus DP, Interbus, CC-link, LonWorks, Metasys N2, Apogee FLN, BACnet
APLICACIONES TÍPICAS	Bombeo, ventilación y acondicionamiento de aire.
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 4.2. Especificaciones generales variador de velocidad Altivar 61

**Variador de velocidad seleccionado:** Altivar 61 de Telemecanique.

Para mayor referencia del variador de velocidad seleccionado, se presenta su hoja técnica en el Anexo 6.1.

### 4.1.2 Contactor

Elegir un contactor para una aplicación concreta consiste en fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos.

El contactor que se requiere para el presente proyecto debe cumplir las siguientes características<sup>8</sup>:

- Tensión AC: 460 V.
- Temperatura ambiente de 10 a 40 °C.
- Tipo de carga: Par variable.
- Corriente de servicio: 29.9 A.
- Tensión de control 120 VAC.
- Factor de potencia de la carga: 0.765
- Velocidad de funcionamiento: 200 ciclos / hora
- Lapsos de trabajo: Menor a 10 horas, en forma intermitente.
- Naturaleza de la carga: Categoría AC-3.
- Tamaño: NEMA 3 según NEMA ICS 2.

Debido a que el motor es un asíncrono tipo jaula de ardilla y la desconexión es a motor lanzado, la categoría es AC3 garantiza una correcta operación en arranque directo soportando hasta 6 veces la corriente nominal del motor.

#### 4.1.2.1 Opciones y contactor seleccionado

Como se mencionó anteriormente el contactor NEMA 3 ya fue seleccionado e instalado antes de iniciar el proyecto, cuyas características cumplen con los requerimientos del sistema y su tabla técnica se presentó en la Tabla 3.11.

---

<sup>8</sup> Guía de elección de contactores, Telemecanique.

### 4.1.3 Protecciones

Una elevación de la corriente nominal de carga es un síntoma de anomalía en el circuito. De acuerdo a su magnitud y a la rapidez de su crecimiento se puede tratar de sobrecargas ó cortocircuitos. Esta corriente de falla aguas abajo del aparato de maniobra, si no es cortada rápidamente, puede ocasionar daños irreparables en personas y bienes.

La empresa Schneider al entregar las proformas del variador de velocidad conjuntamente sugiere un interruptor automático con un tipo de protección termo-magnético y un reactor de línea. De esta manera se evita coordinación de protecciones en el cual se debe usar equipos adicionales para conseguir la misma capacidad de protección, así como el fusible que es un equipo obsoleto al trabajar con motores.

Un interruptor automático satisface las condiciones de un interruptor seccionador e interrumpe un cortocircuito.

Se recomienda como mínimo una capacidad de interrupción de cortocircuito de 65 kA a 480 VAC (60Hz) para el interruptor y una inductancia de línea AC CHOKE modelo VWA3A4556, para un Altivar 61 con el fin de reducir el índice de armónicos de corriente y sobretensiones de la red.<sup>9</sup>

#### 4.1.3.1 Opciones y protecciones seleccionadas

Debido a que el fabricante recomienda equipos de protección específicos se seleccionan los equipos de protección siguientes:

##### ***Protección seleccionada:***

- Interruptor automático Power Pact HLL36150 con una capacidad de interrupción de 100kA a 480 VAC (60 Hz), que es mayor al sugerido. Sus especificaciones técnicas se presentaron en la Tabla 3.5.

---

<sup>9</sup> Catalogo Variable speed drives Altivar 61, Telemecanique - Schneider Electric.

Los interruptores termo magnético Power Pact cuentan con el sistema innovador de disparo “roto activo” , que permite grandes velocidades de interrupción a niveles de cortocircuito más elevados, minimizando así esfuerzos mecánicos y térmicos en cables, soporte ría y barras, prolongando de esta manera la vida útil de instalaciones y equipos.

- Inductancia de línea AC CHOKE VWA3A4556 cuyas especificaciones técnicas se presentaron en la Tabla 3.7.

## **4.2 Dimensionamiento de cableado**

Se requiere dimensionar el cableado de fuerza y comunicación de todos los equipos ubicados en el patio de bombas debido a que el cableado actual no es el apropiado para los requerimientos del nuevo sistema de control de la fase II, especialmente muchos de ellos no cumplen con la zona de clasificación del terminal. Además se necesita cambiar el cableado de subterráneo a bandejas porta cables aéreas.

Principalmente el cableado de fuerza de motores es el que se necesita cambiar, pues no es un cable apropiado para funcionar con variador de velocidad ni cumple normas de áreas clasificadas.

### **4.2.1 Motores**

Los principales puntos a evaluar para la selección del cable son:

- Cumplimiento de características de diseño apropiados para el control de un motor con un driver de frecuencia.
- Cumplimiento de zona de clasificación para ambientes explosivos, para el patio de bombas se debe cumplir Clase 1, División1.

#### 4.2.1.1 Cable Fuerza

Las opciones de cable más apropiados de fuerza para el motor se presentan a continuación, posteriormente se presenta el dimensionamiento del cable y el respectivo análisis de caída de tensión.

##### a) **Cable de potencia tipo VFD de Cir Gexol aislado**

Empresa: AmerCable

Características del Producto:

- 3 conductores de alimentación: cobre estañado trenzado flexible.
- 3 conductores de tierra: cobre estañado trenzado, flexible con aislamiento Gexol.
- Aislamiento (2KV): Poliolefina retardante de llama enlazado en cruz.
- Revestimiento: Un compuesto termoplástico negro, resistente a la luz solar, los químicos, *la abrasión*, el aceite y retardante de llama.
- Blindaje: Trenza completa de cobre estañado mas cinta de aluminio/poliéster que ofrece un 100% de cobertura.
- Cuenta con un manejo para empalme e instalación más seguro ya que no incluye bordes filosos de la armadura de metal.
- El diseño especial del cable permite prolongar la vida útil del cable en las aplicaciones VFD.
- El blindaje total de chapa y trenza ofrece un 100% de cobertura e incluye emisiones EMI VFD.
- El diseño de blindaje de chapa y conductores de alta concentración de trenzas es mucho más flexible, más fácil de instalar y más resistente a la vibración que el cable tipo MC (Metal Clad).
- La constante dieléctrica más baja de Gexol (el XLPE estándar, EPR y otros materiales de aislamiento tipo P tienen constantes dieléctricas) reduce las magnitudes de voltaje máximo reflejado de las ondas. Esto permite distancias más largas en el cable de salida y reduce el efecto de ruido de alta frecuencia inducido en el sistema terrestre de la planta.

- El grosor del aislamiento de 2kV resiste los picos de voltaje repetitivos de 2x de los VFD de 600V y reduce los problemas de impulsos a través de la desconexión de corriente debido a la corriente de carga del cable.
- Hermético al gas y al vapor – impermeable e insensible al aire
- Radio de curvatura más pequeño (hasta 40% más pequeño) que el tipo MC
- Llenado de bandeja reducido (hasta 35% menos) en comparación con el tipo MC.
- Considerablemente más flexible que el tipo MC.
- Tiempo y costo de instalación menor en comparación con el tipo MC

#### Clasificaciones y Aprobaciones

- Clasificación de temperatura de 90°C
- En lista de UL como Cable para uso marino (E111461)
- Retardante de llama – IEEE 1202
- Ideal para utilizarlo en ambientes de clase 1, división 2 y zona 2.
- Los cables blindados son necesarios en ambientes clase 1, división 1 y zona 1.

#### ***b) Cable para charola para fuerza y señal para largas distancias Oflex Servo TC***

##### Empresa: LAAP Group

Es un cable blindado aprobado para alimentación de motores y drives con pares blindados para señal, retroalimentación o freno. Este cable cuenta con una cubierta de PVC aleación de elastómero resistente al aceite y está aprobado para uso en charola.

##### Construcción:

Conductores de cobre desnudo finamente trenzados; aislamiento de PVC/nylon especialmente mezclado.

##### Aprobaciones:

- Estándares UL y CSA para 600 V.
- Por UL-AWM para 1000 V. Índice de humedad 75°C.
- Por el NEC Artículo 336, 392,501 para Clase 1 División 2.

- Por UL Tipo TC-ER así que puede ser instalado sin necesidad de conduit por lo que se generan ahorros en costo de material.

***c) Cable flexible para Drives, con conductores de alimentación y un par para freno Oflex VFD con Señal.***

Empresa: LAAP Group

Es un cable para conexión de motor y drives variadores de frecuencia. Cuenta con un par de cables blindados adicionales para señal o freno y está diseñado con un sistema para soportar las distorsiones no lineales asociadas con los drives.

Construcción:

Conductores de cobre estañado finamente trenzados; aislamiento de un compuesto especial; 100% cubierto con foil y una malla de cobre estañado; cubierta de aleación de elastómero especialmente formulada color negro resistente a aceites y químicos.

El diseño único de este cable cuenta con el sistema “Lapp Surge Guard”, aislamiento semiconductor especial. Este material dispersa los incrementos en voltaje causados por las ondas reflejadas y armónicas, previniendo los daños en el cable o conductores, eliminando así, paros de planta.

Aprobaciones:

- Este cable tiene una cubierta de una fórmula especial de PVC aprobado para TC por UL y CSA de 600 volts.
- Está aprobado por UL Tipo TC-ER. (Corrida Expuesta)\* 90°C
- Está aprobado para 1000 V por la UL AWM.
- UL DP-1 90°C, UL-AWM 105°C, Oil Res I Clase 1 Div. 2 de acuerdo NEC Art. 336, 392, 501
- Resistente a rayos UV y entierro directo, CSA-AWM I/II A/B, P-07-KA050013-MSHA.

**d) Cable C-L-X, tipo MC-HL (XHHW-2)**

Empresa: OKONITE

Características del producto:

- 3 conductores desnudos aislados # 6 AWG de cobre trenzados.
- Esta autorizado para su uso en circuitos de alimentación de energía, iluminación y control de acuerdo con los artículos 330 y 725 de la NEC.
- La temperatura de operación continua es de 90 °C en cualquier tipo de instalaciones.
- Temperatura en corto circuito de 250 °C.
- Recomendado para uso en bandejas porta cable, para entierro directo, resistente a la luz solar.
- Buenas características de protección contra interferencia electromagnética.
- Provee excelente conexión a tierra, 3 conductores de tierra desnudos de cobre trenzado.
- Posee tres conductores simétricos para conexión a tierra para aplicaciones de PWM / VFD (Driver de frecuencia).

Aprobaciones:

- Esta aprobado por la NEC con referente a los artículos 501, 502,503 y 505 de Clases I, II, III, Divisiones 1,2; y Zonas 1,2 de aéreas peligrosas.
- Recubrimiento reducido que cumple con los requerimientos en áreas peligrosas Clase I, División 2 (Patio de Bombas) ó Zona 2 según la Sección 505.15(E)(3) o 505.16(C)(2)(c) del NEC.

**Cable seleccionado:** Cable C-L-X, tipo MC-HL (XHHW-2) 3 x 6 AWG

Debido a diversos aspectos logísticos y empresariales se seleccionó a la empresa OKONITE como proveedora de cables de fuerza y comunicación del patio de bombas del presente proyecto. Energy Petrol, representantes de OKONITE en Ecuador, mantienen convenios con EP Petroecuador hace varios años en diversos proyectos a lo largo del país.

#### 4.2.1.1.1 Dimensionamiento del conductor

Ya que los motores a utilizar presentan las mismas características de placa, el dimensionamiento del conductor se lo realiza para un solo motor, el número 15, mismo que se encuentra más alejado del Centro de Control de Motores. Los datos de placa se presentaron en la Tabla 3.24, así como las distancias medidas desde el MCC hasta el motor en la Tabla 3.28.

Para determinar el calibre del conductor seguimos los siguientes pasos:

##### 1. Tipo de conductor adecuado

El cable es el C-L-X Tipo MC-HL (XHHW-2).

C-L-X = Continuos Lightweight eXterior.

MC-HL= Metal-Clad High Level

Las características del modelo del cable (XHHW-2) se traduce como:

**XLPE:** Cross-linked polyethylene es decir tiene aislamiento de polietileno reticulado.

**HH:** High Heat ; es decir soporta altas temperaturas, de 90° C en lugares secos y 75°C en lugares húmedos.

**W:** Water ; es decir resistente al agua.

**2:** versión 2 de XHHW, ideal para lugares secos o húmedos.

El tipo de aislamiento de este conductor es XLPE (X-Olene) (Polietileno reticulado) que es muy similar al más conocido PVC (Policloruro de vinilo), se diferencia de éste, básicamente, en que es un material termoestable, frente al PVC que es termoplástico. Es decir que reaccionan de manera distinta a los cambios de temperatura. Así, el PVC al calentarse se reblandece y conserva su nueva forma; caso contrario es el XLPE que frente a los cambios de temperatura no modifican sus propiedades mecánicas gracias al proceso de reticulación.

## 2. Cálculo de la corriente que va a transportar el conductor

Los datos de placa son: f.p.(factor de potencia)=0,765 y E (Eficiencia)=0,924

Conociendo HP con corriente alterna trifásica

$$I_{M15} = \frac{P_{M15}[\text{HP}] \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \text{fp} \times E} \quad (1)$$

$$I_{M15} = \frac{25[\text{HP}] \times 746}{\sqrt{3} \times 480[\text{V}] \times 0.765 \times 0.924} = 31.74[\text{A}] \approx 32[\text{A}]$$

Los conductores que alimentan un motor deben tener una ampacidad no menor a un 125% de la corriente a plena carga del motor.

$$I_{D15} = 1,25 \times I_{M15} \quad (2)$$

$$I_{D15} = 1,25 \times 32\text{A} = 40[\text{A}]$$

3. Para simular condiciones adversas en las que se estará trabajando, a este nuevo valor de corriente se debe afectar por los factores de corrección por temperatura y agrupamiento.

### Factor de corrección de temperatura

La capacidad de transporte de los conductores está restringida por su capacidad de disipar la temperatura del medio que los rodea; para ello los aislantes no deben sobrepasar la temperatura de servicio de los conductores para garantizar un buen estado de sus propiedades eléctricas, mecánicas o químicas.

Según el fabricante para una temperatura ambiente de 26 °C a 30 °C y una temperatura máxima en el conductor de 90°C en servicio permanente, con un aislamiento XLPE el factor es 1

Factor de corrección de agrupamiento

El calentamiento entre sí de los cables, cuando varios de ellos reposan en una misma canaleta, nos obliga a considerar un factor de corrección, debido a la mayor dificultad de disipar el calor generado por los mismos.

En la tabla factores de corrección por agrupamiento de cables trifásicos que recomienda el fabricante al trabajar con una bandeja tipo escalerilla con más de 9 circuitos trifásicos contiguos es de 0,70.

Realizando el cálculo con los factores de corrección mencionados se obtiene el valor de corriente que llamaremos  $I_{\Delta}$  (Corriente afectada):

$$I_{\Delta} = \frac{I_{D15}}{\text{F. C. Agrupamiento} \times \text{F. C. Temperatura}} = \frac{40[A]}{(1) \times (0.70)} = 57.14[A] \quad (3)$$

Esta corriente afectada  $I_{\Delta}$  es una manera de considerar las condiciones adversas en las que trabajara el conductor.

Al consultar en la Tabla 4.3. el calibre necesario para transportar 57.14 [A] es 6 AWG cuya ampacitancia es de 65 [A].

Catalog Number	Conductor Size AWG	Number of Conductors	Insulation Thickness - mils	Grounding Conductor(s) AWG	Core O.D. - Inches	Core O.D. - mm	C-L-X O.D. - Inches	C-L-X O.D. - mm	Jacket Thickness - mils	Jacket Thickness - mm	Approx. O.D. - Inches	Approx. O.D. - mm	Cross-Sectional Area (eq. In.²)	Approx. Net Weight lbs./1000'	Approx. Ship Weight lbs./1000'	90°C Wet or Dry NEC Ampacity	75°C Wet NEC Ampacity
▲ 546-31-3403	14(7X)	3		3 #18	0.33	8.4	0.53	13.5	50	1.27	0.64	16.3	0.32	160	190	15	15
▲ 546-31-3404	(2.08mm²)	4	30	3 #18	0.37	9.3	0.58	14.7	50	1.27	0.69	17.5	0.37	222	261	15	15
▲ 546-31-3453	12(7X)	3		3 #16	0.37	9.3	0.58	14.7	50	1.27	0.69	17.5	0.37	239	278	20	20
▲ 546-31-3454	(3.31mm²)	4	30	3 #16	0.45	11.4	0.67	16.9	50	1.27	0.78	19.7	0.47	286	320	20	20
▲ 546-31-3503	10(7X)	3		3 #14	0.41	10.4	0.62	15.8	50	1.27	0.73	18.6	0.42	300	380	30	30
▲ 546-31-3504	(5.26mm²)	4	30	3 #14	0.45	11.4	0.67	16.9	50	1.27	0.78	19.7	0.47	348	428	30	28
▲ 571-31-3190	8(7X)	3		3#14	0.50	12.7	0.71	18.0	50	1.27	0.81	20.6	0.52	385	420	55	50
▲ 571-31-3263	(8.36mm²)	4	45	10	0.58	14.7	0.80	20.3	50	1.27	0.90	22.9	0.64	465	495	44	40
▲ 571-31-3191	6(7X)	3		3#12	0.58	14.7	0.80	20.3	50	1.27	0.90	22.9	0.64	525	595	75	65
▲ 571-31-3270	(13.3mm²)	4	45	8	0.66	16.8	0.89	22.5	50	1.27	0.99	25.1	0.77	630	685	60	52
▲ 571-31-3200	4(7X)	3		3#12	0.68	17.3	0.89	22.5	50	1.27	0.99	25.1	0.77	704	820	95	85
▲ 571-31-3272	(21.2mm²)	4	45	8	0.77	19.6	0.97	24.7	50	1.27	1.08	27.5	0.92	845	930	76	68

Tabla 4.3. Tabla de cable tipo C-L-X Tipo MCHL (XHHW-2) de Okonite.

#### 4. Análisis de caída de tensión

La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia que se transporta por el cable, y una caída de tensión entre el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites especificados por la NEC que recomienda no exceder el 3%.<sup>10</sup>, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable.

La relación que se utiliza para los cálculos de la caída de tensión que se produce en una línea se obtiene considerando el circuito equivalente de una línea corta (inferior a unos 50 Km), mostrado en la Figura 4.1. y su diagrama vectorial respectivo en la Figura 4.2.

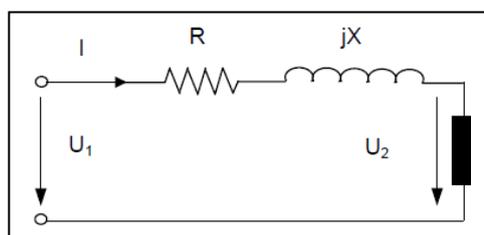


Figura 4.1. Circuito equivalente a un conductor de media tensión

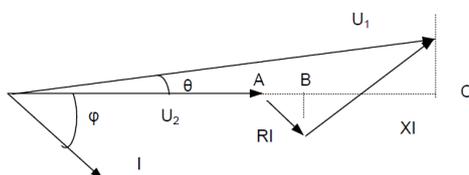


Figura 4.2. Diagrama vectorial de un circuito equivalente a un conductor de media tensión

La fórmula aproximada que considera estos factores es la siguiente:

$$V_{drop} = RI \cos \theta + XI \sin \theta \quad (4)$$

Donde:

$V_{drop}$  es la caída de voltaje

R es la resistencia del conductor

<sup>10</sup> NFPA 70, National Electrical Code 2005, Artículo 210.19 (A) FPN N° 4 y 215.2 (A), FPN N° 2

$I$  es la corriente afectada

$X$  es la reactancia del conductor

$\cos \theta$  es el factor de potencia

Para el cálculo se toma el valor de la corriente nominal del motor aumentada en un 25%, es decir 40 [A].

Los datos con los que se calcula la caída de tensión son los siguientes:

#### DATOS REQUERIDOS:

Distancia requerida [pulg]	Corriente afectada [A]	Voltaje de Alimentación [V]	factor de potencia	Ángulo [rad]	Frecuencia [Hz]
372	40	480	0,765	0,700	60

Tabla 4.4. Datos requeridos obtenidos de las tablas de Okonite

#### DATOS OBTENIDOS DE LAS TABLAS:

Calibre [AWG]	Ampacitancia [A]	Resistencia x 1000 pies [ohms]	Reactancia x 1000 pies [ohms]
6	65	0,427	0,1073

Tabla 4.5. Datos obtenidos de las tablas de Okonite

Los valores de resistencia y reactancia deben estar de acuerdo a la distancia requerida del cable (372 pies), por lo que se procede a realizar la interpolación mediante regla de tres:

Resistencia en ohms

$$R_{372\text{pies}} = R_{1000\text{pies}} * \frac{\text{Distancia}}{1000\text{pies}} \quad (5)$$

$$R_{372\text{pies}} = 0,427 * 372 / 1000_{\text{pies}}$$

$$R_{372\text{pies}} = 0.1588 [\text{ohms}]$$

Reactancia en ohms

$$X_{372\text{pies}} = X_{1000\text{pies}} * \text{Distancia} / 1000_{\text{pies}} \quad (6)$$

$$X_{372\text{pies}} = 0,1073 * 372 / 1000_{\text{pies}}$$

$$X_{372\text{pies}} = 0.0399 [\text{ohms}]$$

Aplicando la fórmula con estos valores, se obtiene:

$$v_{drop} = RI \cos \theta + XI \sin \theta$$

$$v_{drop} = 0.1588(40)0.765 + 0.0399(40)0.644$$

$$v_{drop} = 5.89 [V]$$

$$v_{dropL} = 5.89\sqrt{3} = 10.20 [V]$$

El porcentaje de pérdida es:

$$V_{drop} = \frac{480 - (480 - 10.20)}{(480 - 10.20)} (100)$$

$$V_{drop} = 2.17\%$$

Este porcentaje de caída de tensión no sobrepasa el máximo permitido que es 3%, por lo que el calibre del conductor 6 AWG es el correcto.

#### 4.2.2 Actuadores

De igual forma que para el cableado del motor se presenta alternativas para posteriormente seleccionar el cable más apropiado. Para la selección del cable se toma en cuenta que cumpla con las normas de áreas clasificadas, entre otros aspectos técnicos que garanticen el correcto desempeño.

#### 4.2.2.1 Cable de Fuerza

El calibre para alimentar los actuadores que recomienda el fabricante es 14 AWG, por ende se procede a detallar las opciones de cable:

**a) Cable de OFLEX POWER MULTI (Cable flexible para charola resistente al aceite)**

Empresa: Laap Group

Características del Producto:

- Es un multiconductor global, 600 voltios, 90°C, UL tipo TC-ER, cordón para servicio extra pesado, resistente al aceite, flexible para control y fuerza con aprobaciones para corrida expuesta.
- Es muy flexible y altamente resistente a la compresión que cumple con los requerimientos de NEC artículo 501.10 (A) (2) sobre cables flexibles para Clase I División I.
- También es resistente a UV y aprobado para entierro directo.
- Debido a sus finos filamentos de cobre, precisión en el proceso de extrusión de su cubierta y aprobaciones internacionales, este cable es una alternativa superior a los cables rígidos. Estas ventajas hacen que las instalaciones sean más rápidas y fáciles.
- Aislamiento PVC especialmente mezclado; cubierta negra de aleación elastomérica especialmente formulada, resistente a aceites y químicos.

Clasificaciones y Aprobaciones

- Tipo UL TC-ER resistente al aceite
- Clase I División I de acuerdo a la NEC 501.10 (A)(2) y 501.140 (B)

**b) Okotherm CIC Fire Resistant Cable**

Empresa: OKONITE

Características del Producto:

- Cable de poder de 600 V, Tipo MC-HL CLX, cubierta de aluminio.
- Posee 3 conductores recubiertos de cobre estañado ó niquelado.
- Recomendado para uso en bandejas porta cable, para entierro directo, resistente a la luz solar.
- Posee aislamiento de silicona Okotherm termoestable resistente al fuego.
- Posee chaqueta de PVC.
- Puesta a tierra recubierta de cobre.
- Su aplicación es para sistemas proclives a incendios, asegurando una resistencia a la temperatura de 2000 °F por tres horas.
- Se aplica en para circuitos alimentadores, iluminación y control.
- Temperatura de operación continúa 90 °C.
- Buena protección contra emisiones EMI.

Clasificaciones y Aprobaciones

- La resistencia al fuego se determina por el cumplimiento a la integridad del circuito IEC 60331.
- Aprobado para uso en Clase I y II, División 1 y 2, Clase III División 1 y 2. NEC artículos 501, 502,503 y 505.

**c) C-L-X tipo MC-HL (XHHW-2)**

Las características del producto, clasificaciones y aprobaciones se detalló en la opción seleccionada para el cable de fuerza del motor.

**Cable seleccionado:** C-L-X tipo MC-HL (XHHW-2) 3 x 14 AWG

### 4.2.2.2 Cable de Comunicación

La comunicación entre actuadores y PLC se realiza mediante una red Modbus RS485 a 2 hilos. Los actuadores se encuentran conectados directamente a la red en cadena como se muestra en la Figura 4.3.

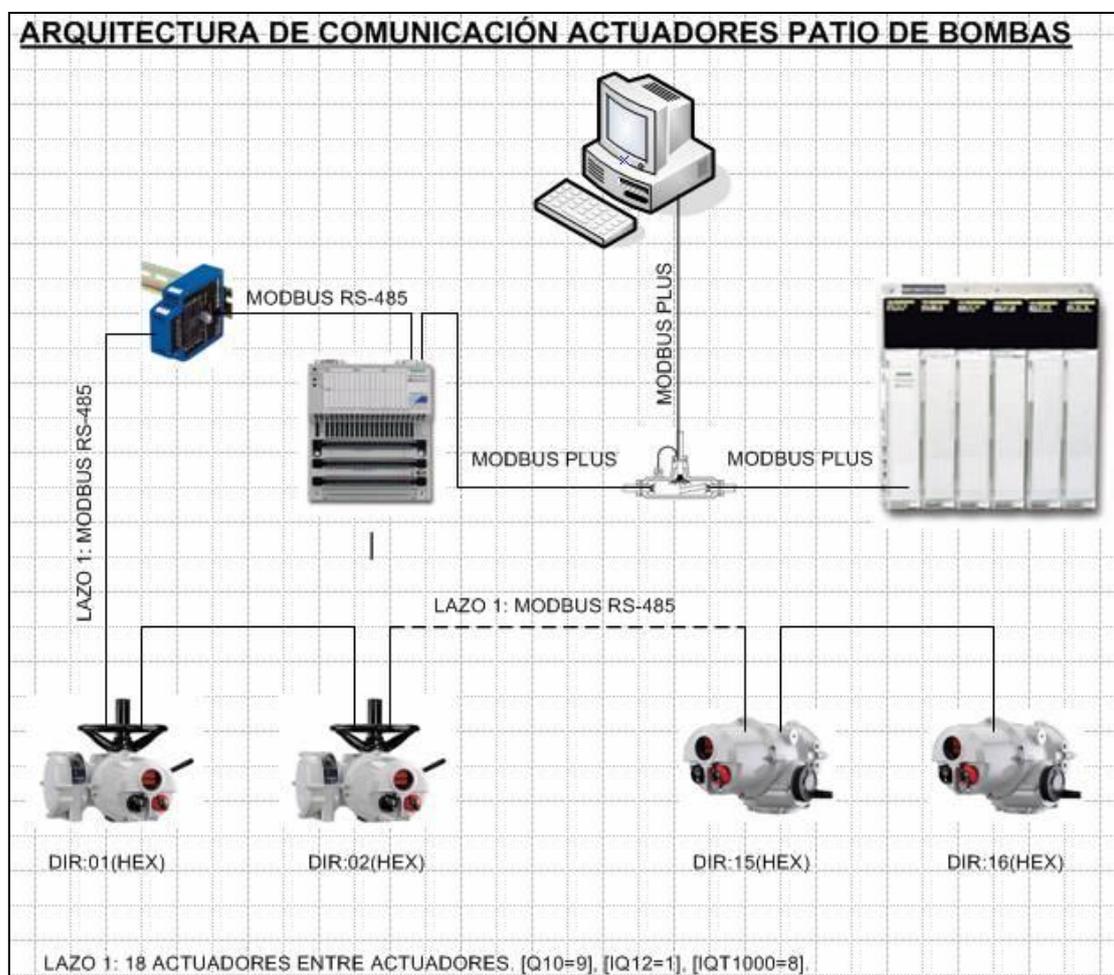


Figura 4.3. Arquitectura de comunicación de actuadores del patio de bombas.

La empresa ROTOR-K recomienda el uso de un cable de 3 hilos para asegurar la tensión común entre todos los actuadores y el PLC. El cable típico que recomienda es Belden 3106 A, ya que cuenta con un núcleo extra y por lo tanto posee los conductores suficientes para incluir un cable común entre todos los nodos de la red. Además recomienda un calibre mínimo de 22 AWG, con una impedancia nominal de 22 ohmios y una capacitancia nominal de 11.0 pF/ ft.

Las características eléctricas del cable sobre todo su capacitancia y la cantidad de dispositivos conectados pueden afectar la longitud máxima permitida del

cable, por ende el aspecto de capacitancia es mandatorio en la selección del cable, así como el cumplimiento de normas de áreas clasificadas.

Las opciones de cable son:

**a) *UTRONIC BUS LD FD P***

Empresa: Laap Group

Características del Producto:

- Cable BUS para sistemas como Modbus, SUCOnet, Modulink P. etc.
- Para aplicaciones de gran flexibilidad (cadenas porta cables, poleas guiacables, movimiento continuo, etc.)
- Resistente a desgarros e incisiones, resistente a aceites minerales ya a la abrasión derivada de la utilización de cadenas porta cables.
- Conductor de hilos finos de cobre desnudo trenzados, coloreados según DIN 47100.
- Resistente a la radiación UV.
- Capacitancia nominal de 18 pF/ft

Clasificaciones y Aprobaciones

- UL 444
- DIN 47100.

**b) *OKOBUS C-L-X Single Pair: Type P-OS / Multi Pair: Type SP-OS, Type PLTC & Type ITC-HL Fieldbus Cable***

Empresa: OKONITE

Características del Producto:

- Cable diseñado para uso en plantas, aplicaciones marinas, para procesos de automatización y control.

- Par simple o pares múltiples de 300 V a una temperatura de operación de 75 °C.
- Conductores de 18 AWG de cobre estañado.
- Aislamiento Okolene Polipropileno.
- Recomendado para instalaciones en bandejas porta cables sin necesidad de separador cuando va junto a cable de fuerza.
- Para identificación del conductor se encuentran pigmentadas de color naranja y azul de dos en dos.
- Retardante de llama Okoseal.
- El blindaje C-L-X ofrece una completa protección contra la humedad, líquidos y gases. Ofrece una excelente resistencia mecánica.
- El aislamiento individual de cada par evita la diafonía ó acoplamiento capacitivo entre pares adyacentes cuando se trabaja con señal de corriente alterna.
- El apantallamiento elimina la mayoría de la interferencia estática del campo eléctrico irradiado por cables de alimentación eléctrica o equipos eléctricos.
- Máxima resistencia DC de 24 ohms/km por conductor
- Máxima capacitancia de 2 nF/ Km.

#### Clasificaciones y Aprobaciones

- Clase M, normados por ASTM B – 174.
- UL 13 y 225.
- PLTC (Power Limited Tray Cable) y ITC-HL (Instrument Tray Cable / Hazardous Locations) para uso acorde con los artículos 727 y 725 de la NEC.

#### **c) *Loxamor Type P-OS Type ITC/PLTC Armored Instrumentation Cable***

Empresa: OKONITE

#### Características del Producto:

- Cable de instrumentación dado en pares o triadas, de 300 V a 105 ° de temperatura de operación.

- Recomendado para instalaciones en bandejas porta cables sin necesidad de separador cuando va junto a cable de fuerza.
- Conductores concéntricos de cobre desnudos.
- Aislamiento de llama retardada Okoseal (PVC).
- Para identificación del conductor se encuentran pigmentadas de color negro y blanco en pares; negro, blanco y rojo en triadas.
- Armadura de acero galvanizado que proporciona una protección mecánica contra cortes y evita la corrosión.
- El apantallamiento elimina la mayoría de interferencias estáticas radiado por el campo eléctrico de cables de alimentación o equipos eléctricos.
- Excelente rechazo al ruido.
- Impermeable, cubierta continua que excluye la humedad, gases y líquidos.
- Máxima capacitancia de 44pF/ ft.

#### Clasificaciones y Aprobaciones

- ITC/PLTC (Instrument Tray Cable /Power Limited Tray Cable) para uso acorde a los artículos 727 y 725 de la NEC.
- Adecuado para Clase I División 2, Clase II División II o Clase III División 2

**Cable seleccionado:** OKOBUS C-L-X Multi Pair: Type SP-OS, Type PLTC & Type ITC-HL Fieldbus Cable

#### **4.2.3 Transmisores de presión**

Para el cableado de alimentación y comunicación del transmisor de presión EJX530A YOKOGAWA se requieren las mismas opciones presentadas en el cableado de comunicación del actuador, únicamente con la diferencia en el número de pares, pues para el transmisor de presión únicamente se necesita 1 par.

**Cable seleccionado:** OKOBUS C-L-X Single Pair: Type P-OS.

#### 4.2.4 Botoneras

En las botoneras se tiene el control de encendido y apagado manual de las electrobombas, para lo cual requiere un cable de 3 hilos contando con el común que van conectados al modulo del PLC.

##### 4.2.4.1 Cable de Fuerza

Para fuerza de la botonera se requiere el mismo calibre y tipo de cable dimensionado para la alimentación del actuador en las opciones b y c, ya que dentro de las aplicaciones de dicho cable consta que a más de alimentación sirve para control; no obstante se presenta una opción adicional cuyas principales características son:

#### ***Oflex Control TM (Cable flexible para uso en charola resistente al aceite)***

Empresa: Laap Group

#### Características del Producto:

- Cable flexible para el uso en charola resistente al aceite.
- Es un cable gris extruido a presión, multiconductor, 600 voltios, 105 ° C.
- Conductores de cobre desnudo finamente trenzados; aislamientos de PVC/nylon especialmente mezclado, cubierta externa de PVC especialmente formulado.
- Rango de temperatura de -40° C a 105 ° C.

#### Clasificaciones y Aprobaciones

- Aprobaciones UL Tipo TC-ER (Corrida expuesta) y CSA TC-ER que elimina el tiempo de instalación y costo de tubería.
- Clase I División 2 por la NEC Artículos 336, 392,501.

**Cable seleccionado:** C-L-X tipo MC-HL (XHHW-2) 3 x 14 AWG

Las hojas técnicas de los cables seleccionados de fuerza y comunicación de los equipos, se presenta en el Anexo 6.4. y sus respectivas proformas en el Anexo 8.3

### **4.3 Dimensionamiento de bandejas porta cables, soportes estructurales y tubería**

Para transportar los cables seleccionados desde el Centro de Control de Motores (MCC) hasta cada dispositivo en el patio de bombas (motores, actuadores y botoneras) se utilizarán bandejas porta cables, canales estructurales y tubería de acuerdo con lo que se establece en los artículos correspondientes a Cable Tray System de la norma NEMA VE-1 y el artículo 392 del NEC.

Acorde con el artículo 392.5 del NEC, el cable tray system debe ser lo suficientemente fuerte, resistente y de fácil montaje para proveer el soporte adecuado para el cable, además no debe tener bordes afilados que puedan dañar el aislamiento o la chaqueta del cable, asimismo el material debe ser resistente a la corrosión y a la llama. La empresa METALECTRO distribuye porta cables y soportes estructurales que cumplen con dichas especificaciones por lo que a continuación se realiza una descripción detallada de los elementos y accesorios necesarios para guiar el cableado.

#### **4.3.1 Bandejas Porta cables**

Un sistema de bandejas porta cables ó cable tray system es una unidad o conjunto de unidades y accesorios asociados, fabricados de metal u materiales no combustibles, que forman un sistema estructural rígido utilizado para soportar cables, estos sistemas incluyen escaleras, canales ventilados o no ventilados, bandejas de fondo sólido y otras estructuras similares.

Debido a condiciones ambientales y facilidades de instalación se optó utilizar bandejas porta cables de aluminio por sus ventajas de peso, costo, colocación y resistencia a la corrosión. Metaelectro provee bandejas de aluminio tipo escalerilla de altura lateral de 4 y 6 pulgadas, ancho disponible de 6 hasta 36 pulgadas y 6 metros de longitud.

Dentro de las características generales también se debe considerar la capacidad de carga de las bandejas, para lo cual se tiene que establecer la carga en libras por pie (lb/ft) que representan todos los cables transportados y determinar la capacidad de carga según la siguiente tabla de la norma NEMA.

TABLA DE CAPACIDAD DE CARGA SEGÚN NEMA				
CAPACIDAD DE CARGA lb/ft lineal	DISTANCIA ENTRE SOPORTES ( ft – m )			
	8 ft – 2.44m	12 ft – 3.66 m	16 ft – 4.88m	20 ft – 6.10m
A= 50 lb/ft	8A	12A	16A	20A
B= 75 lb/ft	8B	12B	16B	20B
C= 100 lb/ft	8C	12C	6C	20C

Tabla 4.6. Tabla de capacidad de carga según la norma NEMA VE-1.

Para calcular la carga total de los cables se utiliza la información del peso neto aproximado de la hoja de datos de cada cable como se muestra en la siguiente tabla:

DISPOSITIVO	CABLE	# CABLES	PESO NETO APROX. lbs./1000' c/u	PESO APROX. Lbs./ft
MOTOR	Cable de poder C-L-X Tipo MC-HL 6 AWG x 3 conductores	15	525	7.875
BOTONERA	Cable de poder C-L-X Tipo MC-HL 14 AWG x 3 conductores	15	160	2.4
FUERZA ACTUADOR	Cable de poder C-L-X Tipo MC-HL 14 AWG x 3 conductores	30	160	4.8
COM. ACTUADOR	Cable Okobus C-L-X 18 AWG x 2 pares	1	311	0.311
TRANSMISOR	Cable Okobus C-L-X 18 AWG x 1 pares	4	155	0.62
<b>TOTAL</b>		<b>65</b>	<b>1311</b>	<b>16.006</b>

Tabla 4.7. Tabla de peso total aproximado libras por pie (lbs/ft) de cada cable.

Como se puede ver, el peso total que la bandeja porta cables debe transportar es 16 lbs./ft aproximadamente por lo tanto es necesario bandejas con capacidad de carga mínima tipo A y la distancia entre soportes depende de la disponibilidad de espacio en el sitio de instalación, por lo general se utiliza una distancia de 16 ó 20 pies.

Debido a que en la bodega del terminal Beaterio se dispone de bandejas porta cables, se procedió a realizar el diseño con los elementos en existencia y a realizar las solicitudes de compra necesarias. El tipo de bandeja disponible es:

- Bandeja Porta cables Tipo Escalerilla en Aluminio longitud 6m, altura 6" y ancho 24" con capacidad de carga NEMA 20C

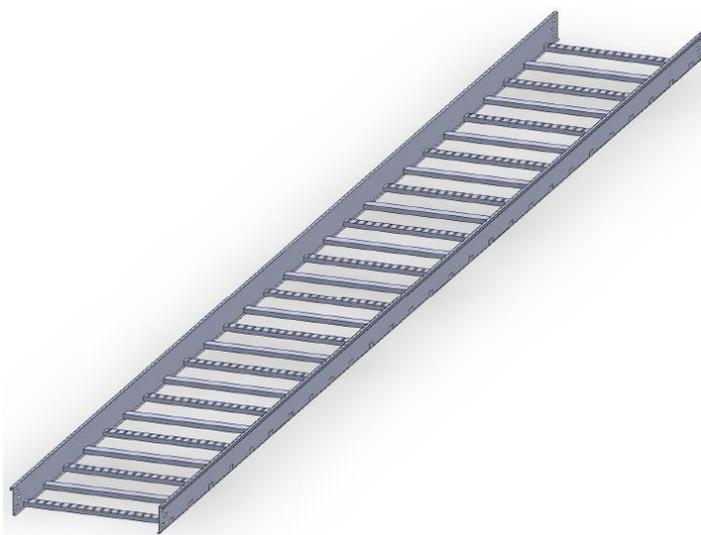


Figura 4.4. Bandeja Porta cables Tipo Escalerilla en Aluminio longitud 6m, altura 6" y ancho 24".

Debido a que el NEC recomienda que los cables multiconductores se dispongan en la bandeja en una sola capa y evitar sobreponerlos, se decidió utilizar 2 pisos de bandeja; una sobre otra.

A continuación se detallan los accesorios complementarios del cable tray system.

### 4.3.1.1 Accesorios

Existen accesorios que se utilizan en el diseño de la estructura de bandejas porta cables de aluminio, los mismos que se detallan a continuación:

- Curva Vertical Interior 90° con radio de curvatura 24" con capacidad de carga NEMA 20C



Figura 4.5. Curva Vertical Interior 90° con radio de curvatura 24"

- Curva Vertical Exterior 90° con radio de curvatura 24" con capacidad de carga NEMA 20C



Figura 4.6. Curva Vertical Interior 90° con radio de curvatura 24"

- Curva Horizontal 90° con radio de curvatura 24'' con capacidad de carga NEMA 20C

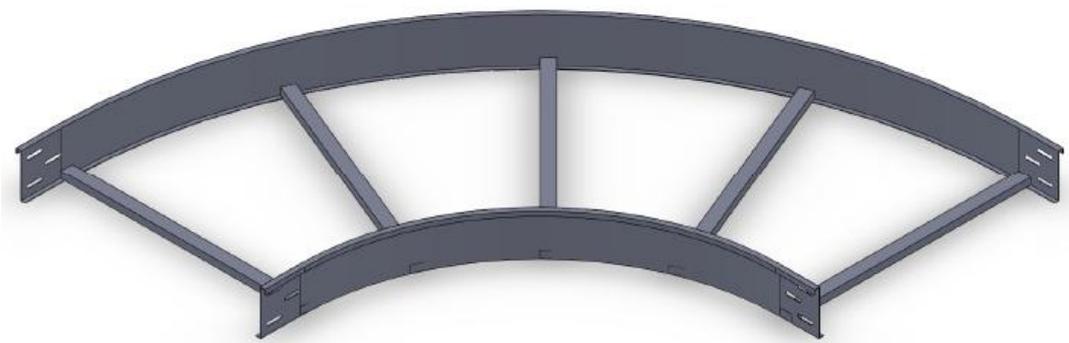


Figura 4.7. Curva Horizontal 90° con radio de curvatura 24''

Con los elementos mencionados se procedió a realizar el diseño de la estructura que se muestra en el diagrama isométrico.

#### 4.3.2 Soportería

El artículo 392.6 del NEC menciona que los soportes previenen el estrés de los cables al pasarlos entre bandejas, o de una bandeja a canaleta, o desde la bandeja al equipo terminal y la distancia máxima entre la bandeja y el equipo es de 1,8 metros (6 pies), además para múltiples conductores no se permiten discontinuidades entre los segmentos de bandejas.

Por otro lado, la norma NEMA VE-2 detalla la distancia entre los soportes de las bandejas que varía según la capacidad de carga de las bandejas porta cables, como se pudo constatar en la Tabla 4.6. y Tabla 4.7.

La soportería incluye elementos como los siguientes: canal estructural, elementos roscados, elementos de fijación para tubo y accesorios de canal estructural. A continuación se detallan las características de los elementos utilizados en el diseño.

### 4.3.2.1 Canal Estructural

Es un canal de fabricación de acero ASTM A-53 con recubrimiento superficial galvanizado y longitudes disponibles hasta 3 metros. Los tipos de canal estructural que se utilizaron son: Canal Lisa 13 y Canal Lisa 09 los mismos que se muestran en la Figura 4.8. y Figura 4.9.

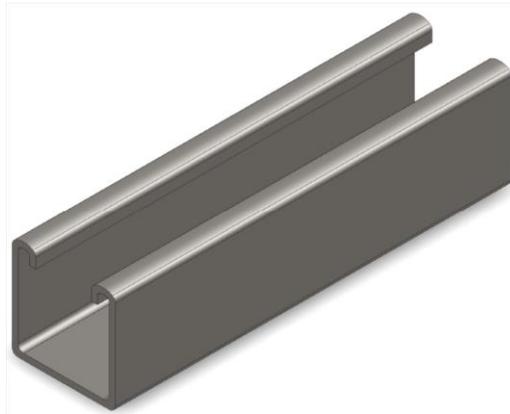


Figura 4.8. Canal Estructural Lisa C13

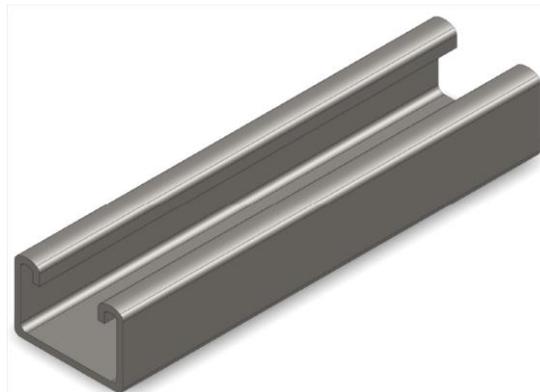


Figura 4.9. Canal Estructural Lisa C09

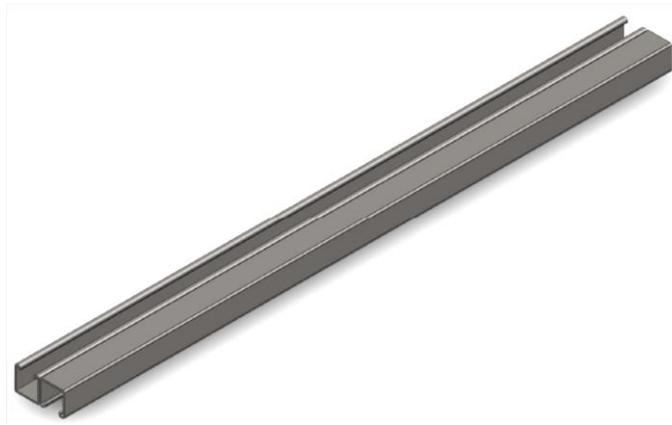


Figura 4.10. Canal Estructural Doble C09

El soporte de las bandejas porta cables se decidió hacerlo mediante una estructura "H" de 3.30 metros de altura y 0.70 metros de ancho con canales estructurales C13 como se muestra en la Figura 4.11.



Figura 4.11. Estructura "H" con canales estructurales

Los soportes están distanciados entre 4 y 6 metros, esto depende del espacio disponible en el lugar de instalación; para llevar el cable a cada uno de los equipos se utiliza una estructura “H” con canales estructurales dobles C09 intermedios para sujetar la tubería que transporta el cable; ésta estructura se muestra en Figura 4.12.



Figura 4.12. Estructura “H” con canales estructurales intermedios.

También es necesario considerar soportes para sujetar la tubería que llegará a cada uno de los motores, para lo cual se utiliza un canal lisa C09 de 0.30 m con abrazadera para tubería y una platina de conexión “U” como se muestra en la Figura 4.13.

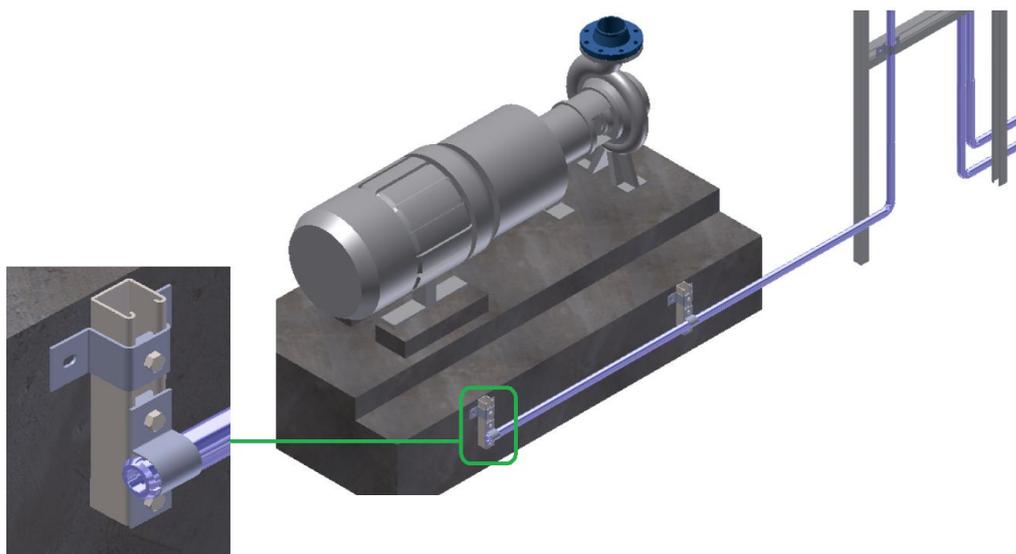


Figura 4.13. Soporte de tubería que se fija en la base del motor.

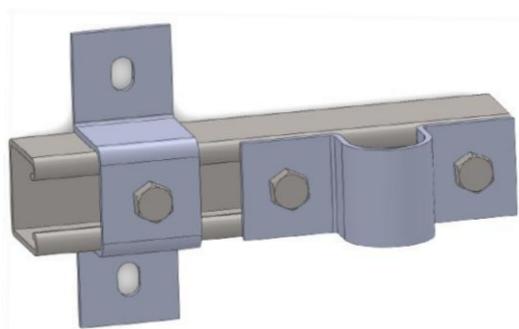


Figura 4.14. Canal Lisa C09 con abrazadera y platina de conexión "U"

Por último, se requiere un soporte tipo ménsula canal doble de 0.30 metros de altura y 0.30 metros de ancho con una base corta de tres agujeros para llevar la tubería correspondiente al cableado de los actuadores. En la Figura 4.15. se muestra el soporte mencionado.

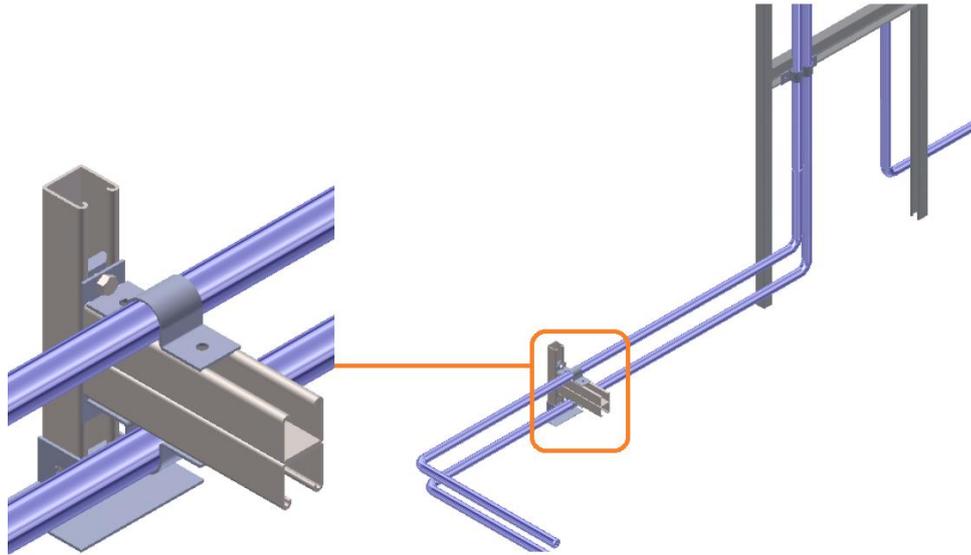


Figura 4.15. Soporte que sujeta la tubería hacia los actuadores.

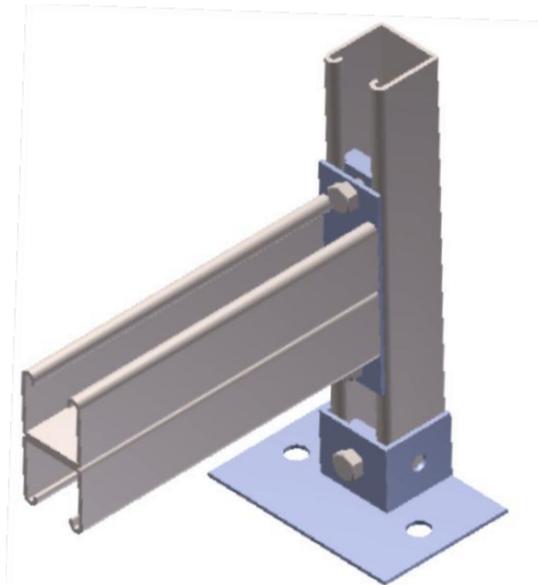


Figura 4.16. Ménsula canal doble C09.

A continuación se detallan los accesorios utilizados para unir, fijar y sujetar tanto los canales estructurales como la tubería.

### 4.3.2.2 Accesorios

Para unir canales estructurales se dispone de elementos roscados como la tuerca mordaza con resorte que brinda flexibilidad para ajustar la posición de los elementos acoplados. En la Figura 4.17. se muestra una tuerca mordaza y la colocación de la tuerca mordaza con su respectivo perno de cabeza hexagonal.

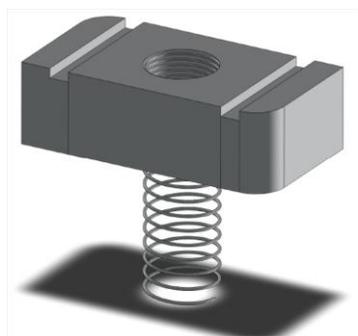


Figura 4.17. Tuerca mordaza con resorte.

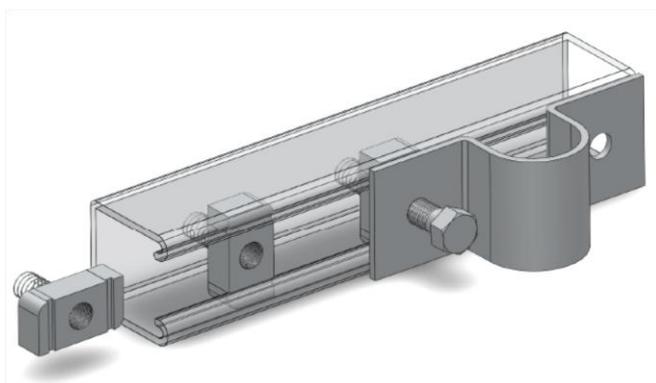


Figura 4.18. Fijación de una abrazadera de tubo con la tuerca mordaza con resorte y perno de cabeza hexagonal en canal estructural.

De los elementos de fijación para tubo se seleccionó la abrazadera fija doble ala de 1 ¼” para sujetar la tubería en los soportes descritos anteriormente.

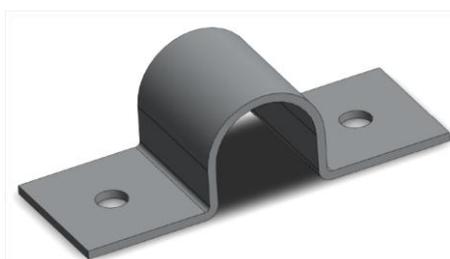


Figura 4.19. Abrazadera fija doble ala de 1 ¼”

La ménsula canal doble se fija al suelo mediante la base corta tres agujeros la misma que se muestra en la Figura 4.20.

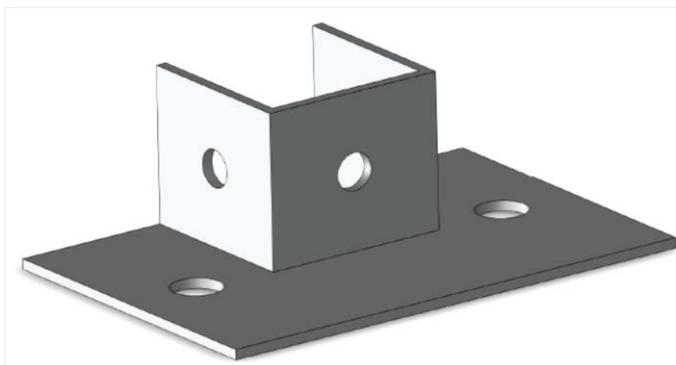


Figura 4.20. Base corta tres agujeros.

El soporte para la tubería que va desde la bandeja hacia el motor, se fija mediante una platina de conexión “U” doble ala reforzada ajustable, la misma que se presenta en la Figura 4.21.

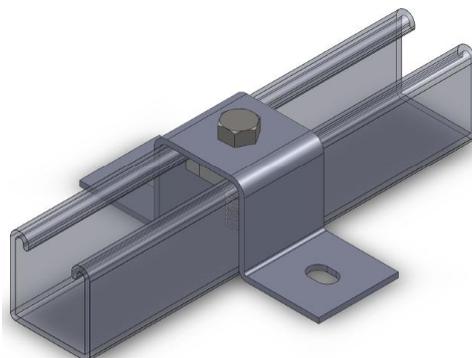


Figura 4.21. Platina de conexión “U” Doble Ala Reforzada Ajustable.

Estos son todos los accesorios que se utilizan en el diseño de soportería para sujetar la tubería que transporta el cableado respectivo.

### 4.3.3 Tubería

El artículo 392.6 del NEC menciona que los cables conductores deben estar protegidos ante daño físico en la transición de la bandeja porta cables al equipo terminal, por esto se requiere seleccionar el tipo de tubería teniendo en

cuenta que el sector de la tubería de desfogue de las válvulas de sobrepresión de la electrobomba corresponde a Clase I División I, por lo que la tubería debe estar permitida para ésta área clasificada.

Por motivos de facilidad de instalación y costos, se decidió colocar tubería tipo RMC (Rigid Metal Conduit), el cual según el artículo 501.10 del NEC, está permitido para áreas de clasificación Clase I División I.

La Tabla 1 del Capítulo 9 del NEC indica que un cable multiconductor debe ocupar el 53% del área de la sección transversal de la tubería y ya que el cable del motor es el que tiene el mayor área de sección transversal ( $0.64 \text{ in}^2$ ), se tomó como base para calcular el diámetro de la tubería.

Según la Tabla 2 del Capítulo 9 del NEC para un área transversal de  $0.64 \text{ in}^2$  y el 53% de capacidad, se requiere un diámetro de  $1 \frac{1}{4}$  pulgadas.

Además el artículo 330 correspondiente a cable tipo Metal-Clad, al cual corresponden todos los cables de fuerza seleccionados, señala que el radio de curvatura máximo es de siete (7) veces el diámetro exterior del conductor que el caso del motor es de 0.9 pulgadas; es decir, que se puede doblar el cable con un radio de hasta 6.3 pulgadas, mientras que el radio de curvatura máximo de la tubería de  $1 \frac{1}{4}$  " es  $7 \frac{1}{4}$  pulgadas como se muestra en la tabla 2 del capítulo 9 del NEC. Por lo tanto el diámetro de la tubería es correcto.

También es importante mencionar que el número de curvaturas en la tubería no debe exceder a 360 grados, esto debe ser considerado al momento de la instalación.

Todos los elementos que se presentaron, tanto como bandejas porta cables, soportería y accesorios se utilizan en el diseño que se muestra en el diagrama isométrico. Los elementos utilizados se listan en la Tabla 4.8.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANTIDAD
1	BASE CORTA 3 AGUJEROS	PB783-C	30
2	CANAL ESTRUCTURAL DOBLE	C13A-1 m	18
3	CANAL ESTRUCTURAL DOBLE	C13A-3.3 m	36
4	CANAL ESTRUCTURAL SENCILLO	C09-1000mm	60
5	ABRAZADERA FIJA ALA SENCILLA	AF1-1	120
6	ABRAZADERA FIJA ALA SENCILLA	AF1-34	120
7	MÉNSULA DOBLE 10"	SC9A-10"	30
8	BANDEJA TIPO ESCALERILLA 6" x 24"x 6m 20C	AI-20C-7R6-24-6	12
9	CURVA HORIZONTAL 90º 6" x Radio: 24" 20C	AI-H90-R-24-6	2
10	Curva Vertical Exterior 90º 6" x Radio: 24" 20C	E90-24"	1
11	Curva Vertical Interior 90º 6" x Radio: 24" 20C	I90-24"	1
12	Platina de Conexión U	PU-A783	30
15	Tuerca Mordaza con Resorte 3/8"	TMS-38	252
16	Tubo 1" x 3 metros ANSI C80.1	-	45
17	Tubo 3/4" x 3 metros ANSI C80.1	-	120
18	Tubo 1/2" x 3 metros ANSI C80.1	-	45

Tabla 4.8. Tabla de elementos de bandejas porta cables soportería.

Para mayor referencia de precios de bandejas, soportería y tubería seleccionada, se presenta las respectivas proformas en el Anexo 8.2 y sus hojas técnicas en el Anexo 6.5.

#### 4.4 Equipos complementarios del sistema

Para tener un sistema integral es necesario complementarlo con un equipo corrector del factor de potencia que ayude a disminuir las pérdidas en el sistema por efecto de la instalación de variadores de frecuencia que representan cargas no lineales para el sistema, también se consideró que cuando los motores operan con arranque directo no existe la supervisión de los parámetros del motor para lo cual se recomienda el sistema de gestión de motores Tesys T.

##### 4.4.1 Sistema de gestión de motores

Mediante los variadores de frecuencia se mantiene el control de la mayoría de los parámetros de cada motor como son: velocidad, voltaje, corriente, potencia y torque; pero también es necesario prever que en cualquier instante el variador puede presentar alguna falla, sea de comunicación o la

pérdida de una o las tres fases de alimentación; por ello, es necesario implementar un sistema de control de gestión de motores alterno, que realice la supervisión del motor cuando funciona sin variador de frecuencia, es decir, con arranque directo.

El Tesys T de la empresa Schneider Electric Telemecanique es un sistema de gestión de motores diseñado para realizar las funciones de protección, medición, control, estadística y diagnóstico de los motores trifásicos a velocidad constante y corriente de hasta 810 A.

Las funciones de protección son contra: sobrecargas térmicas, pérdidas de fase, inversiones de fase, fallos de tierra, arranques largos y bloqueos del motor, entre otras. Por otro lado las funciones de medición permiten la visualización de valores eficaces de corriente y voltaje en las tres fases, temperatura, frecuencia, factor de potencia, potencia y energía. Mientras que las funciones de control permiten operaciones de mando localmente y a distancia, además de 5 funciones de control predefinidas: Modo de sobrecarga, modo independiente, modo directo/inversor, modo de 2 tiempos, modo de 2 velocidades.

Las funciones de estadística y diagnóstico establece históricos de protecciones, valores de los parámetros del motor y formula un diagnóstico de los fallos que afectan el funcionamiento del producto.

Los elementos que conforman el sistema Tesys T son los siguientes:

- Controlador de gestión de motores LTM R, equipado con transformador de corriente integrado hasta 100 A y una interface de comunicación Modbus y Ethernet TCP/IP
- Módulo de extensión LTM E.
- Terminal de diálogo de exploración XBT N410
- Software de programación
- Accesorios para la instalación.

Para la selección del controlador se toma en cuenta la corriente nominal del motor que en nuestro caso es de 29 A, lo que determina el siguiente controlador con su respectivo módulo de extensión y terminal de diálogo.

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Controlador de gestión de motores LTM R
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC TELEMECANIQUE
MODELO	LTM R100MBD
<b>DATOS GENERALES</b>	
VOLTAJE DE ENTRADA	24 VDC
RANGO DE AJUSTE	100 A
NÚMERO DE ENTRADAS	6 entradas lógicas TON
NÚMERO DE SALIDAS	3 salidas lógicas por relé (1NA) 1 salida de relé para señalización de los fallos(1NA + 1NC)
MEDIDAS	Para conexión de: Sonda de temperatura
FUNCIONES DE CONTROL	SOBRECARGA INDEPENDIENTE DIRECTO/INVERSOR DE 2 VELOCIDADES DE 2 TIEMPOS MODO PERSONALIZADO
PESO KG	0.530
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 4.9. Especificaciones generales de Controlador LTM R100BD

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	Módulo de extensión LTM R
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC TELEMECANIQUE
MODELO	LTM EV40BD
<b>DATOS GENERALES</b>	
VOLTAJE DE ENTRADA	24 VDC
NÚMERO DE ENTRADAS	4 ENTRADAS LÓGICAS TON (INDEPENDIENTES)
MEDIDAS	Medida de tensión en 3 fases Corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia
PESO KG	0.210
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 4.10. Especificaciones generales de módulo de extensión LTM EV40BD

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	
NOMBRE	Terminal de diálogo de explotación MAGELIS
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC TELEMECANIQUE
DATOS GENERALES	
MODELO	XBT N410
FUNCIONES	Configurar y supervisar el arranque del motor Supervisar y modificar determinados parámetros del arranque de hasta 8 motores.
IMAGEN	
	

Tabla 4.11. Especificaciones generales de terminal de dialogo MAGELIS

La conexión del sistema Tesys T es como se muestra en la siguiente figura:

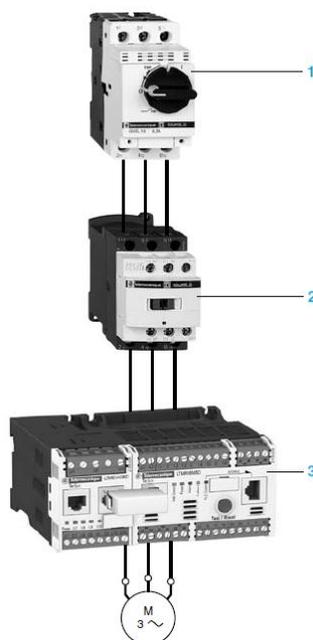


Figura 4.22. Conexión del sistema Tesys T

Siendo:

1. Disyuntor
2. Contactor
3. Controlador con módulo de extensión.

Para obtener mayor información sobre datos técnicos del equipo referirse al Anexo 6.3.

#### 4.4.2 Equipo para corrección de factor de potencia

Los dispositivos electrónicos por sus beneficios en los procesos de control y ahorro de energía se utilizan en gran cantidad en la industria, sin embargo la desventaja de estos dispositivos son los armónicos e interarmónicos<sup>11</sup> que introducen al sistema de distribución eléctrico. Los armónicos son intensidades o tensiones sinusoidales con una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental de suministro mientras que los interarmónicos son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencia de múltiplo no entero de la frecuencia fundamental del suministro. Estas frecuencias se originan por la impedancia no lineal de dispositivos electrónicos como los variadores de frecuencia que van a ser instalados para cada electrobomba.

Los armónicos se denominan de acuerdo a sus componentes espectrales en estado cuasi - estacionario definido en función de la frecuencia, como se muestra en la Tabla 4.12.

Tipo de armónico	Componente en frecuencia
Armónico	$f = n f_1$ donde n es un entero mayor que cero
Componente de corriente continua (CC)	$f = n f_1$ donde $n = 0$
Interarmónico	$f \neq n f_1$ donde n es un entero mayor que cero
Subarmónico	$0 < f < f_1$
$f_1 =$ Frecuencia fundamental de suministro	

Tabla 4.12. Componentes de frecuencia de una forma de onda.

La distorsión en la tensión provoca que la calidad en la alimentación de los motores disminuya y consecuentemente existen fluctuaciones que reducen el par del motor por lo que el motor tendrá que tomar más potencia de entrada para suministrar la potencia requerida; esto hace que disminuya el factor de potencia.

<sup>11</sup> Tomado de la Guía de Calidad de la Energía Eléctrica de la Iniciativa Leonardo para la Calidad de Energía Eléctrica del Centro Español de Información del Cobre (CEDIC) y el Instituto Europeo del Cobre (ECI)

Además, otro efecto de los interarmónicos es el calentamiento de los devanados del motor ya que a bajas velocidades la autoventilación es insuficiente, por lo cual se debe instalar ventilación forzada exterior o sobredimensionar el motor.

Debido a que se pretende instalar un variador de frecuencia por cada electrobomba, es imprescindible corregir la presencia de armónicos mediante filtros armónicos ya que las cargas no lineales representan más del 50 por ciento de la carga total y la corrección mediante capacitores no es suficiente. Para ello se utilizará el equipo compensador de armónicos Accusine PCS de la empresa Shneider Electronic cuyo funcionamiento consiste en medir la corriente de carga, calcular la variación del valor configurado por el usuario e inyecta la cantidad de corriente necesario para que la corriente alcance los niveles de armónicos y factor de potencia deseados.

Para seleccionar el dispositivo se debe tener en cuenta la capacidad de carga del sistema, la misma que corresponde a la capacidad del interruptor automático que es 300 A. La Tabla 4.13. muestra las características generales del Accusine PCS, para mayor información sobre el funcionamiento y características referirse al Anexo 6.2.

#### **4.5 Diagramas y planos**

Se considera que los planos más importantes son los siguientes:

- Diagrama Isométrico
- Diagrama de instrumentación
- Diagrama de flujo de proceso
- Diagrama de conexiones eléctricas

<b>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</b>	
NOMBRE	AccuSine PCS
MARCA	SCHNEIDER ELECTRIC
<b>DATOS GENERALES</b>	
MODELO	PCS300D5N12
VOLTAJE DE ENTRADA	208 – 480 VAC
CORRIENTE NOMINAL	300 A
FRECUENCIA NOMINAL	50/60 Hz, $\pm$ 3%, automático
NÚMERO DE FASES	TRIFÁSICO/TRES HILOS; TRIFÁSICO/CUATROHILOS
VALOR DE CORRECCIÓN DE POTENCIA	8333 Watts
DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA	IGBT
TOPOLOGÍA DE CONTROL	DIGITAL
ATENUACIÓN DE LA CORRIENTE RMS	>10:1
CONFIGURACIÓN EN PARALELO	MÁS DE 99 UNIDADES PUEDEN OPERAR INDEPENDIEMENTE EN MODO DE CARGA COMPARTIDA
MODOS DE OPERACIÓN	ARMÓNICOS, CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA, BALANCEO DE CARGA: INDEPENDIENTE O COMBINADA
CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA	CAPACITIVA O INDUCTIVA
ANULACIÓN DE RESONANCIA	DETECTA Y ELIMINA LA FRECUENCIA DE RESONANCIA
CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN	MODBUS TCP/IP, ETHERNET IP via Servidor Web
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	0 °C a 40 °C CONTÍNUO
PROTECCIÓN	NEMA 12
PESO KG	550 - 632
<b>IMAGEN</b>	
	

Tabla 4.13. Especificaciones generales de accusine PCS

#### **4.5.1 Diagrama isométrico**

El diagrama isométrico representa en el espacio, dirección y sentido cada una de las tuberías que serán instaladas en el patio de bombas, generalmente se lo realiza en un plano inclinado  $30^{\circ}$  y se proyecta a escala cada elemento que existe en las líneas de tubería, sean válvulas, bridas, juntas de expansión, actuadores, bandejas porta cables, soportería y tubería RMC, entre otros. El diagrama isométrico que se puede observar en el Anexo 7 Plano 1, fue desarrollado en 3D con la utilización del software Autodesk Inventor Professional 2011.

#### **4.5.2 Diagrama de instrumentación**

Todos los dispositivos de instrumentación que se utilizan en el proceso de despacho de gasolina extra y súper, se muestran en estos diagramas, así como también la relación que existe entre ellos. En el diagrama del Anexo 7 Plano 2, se puede observar la relación desde los sensores de cada tanque hasta los controladores Accuload de las islas de carga. También se detalla las relaciones de comunicación entre el PLC Quantum y los computadores que se encuentran en la sala de control.

#### **4.5.3 Diagrama de flujo de proceso**

Este diagrama permite una fácil comprensión del funcionamiento del sistema de las gasolinas, por medio del mismo se puede apreciar el recorrido del producto desde su almacenamiento en tanques hasta su distribución en los brazos de carga. El diagrama se muestra en el Anexo 7 Plano 3.

#### **4.5.4 Diagrama de conexiones eléctricas**

Los diagramas eléctricos proporcionan la información de conexiones eléctricas del diseño de la repotenciación del sistema de despacho de manera esquemática.

En el Anexo 7 Plano 5, se puede apreciar las conexiones eléctricas entre el variador de velocidad y la electrobomba, conjuntamente con los dispositivos de señalización y control.

En el Anexo 7. Plano 6, se muestran las conexiones del sistema de control de gestión de motores para que la electrobomba funcione con arranque directo, conjuntamente con la aparamenta de control y señalización como son: botonera, luces piloto y selectores.

Finalmente en el Anexo 7 Plano 7, se puede apreciar de manera general las conexiones del motor con el variador de velocidad y el bypass existente con la conexión del motor con arranque directo.

#### 4.6 Análisis predictivo de ahorro de energía.

Para realizar el análisis predictivo del ahorro de energía eléctrica, primeramente se cuantifica el número de horas que trabaja diariamente la electrobomba principal y electrobombas auxiliares de las gasolinas. Posterior a una toma de datos de aproximadamente un mes (Septiembre 2010) se concluyó que las electrobombas operan en un día normal de despacho (lunes a sábado), el número de horas como muestra la siguientes tablas, exceptuando el día domingo que se trabaja media jornada.

Electrobomba Principal	Electrobomba Auxiliar 1	Electrobomba Auxiliar 2	Electrobomba Auxiliar 3
GASOLINA EXTRA			
8	6	3	1

Tabla 4.14. Horas de operación diarias de electrobombas de gasolina Extra.

Electrobomba Principal	Electrobomba Auxiliar 1	Electrobomba 8
GASOLINA SÚPER		
6	3	8

Tabla 4.15. Horas de operación diarias de electrobombas de gasolina Súper

Cabe mencionar que en base a las horas de trabajo de la electrobomba principal que es 8 horas diarias, se estableció el tiempo de ciclo (cambio de configuración de las electrobombas) con un valor de 50 horas, que es el tiempo aproximado de despacho en una semana de gasolina extra, y un valor de 28 horas de gasolina súper.

Entonces, se realiza la toma de datos de una hora de consumo de energía cuando la electrobomba trabaja con arranque directo y se realiza una comparación entre estos datos y los obtenidos en el capítulo 2 cuando la electrobomba funciona con el variador de velocidad, para cuantificar el ahorro de las electrobombas auxiliares.

FECHA	SISTEMA DE CONTROL	TIEMPO DE MEDICION [h]	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
14-02-12	ANTIGUO (ARRANQUE DIRECTO)	1	8.45	1.01
14-02-12	NUEVO (CONTROL P.I. DE PRESIÓN)	1	5.08	0.61
<b>AHORRO</b>			<b>3.37</b>	<b>0.40</b>

Tabla 4.16. Datos de consumo de energía de la electrobomba principal fase II

Con respecto a un arranque directo se obtiene un ahorro de energía de 3.37Kw/h, correspondientes a \$ 0.40 en una hora de funcionamiento.

Se debe entender que, aunque las electrobombas de extra cuenten con su respectivo variador, se mantiene la configuración de principal, auxiliar1, auxiliar 2, auxiliar 3 y que diariamente trabajan cierto número de horas como se muestra en la Tabla 4.14., de igual manera para súper como se muestra en la Tabla 4.15. Por lo que se debe efectuar una ponderación de la siguiente manera:

#### Gasolina extra:

75 % para la auxiliar 1, 37.5 % para la auxiliar 2 y 12.5% para la auxiliar 3; respecto a los datos tomados de la electrobomba principal.

Gasolina Súper:

50 % para auxiliar 1.

De modo que para apreciar el ahorro que se tendría con la implementación de la fase II del presente proyecto se compara el consumo del sistema antiguo, con el consumo del nuevo sistema.

SISTEMA ANTIGUO G. EXTRA		
ELECTROBOMBA	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
Principal (Variador según numero de brazos)	6.34	0.76
Auxiliar 1 (Arranque directo)	75 %(8.45) 6.34	0.76
Auxiliar 2 (Arranque directo)	37.5% (8.45) 3.17	0.38
Auxiliar 3 (Arranque directo)	12.5 % (8.45) 1.06	0.13
TOTALES	16.91	2.03

Tabla 4.17. Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina extra con sistema antiguo

**Análisis**

En una hora de funcionamiento del sistema antiguo se consume 16.91 Kw/h a un precio de \$ 2.03; en un ciclo (50 horas ó 1 semana) se consume 844.95 Kw/h a un precio de \$101.39; y en un mes se consume 3379.80 Kw/h a un precio de \$405.58 en gasolina extra.

SISTEMA NUEVO G. EXTRA		
ELECTROBOMBA	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
Principal (Variador con control P.I.)	5.08	0.61
Auxiliar 1 (Variador con control P.I.)	75 %(5.08) 3.81	0.46
Auxiliar 2(Variador con control P.I.)	37.5% (5.08) 1.91	0.23
Auxiliar 3(Variador con control P.I.)	12.5 % (5.08) 0.64	0.08
TOTALES	11.43	1.37

Tabla 4.18. Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina extra con sistema nuevo

### Análisis

En una hora de funcionamiento del nuevo sistema se consume 11.43 Kw/h a un precio de \$ 1.37; en un ciclo (50 horas ó 1 semana) se consume 571.7 Kw/h a un precio de \$68.6; y en un mes se consume 2286.8 Kw/h a un precio de \$274.42 en gasolina extra.

*Por lo tanto se estima un ahorro de energía mensual de 1093 Kw/h que representa un valor de \$ 131.16, en gasolina extra*

De similar manera, para apreciar el ahorro de gasolina Súper que se tendría con la implementación de la fase II, se compara el consumo del sistema antiguo, con el consumo del nuevo sistema.

SISTEMA ANTIGUO G. SÚPER		
ELECTROBOMBA	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
Principal (Arranque directo)	6.34	0.76
Auxiliar 1 (Arranque directo)	50 %(6.34) 3.17	0.38
8 (Arranque directo)	6.34	0.76
TOTALES	15.84	1.90

Tabla 4.19. Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina súper con sistema antiguo

### Análisis

En una hora de funcionamiento del sistema antiguo se consume 15.84 Kw/h a un precio de \$ 1.90; en un ciclo (28 horas ó 1 semana) se consume 443.52 Kw/h a un precio de \$53.22; y en un mes se consume 1774.08 Kw/h a un precio de \$212.89 en gasolina súper.

SISTEMA NUEVO G. SÚPER		
ELECTROBOMBA	CONSUMO [Kw/h]	COSTO [ \$ ]
Principal (Variador con control P.I.)	5.08	0.61
Auxiliar 1 (Variador con control P.I.)	50 %(5.08) 2.54	0.31
8 (Variador con control P.I.)	5.08	0.61
TOTALES	12.71	1.53

Tabla 4.20. Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina súper con sistema nuevo

## **Análisis**

En una hora de funcionamiento del nuevo sistema se consume 12.71 Kw/h a un precio de \$ 1.53; en un ciclo (28 horas ó 1 semana) se consume 355.74 Kw/h a un precio de \$42.69; y en un mes se consume 1422.96 Kw/h a un precio de \$170.75 en gasolina súper.

*Por lo tanto se estima un ahorro de energía mensual de 35.12 Kw/h que representa un valor de \$4.21, en gasolina súper*

Es decir, que aproximadamente con la implementación del presente proyecto se obtendrá un ahorro de energía de 1128.12 Kw/h que representa un valor de \$ 135.37 mensualmente, considerando ambas gasolinas. Más aún, para obtener el valor total estimado de ahorro se debería considerar las 7 electrobombas restantes de los demás productos, obteniendo un valor de ahorro más alto. A largo plazo, entonces se garantiza el beneficio de ahorro de energía que justifique la implementación del proyecto y sobre todo el ahorro en mantenimiento de la tubería y accesorios.

## **4.7 Proformas y Requisiciones de equipos y cableado para la implementación**

Para concluir la ingeniería de detalle se realiza las diferentes proformas y requisiciones de equipos y cableado. Las proformas son documentos que presentan las empresas proveedoras con los precios de los productos solicitados; mientras que las requisiciones son documentos que maneja la empresa EP Petroecuador para iniciar el trámite de adquisición de los productos.

### **4.7.1 Proformas**

Las proformas obtenidas para los diferentes equipos y cableado se presentan a continuación.

## **Variador de velocidad y protecciones**

Referirse al Anexo 8.1

**Bandejas porta cables - soportería - tubería**

Referirse al Anexo 8.2

**Cableado**

Referirse al Anexo 8.3

**4.7.2 Requisiciones**

Las requisiciones obtenidas para los diferentes equipos y cableado se presentan a continuación.

**Variador de velocidad y protecciones**

Referirse al Anexo 9.1

**Bandejas porta cables - soportería - tubería**

Referirse al Anexo 9.2.

**Cableado**

Referirse al Anexo 9.3.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- Se realizó el levantamiento de conexiones eléctricas, instrumentación, comunicación e infraestructura del sistema, y descripción del proceso de despacho de las gasolinas Extra y Súper.
- Se realizó una revisión completa de la lógica de control del PLC y se organizaron todas las variables en tablas detalladas.
- Se realizó la programación del PLC Quantum requerida para conseguir igualar los tiempos de operación de las electrobombas, con lo cual el desgaste de las mismas es equitativo.
- Se optimizó la interface Hombre – Máquina, tanto en Intouch como en el panel táctil MAGELIS reflejando condiciones actuales del proceso.
- Se instaló un equipo medidor y transmisor de presión en la tubería de gasolina extra para diseñar un sistema de control en base a la señal entregada.

- Se consiguió un control más exacto del flujo, mediante la implementación de un controlador de presión, lo que además permite alargar la vida útil de la tubería y sus accesorios.
- Se implementó una consulta a la base de datos en Intouch, para respaldar información de las variables de interés ante cualquier eventualidad de fallo ó emergencia.
- Se realizó un diseño base del sistema de control para el funcionamiento de cada electrobomba con un variador de velocidad
- Se realizó el análisis predictivo de consumo de energía eléctrica cuando todas las electrobombas funcionen con variador de velocidad, obteniendo un porcentaje de ahorro mensual del 33% para gasolina Extra y del 20% para gasolina Súper con respecto al sistema anterior.
- Se realizó la ingeniería básica para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper, identificando los nuevos equipos de control, protección y canalización.
- Se realizó la ingeniería de detalle para la repotenciación del sistema de bombeo de gasolina Extra y Súper, presentando al final las respectivas proformas y requisiciones de los diferentes equipos requeridos.
- Se determinó según las requisiciones entregadas a la empresa que el costo total estimado del proyecto es de \$ 220,000; monto que se justifica por razones como reducción de tareas de mantenimiento, ahorro de energía, garantía de equipos normados y funcionamiento continuo de electrobombas.

## 5.2 Recomendaciones

- Es recomendable realizar un despacho equilibrado desde los tanque FTNK-010003 y FTNK-010014 para conseguir la igualación del tiempo de operación de todas electrobombas.
- Se recomienda optimizar las líneas de succión y descarga en el patio de bombas mediante tuberías principales para evitar pérdidas de flujo y de esta manera maximizar la eficiencia de las electrobombas.
- Se recomienda cambiar los brazos de carga normal por los de carga ventral para reducir el tiempo de espera y tráfico de auto-tanques, contribuyendo adicionalmente con la eliminación de vapores contaminantes para el medio ambiente.
- El variador Altivar 61 cuenta con un controlador PID integrado, cuyo funcionamiento se recomienda considerar como control alternativo ante algún fallo del PLC.
- Se recomienda instruir al respectivo personal de operación acerca de los diferentes procedimientos implementados en el sistema de despacho.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mark, Earley; Jeffrey, Sargent; Joseph, Sheehan; John, Caloggero, *National Electrical Code Handbook*, 3 edición, R. R. Donnelley/Willard, Massashusetts 2005.
- SMITH, Carlos y Armando CORRIPIO. *Principles and Practice of Automatic Process Control*, Segunda Edición. John Wiley & Sons Inc. New York.1997
- Smith Meter Product Catalog, Valves Model 210 Digital Electro-Hydraulic Set-Stop Specifications, 1996-10.
- Rotor k, Modbus RTU Actuator Control MFU Option Card Installation Manual, Publication S175EV2.4.
- Schneider Electric, Manual electrotécnico Telesquemario Telemecanique, Junio 99.
- Telemecanique, Variable speed drives for asynchronous motors Programming manual.
- Schneider Electric, Manual teórico-práctico Instalaciones en baja tensión, Volumen I, II.
- CONDUMEX, Manual del electricista, sección 3 y 5.
- Cooper Crouse – Hinds, Code Digest Article 500-516 of the NEC with product recommendations for use in hazardous (classified) areas, 2008.
- NFPA 70, National Electrical Code, Edición 2011.

- Schneider Electric, Manual del electricista variadores de velocidad, arrancadores electrónico y motor, capítulo 4.
- Schneider Electric, Application Note -18 ATV61 PID Loop Set up and Examples.
- Schneider Electric, variable speed drives Altivar 61, Catálogo, septiembre 2005.
- Schneider Electric, terminales de diálogo MAGELIS XBT-G, Catalogo 2004.
- [http://www.isa.org/Content/Microsites165/SP18,\\_Instrument\\_Signals\\_and\\_Alarms/Home163/ISA\\_Standards\\_for\\_Committee\\_Use/S\\_55.pdf](http://www.isa.org/Content/Microsites165/SP18,_Instrument_Signals_and_Alarms/Home163/ISA_Standards_for_Committee_Use/S_55.pdf), ISA 5.5 1985 Graphic Symbols for Process Displays, 1986-02-03, 2011-12-05.
- <http://www.schneider-electric.cl/tm/proteccion%20y%20control%20de%20potencia/tips/tesysd/Tip%202006%20Seleccion%20Contactores.pdf>, Guía de elección de contactores Telemecanique, 2005, 2012-01-06.

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO ACTUAL.....</b>	<b>1</b>
<i>Figura 1.1. Diagrama de bloques general de la infraestructura física del sistema de despacho de gasolina Extra y gasolina Súper. ....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.2. Ubicación de los tanques de almacenamiento.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.3. Esquema correspondiente a la infraestructura física de las bombas utilizadas para el despacho de gasolina Extra. ....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.4. Esquema de la infraestructura física de las bombas utilizadas para el despacho de gasolina Súper.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.5. Esquema de la válvula modelo 210.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 1.6. Niveles jerárquicos de la red industrial. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 1.7. Diagrama de flujo del producto .....</i>	<i>33</i>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>36</b>
<b>OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL.....</b>	<b>36</b>
<i>Figura 2.1. Flujo típico de producto a través de un brazo de carga .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.2. Configuración electrobombas - variador de velocidad.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.3. Mensajes globales de entrada (Unión 0 CPU) al PLC Quantum desde el Variador de Gasolina Extra.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.4. Mensajes directos de entrada (Unión 0 CPU) recibidos desde las RTU's 4, 5,6 y 7. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.5. Mensajes directos de salida (Unión 0 CPU) enviados a las RTU's 4, 5,6 y 7 y variadores de velocidad de Diesel2 y Extra.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.6. Mensajes directos de entrada (Unión 1 Slot 2) recibidos desde los PLC's Momentum del patio de bombas y tanques de almacenamiento.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.7. Mensajes directos de salida (Unión 1 Slot 2) enviados a Jet Fuel y actuadores. ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.8. Pantalla antigua de operación gasolina extra de la HMI INTOUCH<sup>2</sup> .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.9. Pantalla antigua configuración bombas extra de la HMI MAGELIS<sup>2</sup> .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.10. Pantalla antigua operación extra de la HMI MAGELIS<sup>2</sup> .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.11. Diagrama de flujo que describe la determinación de las electrobombas disponibles.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.12. Diagrama de flujo que determina el tiempo de operación menor y número de tiempos menor iguales. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 2.13. Diagrama de flujo parcial correspondiente a la obtención del segundo tiempo de operación. ....</i>	<i>64</i>

<i>Figura 2.14. Diagrama de flujo parcial que corresponde a la contabilización de los tiempos de operación iguales al segundo tiempo de operación. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 2.15. Diagrama de flujo correspondiente al proceso de obtención del tercer tiempo de operación. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.16. Diagrama de flujo correspondiente al proceso de conteo de tiempos de operación iguales al tercer tiempo de operación. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.17. Diagrama de flujo de la obtención del cuarto tiempo de operación. ....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 2.18. Diagrama de flujo que muestra la asignación de la electrobomba principal (electrobomba 1 y 2). ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 2.19. Diagrama de flujo correspondiente a la detección de algún cambio en la disponibilidad de las electrobombas y asignación del valor de 1 a la variable Cambio_combinación. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 2.20. Diagrama de flujo que corresponde a la asignación del valor de 1 a la variable Cambio_combinación el momento en que alguna electrobomba llegó a su ciclo de trabajo. ....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 2.21. Diagrama de flujo de activación de Bloqueo_extra. ....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 2.22. Diagrama de flujo de comparaciones y asignaciones que se realizan cuando la variable Bloqueo_extra habilita la configuración de electrobombas. ....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 2.23. Gráfica de linealización corriente vs presión. ....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 2.24. Dato de presión enviado por el variador mediante Peer Cop. ....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 2.25. Diagrama de bloques que describe un sistema de control. ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 2.26. Datos requeridos de la curva de un proceso. ....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 2.27. Curva de reacción del proceso. ....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 2.28. Diagrama de flujo del proceso de conteo de brazos de carga activados. ....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 2.29. Diagrama de flujo sobre el proceso de asignación de la velocidad de funcionamiento según el número de brazos de carga activados. ....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 2.30. Diagrama de flujo del proceso para establecer la velocidad de funcionamiento según el número de brazos y la presión promedio en la tubería. ....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 2.31. Diagrama de flujo que describe la manera en que se detiene el despacho al detener de manera secuencial cada una de las electrobombas. ....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 2.32. Diagrama de flujo que denota el encendido de las electrobomba condicionado por las variables de detención. ....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 2.33. Diagrama de flujo que muestra el reinicio del despacho con la desactivación de las variables de detención. ....</i>	<i>90</i>
<i>Para mayor compresión del programa, se muestra el código completo en el Anexo 11. ....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 2.34. Configuración de la IP de Orchestra DASMBTCP. ....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 2.35. Configuración del Topic Name de Orchestra DASMBTCP. ....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 2.36. Configuración del Topic Name de MBPLUS. ....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 2.37. Ventana para el Nombre de Acceso QUANTUM. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 2.38. Pantalla acceso actual de la HMI INTOUCH. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 2.39. Imagen que muestra las opciones del menú desplegable Ir A. ....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 2.40. Imagen de la ventana de Operación de Gasolina Extra con las modificaciones respectivas. .</i>	<i>96</i>
<i>Figura 2.41. Imagen de la Ventana de Configuración de Bombas de gasolina extra. ....</i>	<i>97</i>

Figura 2.42. Imagen de la ventana emergente de confirmación que aparece al presionar el botón Detener despacho. ....	98
Figura 2.43. Imagen de la ventana emergente que indica el progreso al detener las electrobombas de gasolina extra. ....	98
Figura 2.44. Imagen de la ventana emergente de confirmación que aparece cuando se presiona el botón Reiniciar despacho. ....	99
Figura 2.45. Imagen de la ventana emergente de progreso al reiniciar el despacho. ....	99
Figura 2.46. Imagen de los Detalles de las electrobombas de gasolina extra. ....	100
Figura 2.47. Imagen de la ventana donde se muestra la información del Variador de Frecuencia. ....	101
Figura 2.48. Palabra de estado del variador de frecuencia. ....	102
Figura 2.49. Imagen de la ventana donde se muestra el estado de la bomba de gasolina extra. ....	102
Figura 2.50. Imagen de la ventana estado de la válvula. ....	103
Figura 2.51. Palabra de estado del actuador. ....	104
Figura 2.52. Imagen de la ventana Respaldo Datos. ....	105
Para mayor referencia de la consulta a la base de datos, se presenta el Anexo 4. ....	105
Figura 2.53. Pantalla acceso actual de la HMI MAGELIS. ....	106
Figura 2.54. Imagen de la ventana Alarma de la HMI MAGELIS. ....	107
Figura 2.55. Imagen de la ventana Menú Principal de la HMI MAGELIS. ....	107
Figura 2.56. Imagen de la ventana Configuración de Bombas de la HMI MAGELIS. ....	108
Figura 2.57. Imagen de la ventana configuración de tanque y bombas de gasolina Extra de la HMI MAGELIS. ....	108
Figura 2.58. Imagen de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina Extra de la HMI MAGELIS. ....	109
Figura 2.59. Imagen de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS. ....	110
Figura 2.60. Imagen de la ventana operación gasolina extra del sistema de la HMI MAGELIS. ....	110
Figura 2.61. Imagen de la ventana estado bomba de gasolina extra con arranque directo de la HMI MAGELIS. ....	111
Figura 2.62. Imagen de la ventana estado bomba de gasolina extra con variador de la HMI MAGELIS. ...	112
Figura 2.63. Imagen de la ventana estado válvula de gasolina extra con variador de la HMI MAGELIS. ...	112
Figura 2.64. Imagen de la ventana ayuda de la HMI MAGELIS. ....	113
Figura 2.65. Mensajes de advertencia de la HMI MAGELIS. ....	113
Figura 2.66. Mensajes de información de la HMI MAGELIS. ....	114
Figura 2.67. Diagrama de flujo que representa el proceso para determinar si se requiere un cambio de combinación. ....	116
Figura 2.68. Diagrama de flujo de la activación de la variable Bloqueo_Super. ....	117
Figura 2.69. Diagrama de flujo que explica la determinación de la electrobomba principal y auxiliar. ....	119
Figura 2.70. Diagrama de flujo que explica el encendido de la electrobomba 6. El diagrama de flujo para el encendido de la electrobomba 7 se encuentra en el Anexo 10. ....	123
Figura 2.71. Imagen de la ventana de Operación de gasolina Súper. ....	124
Figura 2.72. Imagen de la ventana de información de la electrobomba 7 de gasolina Súper. ....	125
Figura 2.73. Imagen de la ventana de configuración de bombas. ....	126

Figura 2.74. Imagen de la ventana emergente de configuración que aparece cuando se presiona el botón Detener despacho.....	127
Figura 2.75. Imagen que muestra la ventana emergente que indica el progreso de la secuencia para detener las electrobombas. ....	127
Figura 2.76. Imagen de la ventana de confirmación que aparece cuando se presiona el botón Reiniciar despacho. ....	127
Figura 2.77. Imagen de la ventana de progreso de la secuencia de reinicio de la operación de las electrobombas. ....	128
Figura 2.78. Imagen de la ventana de configuración de bombas con la información de detalles. ....	128
Figura 2.79. Imagen de la ventana configuración de bombas de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	129
Figura 2.80. Imagen de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	130
Figura 2.81. Imagen de la ventana operación de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	130
Figura 2.82. Captura para conectar con el PLC Quantum.....	131
Figura 2.83. Captura para cargar un programa al PLC Quantum.....	132
Figura 2.84. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional $K_p = 400$ y error en estado estacionario $e = 0.84$ . ....	133
Figura 2.85. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral $K_p = 356$ , $t_i = 2.278$ y error en estado estacionario $e = 0.73$ .....	134
Figura 2.86. Curva de respuesta de la presión de la tubería cuando se activa un brazo de carga. Controlador Proporcional Integral $K_p = 200$ , $t_i = 2.278$ y error en estado estacionario $e = 0.2$ .....	134
Figura 2.87. Ventana emergente de variador en falla. ....	135
Figura 2.88. Diagrama de flujo de la solución para el problema de la prueba 3. ....	136
Figura 2.89. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de octubre 2011.....	137
Figura 2.90. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de noviembre 2011. ....	138
Figura 2.91. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de diciembre 2011. ....	138
Figura 2.92. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas de la 1 a la 4 durante el mes de enero 2012.....	139
Figura 2.93. Gráfica Presión – número de brazos activados sin controlador y arranque directo. ....	140
Figura 2.94. Gráfica Presión – número de brazos activados sin controlador y con variador de velocidad. ....	141
Figura 2.95. Gráfica Presión – número de brazos activados con variador de velocidad y controlador P.I. ....	142
Figura 2.96. Equipo analizador de energía ....	144
Figura 2.97. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de octubre 2011.....	145
Figura 2.98. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de noviembre 2011. ....	146
Figura 2.99. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de diciembre 2011. ....	146

Figura 2.100. Línea de tendencia de las horas de operación de las electrobombas 6 y 7 durante el mes de enero 2012.....	147
Figura 2.101. Configuración electrobombas - variador de velocidad para Fase II. ....	148
Figura 2.102. Diagrama de flujo del proceso para determinar la velocidad del variador de la electrobomba principal. ....	150
Figura 2.103. . Diagrama de flujo que describe cómo se determina la velocidad del variador de frecuencia auxiliar 1 y 2. ....	151
Figura 2.104. Diagrama de flujo que describe la determinación de la velocidad del variador de frecuencia auxiliar 3. ....	152
Figura 2.105. Diagrama de flujo que describe la asignación de los valores de velocidad a los variadores de frecuencia según corresponda (principal, auxiliar 1, auxiliar 2 y auxiliar 3). ....	153
Figura 2.106. Pantalla estado bomba con variador de gasolina extra. ....	154
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>155</b>
<b>INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA.....</b>	<b>155</b>
Figura 3.1. Codificación de equipos e instrumentos del terminal Beaterio.....	161
Figura 3.2. Codificación para la ubicación de instrumentos del terminal Beaterio <sup>6</sup> .....	162
Figura 3.3. Ejemplo de codificación para la ubicación el instrumento <sup>6</sup> .....	165
Figura 3.4. Armario de equipos del M.C.C. ....	167
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>192</b>
<b>INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA.....</b>	<b>192</b>
Figura 4.1. Circuito equivalente a un conductor de media tensión.....	208
Figura 4.2. Diagrama vectorial de un circuito equivalente a un conductor de media tensión.....	208
Figura 4.3. Arquitectura de comunicación de actuadores del patio de bombas. ....	213
Figura 4.4. Bandeja Porta cables Tipo Escalerilla en Aluminio longitud 6m, altura 6" y ancho 24"...	220
Figura 4.5. Curva Vertical Interior 90º con radio de curvatura 24".....	221
Figura 4.6. Curva Vertical Interior 90º con radio de curvatura 24".....	221
Figura 4.7. Curva Horizontal 90º con radio de curvatura 24".....	222
Figura 4.8. Canal Estructural Lisa C13.....	223
Figura 4.9. Canal Estructural Lisa C09.....	223
Figura 4.10. Canal Estructural Doble C09.....	224
Figura 4.11. Estructura "H" con canales estructurales.....	224
Figura 4.12. Estructura "H" con canales estructurales intermedios.....	225
Figura 4.13. Soporte de tubería que se fija en la base del motor.....	226
Figura 4.14. Canal Lisa C09 con abrazadera y platina de conexión "U".....	226
Figura 4.15. Soporte que sujeta la tubería hacia los actuadores. ....	227
Figura 4.16. Ménsula canal doble C09. ....	227
Figura 4.17. Tuerca mordaza con resorte. ....	228
Figura 4.18. Fijación de una abrazadera de tubo con la tuerca mordaza con resorte y perno de cabeza hexagonal en canal estructural.....	228

<i>Figura 4.19.</i>	<i>Abrazadera fija doble ala de 1 ¼"</i> .....	228
<i>Figura 4.20.</i>	<i>Base corta tres agujeros.</i> .....	229
<i>Figura 4.21.</i>	<i>Platina de conexión "U" Doble Ala Reforzada Ajustable.</i> .....	229
<i>Figura 4.22.</i>	<i>Conexión del sistema Tesys T</i> .....	234
<b>ANEXO 3</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	
<b>CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	
<i>Figura A 3.1.</i>	<i>Calibración del transmisor de presión.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura A 3.2.</i>	<i>Diagrama de conexión del transmisor de presión con el variador de presión</i> ¡Error! Marcador no definido	
<i>Figura A 3.3.</i>	<i>Transmisor de presión instalado en la tubería.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ANEXO 4</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	
<b>CONSULTA A LA BASE DE DATOS</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	
<i>Figura A 4.1.</i>	<i>Ventana de configuración de la bind list HORAS.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESPACHO ACTUAL.....</b>	<b>1</b>
<i>Tabla 1.1. Especificaciones generales del Sensor Saab Tank Radar Rex.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 1.2. Distribución Brazo – Tubería Principal.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 1.3. Distribución Isla de carga – Brazo.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 1.4. Especificaciones generales de la bomba centrífuga Flowserve Durco Mark 3.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 1.5. Especificaciones generales Motor eléctrico US AD75.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 1.6. Tabla de especificaciones Actuador Eléctrico Rotork Electric IQ10.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 1.7. Tabla de especificaciones Actuador Eléctrico Rotork Electric IQ1000.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 1.8. Tabla de especificaciones controlador Accuload III.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 1.9. Tabla de especificaciones controlador Accuload III.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 1.10. Tabla de especificaciones medidor de desplazamiento positivo modelo F4-S1.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 1.11. Tabla de especificaciones de filtro de tubería.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 1.12. Tabla de especificaciones módulos PLC Quantum.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 1.13. Tabla de especificaciones PLC Modicom TSX Momentum (Base I/O y Adaptador).....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 1.14. Tabla de especificaciones terminal gráfica táctil MAGELIS.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 1.15. Tabla de especificaciones de controlador variador de velocidad.....</i>	<i>27</i>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>36</b>
<b>OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL.....</b>	<b>36</b>
<i>Tabla 2.1. Mensajes globales de entrada al PLC Quantum desde el variador de velocidad de gasolina Extra.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2.2. Detalle de la pantalla antigua de operación gasolina extra de la HMI INTOUCH.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 2.3. Detalle de la pantalla antigua configuración bombas extra de la HMI MAGELIS.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2.4. Detalle de la pantalla antigua operación extra de la HMI MAGELIS.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2.5. Formato de organización de variables.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2.6. Variables de tipo booleano que reciben las señales de activación de brazos de carga desde el controlador Accuload y variables para la conversión a tipo entero.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 2.7. Horas y pulsos de los tiempos de operación.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2.8. Variables de tipo Booleano que reciben las señales de activación de brazos de carga desde el controlador Accuload y variables para la conversión a tipo entero.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2.9. Electrobombas disponibles según el tanque funcional.....</i>	<i>59</i>

Tabla 2.10.	Registros de escritura y lectura que se utilizan para determinar la disponibilidad. ....	60
Tabla 2.11.	Marcas que determinan las electrobombas que se consideran para continuar con el proceso. ....	60
Tabla 2.12.	Registros de tipo entero que almacenan los tiempos de operación de las electrobombas.	62
Tabla 2.13.	Marcas de configuración de electrobombas según el tiempo de operación. ....	66
Tabla 2.14.	Lista de variables que determinan la activación de Bloqueo_extra. ....	72
Tabla 2.15.	Listado de marcas de tipo Booleano de cada electrobomba que indican la configuración en la que se encuentran. ....	73
Tabla 2.16.	Datos de valores de referencia de presión según el número de brazos activados simultáneamente. ....	75
Tabla 2.17.	Tabla de componentes del sistema de control. ....	77
Tabla 2.18.	Tabla de parámetros obtenidos de la curva de reacción. ....	80
Tabla 2.19.	Fórmulas de Ziegler Nichols. ....	80
Tabla 2.20.	Valores de los parámetros calculados a partir de la curva de reacción. ....	80
Tabla 2.21.	Velocidad para el driver según brazos de carga. ....	81
Tabla 2.22.	Variables de tipo entero para cada brazo de carga. ....	82
Tabla 2.23.	Descripción de las variables que determinan la velocidad de funcionamiento del variador de frecuencia. ....	82
Tabla 2.24.	Variables que se utilizan para detener de manera secuencial las electrobombas. También se muestran las variables que encienden las mismas. ....	87
Tabla 2.25.	Descripción de las opciones de la pantalla de acceso de la HMI INTOUCH. ....	94
Tabla 2.26.	Descripción de las opciones a las que se puede acceder a través del botón Ir A del Menú Inferior. ....	95
Tabla 2.27.	Descripción de las modificaciones realizadas en la ventana de Operación de Gasolina Extra. ....	96
Tabla 2.28.	Descripción de las partes de la ventana de Configuración de Bombas de gasolina extra. .	97
Tabla 2.29.	Descripción de la ventana desplegable de Detalles de las electrobombas de gasolina extra. ....	
Tabla 2.30.	Indicador de presión en la ventana de información del variador de frecuencia. ....	101
Tabla 2.31.	Descripción de la ventana estado de la bomba de gasolina extra. ....	103
Tabla 2.32.	Detalle de la pantalla acceso actual de la HMI MAGELIS. ....	106
Tabla 2.33.	Detalle de la ventana Alarma de la HMI MAGELIS. ....	107
Tabla 2.34.	Detalle de la ventana Menú Principal de la HMI MAGELIS. ....	107
Tabla 2.35.	Detalle de la ventana Configuración Bombas de la HMI MAGELIS. ....	108
Tabla 2.36.	Detalle de la ventana configuración de tanque y bombas de gasolina Extra de la HMI MAGELIS. ....	109
Tabla 2.37.	Detalle de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina Extra de la HMI MAGELIS. ....	109
Tabla 2.38.	Detalle de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS. ....	110
Tabla 2.39.	Detalle de la ventana operación gasolina extra del sistema de la HMI MAGELIS. ....	111
Tabla 2.40.	Detalle de la ventana operación del sistema de la HMI MAGELIS. ....	113

Tabla 2.41.	Tabla que describe las variables que se usan para determinar si se requiere un cambio de combinación. ....	115
Tabla 2.42.	Variables condicionantes de la variable Bloqueo_Súper.....	117
Tabla 2.43.	Descripción de las variables que se utilizan para determinar la electrobomba principal y auxiliar. ....	118
Tabla 2.44.	Listado de variables que condicionan el encendido de las electrobombas. ....	122
Tabla 2.45.	Descripción de las partes que conforman la ventana de operación de gasolina súper.....	125
Tabla 2.46.	Componentes de la ventana de configuración de electrobombas de gasolina Súper. ....	126
Tabla 2.47.	Descripción de la ventana desplegable de detalles de las electrobombas.....	128
Tabla 2.48.	Descripción de la ventana configuración de bombas de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	129
Tabla 2.49.	Detalle de la ventana espera para detener ó reiniciar despacho de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	130
Tabla 2.50.	Descripción de la ventana operación de gasolina súper de la HMI MAGELIS. ....	130
Tabla 2.51.	Valores de flujo en cada brazo en condición máxima. ....	143
Tabla 2.52.	Datos de consumo de energía tomados de la electrobomba principal fase I.....	144
Tabla 2.53.	Variables que se utilizan para asigna la velocidad de los variadores de frecuencia de gasolina extra. ....	149
Tabla 2.54.	Detalle de la pantalla antigua estado bomba con variador de gasolina extra de la HMI INTOUCH. ....	154
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>155</b>
<b>INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA.....</b>		<b>155</b>
Tabla 3.1.	Clasificación por zonas de riesgo según el NEC.....	157
Tabla 3.2.	Zona operativa del terminal Beaterio <sup>6</sup> .....	163
Tabla 3.3.	Clase de equipo principal ó lazo <sup>6</sup> .....	164
Tabla 3.4.	Descripción de compartimentos del armario de equipos del M.C.C.....	168
Tabla 3.5.	Especificaciones generales del interruptor automático Power Pact 150 [A].....	169
Tabla 3.6.	Especificaciones generales del fusibles de retardo C-TRON.....	170
Tabla 3.7.	Especificaciones generales de inductancia de línea AC CHOKE.....	170
Tabla 3.8.	Especificaciones generales de relé Telemecanique.....	171
Tabla 3.9.	Especificaciones generales de luces piloto- selectores-potenciómetro- terminal gráfica del Driver.....	171
Tabla 3.10.	Total equipos del compartimento Variadores de Velocidad de gasolina Extra.....	172
Tabla 3.11.	Especificaciones generales de Contactor NEMA tamaño 3.....	173
Tabla 3.12.	Especificaciones generales de Interruptor automático 70 A.....	174
Tabla 3.13.	Especificaciones generales de fusibles de retardo C-TRON 0.5 [A].....	175
Tabla 3.14.	Especificaciones generales de relé de sobrecarga Motor Logic.....	175
Tabla 3.15.	Especificaciones generales de contactor NEMA tamaño 2.....	176
Tabla 3.16.	Especificaciones generales de luces Piloto- Pulsadores-Selector de la Bomba.....	176
Tabla 3.17.	Total equipos del compartimento Control Bombas de gasolina Extra.....	177

<i>Tabla 3.18.</i>	<i>Total equipos del compartimento Control Bombas de gasolina Súper .....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 3.19.</i>	<i>Especificaciones generales de breaker MERLIN GERIN C60N.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 3.20.</i>	<i>Especificaciones generales de alimentación 12 VDC.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 3.21.</i>	<i>Especificaciones generales de Switch para riel .....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 3.22.</i>	<i>Especificaciones generales de relé de fallo de fase.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 3.23.</i>	<i>Especificaciones generales de conversor de protocolo de comunicación. ....</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 3.24.</i>	<i>Motores del Patio de Bombas datos de placa.....</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 3.25.</i>	<i>Actuadores eléctricos del Patio de Bombas .....</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 3.26.</i>	<i>Actuadores eléctricos de los Tanques de Almacenamiento. ....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 3.27.</i>	<i>Distancias del cableado de motores del patio de bombas.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 3.28.</i>	<i>Distancias del cableado de botoneras del patio de bombas.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 3.29.</i>	<i>Distancias del cableado de actuadores del patio de bombas .....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 3.30.</i>	<i>Distancias del cableado de transmisores del patio de bombas .....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 3.31.</i>	<i>Lista de equipos para el nuevo sistema de despacho .....</i>	<i>190</i>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>192</b>	
<b>INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA .....</b>	<b>192</b>	
<i>Tabla 4.1.</i>	<i>Especificaciones generales de variador de velocidad ABB model AC S400 .....</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 4.2.</i>	<i>Especificaciones generales variador de velocidad Altivar 61 .....</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 4.3.</i>	<i>Tabla de cable tipo C-L-X Tipo MCHL (XHHW-2) de Okonite. ....</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 4.4.</i>	<i>Datos requeridos obtenidos de las tablas de Okonite.....</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 4.5.</i>	<i>Datos obtenidos de las tablas de Okonite.....</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 4.6.</i>	<i>Tabla de capacidad de carga según la norma NEMA VE-1. ....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 4.7.</i>	<i>Tabla de peso total aproximado libras por pie (lbs/ft) de cada cable.....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 4.8.</i>	<i>Tabla de elementos de bandejas porta cables soportería. ....</i>	<i>231</i>
<i>Tabla 4.9.</i>	<i>Especificaciones generales de Controlador LTM R100BD .....</i>	<i>233</i>
<i>Tabla 4.10.</i>	<i>Especificaciones generales de módulo de extensión LTM EV40BD .....</i>	<i>233</i>
<i>Tabla 4.11.</i>	<i>Especificaciones generales de terminal de dialogo MAGELIS .....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 4.12.</i>	<i>Componentes de frecuencia de una forma de onda. ....</i>	<i>235</i>
<i>Tabla 4.13.</i>	<i>Especificaciones generales de accusine PCS.....</i>	<i>237</i>
<i>Tabla 4.14.</i>	<i>Horas de operación diarias de electrobombas de gasolina Extra. ....</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 4.15.</i>	<i>Horas de operación diarias de electrobombas de gasolina Súper .....</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 4.16.</i>	<i>Datos de consumo de energía de la electrobomba principal fase II .....</i>	<i>240</i>
<i>Tabla 4.17.</i>	<i>Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina extra con sistema antiguo .....</i>	<i>241</i>
<i>Tabla 4.18.</i>	<i>Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina extra con sistema nuevo .....</i>	<i>241</i>
<i>Tabla 4.19.</i>	<i>Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina súper con sistema antiguo .....</i>	<i>242</i>

Tabla 4.20.	Consumo diario de energía eléctrica de electrobombas de gasolina súper con sistema nuevo .....	242
<b>ANEXO 2</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>VARIABLES DE LAS FBD'S DEL PROGRAMA DEL PLC QUANTUM</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla A2.1.	Variables de las FBD: Medidores, Extra y Súper del programa del PLC para despacho de gasolina Extra. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A2.2.	Descripción de las variables relacionadas con las electrobombas de gasolina extra.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A2.3.	Descripción de las variables de los actuadores de los tanques de almacenamiento.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A2.4.	Descripción de las variables relacionadas con las electrobombas de gasolina súper.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ANEXO 3</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla A 3.1.	Especificaciones generales de transmisor de presión. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ANEXO 5</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>DATOS DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN DE LAS ELECTROBOMBAS</b>	.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla A 5.1.	Datos de tiempo de operación de cada electrobomba recogidos durante el mes de octubre 2011. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.2.	Datos de tiempo de operación de cada electrobomba recogidos durante el mes de noviembre 2011. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.3.	Datos de tiempo de operación de cada electrobomba recogidos durante el mes de diciembre 2011. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.4.	Datos de tiempo de operación de cada electrobomba recogidos durante el mes de enero 2012. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.5.	Datos obtenidos de los tiempos de operación de las electrobombas de gasolina súper durante el mes de octubre 2011. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.6.	Datos obtenidos de los tiempos de operación de las electrobombas de gasolina súper durante el mes de noviembre 2011.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.7.	Datos obtenidos de los tiempos de operación de las electrobombas de gasolina súper durante el mes de diciembre 2011.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A 5.8.	Datos obtenidos de los tiempos de operación de las electrobombas de gasolina súper durante el mes de enero 2012. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## GLOSARIO

**Functional Block Diagram (FBD):** Programación basada en bloques que realizan operaciones matemáticas para poder determinar una salida

**AccuMate IIIX:** Software utilizado para programar el controlador Accuload III

**Altivar 61:** Nombre de un modelo de variador de velocidad fabricado por Telemecanique Schneider Electric.

**InTouch:** Software para desarrollar HMI's de la empresa Wonderware.

**MAGELIS:** Terminal gráfica para HMI's en ambientes industriales.

**Peer Cop:** Servicio de comunicación.

**GPM:** Galones por minuto.

**HMI:** Interfaz Hombre-Máquina.

**INT:** Variable tipo entero.

**Accuload III:** Computador dedicado fabricado por Smith Meter.

**DAServer:** Son programas añadidos íntimamente a la familia de productos de integración de dispositivos de Wonderware.

**DAServer MBTCP:** Es un programa de aplicación de Windows que actúa como un servidor de entrada/salida para la comunicación. Este permite que otras

aplicaciones de Windows accedan a los datos de los PLC's y otros dispositivos compatibles a través de los puertos Ethernet, mediante el protocolo Modbus Ethernet.

**DAServer Modicon MODBUS Serial:** Es utilizado como servidor de protocolo de comunicación Modbus vía RS-232 o RS-422 y es una aplicación de Windows que permite el acceso de aplicaciones de Windows a los datos en los PLC's y otros dispositivos compatibles, a través de una red serial.

**Archestra:** Es la arquitectura tecnológica basada en .NET de Microsoft, desarrollada por Wonderware para facilitar e impulsar la integración de dispositivos y sistemas a distintos niveles.

**Emisiones EMI:** También se le conoce como interferencia de frecuencia de radio (RFI), la EMI se refiere a cualquier perturbación eléctrica no deseada que interfiere con otros dispositivos eléctricos.

**Elastómero:** Macromoléculas que muestran un comportamiento elástico

**Reticulación:** Es una reacción química por la que macromoléculas se unen en cadenas tridimensionales formando una especie de red. Otorga termo estabilidad a materiales plásticos.

**Ampacidad:** Corriente máxima.

**Desconexión a motor lanzado:** Desconexión del motor cuando aún está girando

**UL:** Underwriters Laboratories

**Interruptor automático:** Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corriente en condiciones anormales.

**COC:** Corto circuito

**CA:** Circuito abierto

**Servicio S1:** Motor Servicio continuo, funcionamiento en un estado de carga constante.

**Categoría de empleo AC3:** Se refiere a los motores de jaula, y el corte se realiza a motor lanzado.

**In:** Corriente nominal, es el valor que está determinado por el consumo de la instalación

**Icu:** Poder de ruptura ultimo, es la corriente máxima que debe ser capaz de soportar el interruptor durante un cortocircuito y además de ser capaz de cortar el circuito bajo esas condiciones.

**Ics:** Poder de ruptura de servicio, garantiza la apertura del corto circuito siendo capaz de regresar al servicio luego de realizar tres cortocircuitos sucesivos con ese valor de corriente. A veces Ics está en % de Icu

**Ui:** Tensión de aislamiento

**Uimp:** Voltaje de impulso

**Cuasi estacionario:** Un proceso aleatorio no estacionario, es estacionario a trozos y es posible definir la Densidad Espectral de Potencia (DEP) en cada uno de estos trozos.

**Bridas:** Elemento de unión entre tuberías.

**Juntas de expansión:** Llamados también compensadores de dilatación son elementos que permiten desplazamientos relativos entre sus extremos sin entrar en deformaciones, se lo utiliza para absorber el movimiento que la electrobomba transmite a la tubería.

## HOJA DE ENTREGA

Este proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a \_\_\_\_\_ de 2012

---

Sr. Víctor Geovanny Pulla Aulestia  
171583936-9

---

Sr. Dennis Ramiro Chuva Álvarez

---

Ing. Víctor Proaño  
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL