

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL EN BRAZOS DE CARGA DE COMBUSTIBLE DIESEL 2 Y DIESEL PREMIUM DEL TERMINAL BEATERIO DE PETROCOMERCIAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

LANDÁZURI GUANOLUISA PAÚL FERNANDO

luap04pro@hotmail.com

SALGUERO LUNA PABLO SEBASTIÁN

yooyoo_abs@hotmail.es

DIRECTOR: ING. MOLINA JORGE

jorge.molina@epn.edu.ec

Quito, Enero 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Paúl Fernando Landázuri Guanoluisa y Salguero Luna Pablo Sebastián, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Paúl Fernando Landázuri Guanoluisa

Pablo Sebastián Salguero Luna

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paúl Fernando Landázuri Guanoluisa y Pablo Sebastián Salguero Luna, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Molina.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Debemos agradecer de manera especial a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación. Nuestros más sinceros agradecimientos están dirigidos hacia nuestros amigos: Christian López, Francisco Andrade, Darío Jacho, Pamela Gómez, Edwin López, Mario Tapia, del área de Mantenimiento del Terminal Beaterio de EP PETROECUADOR, quienes con su ayuda desinteresada, nos brindaron información importante, concisa y muy cercana a la realidad de nuestras necesidades.

Nuestro más amplio agradecimiento al Ing. Francisco De La Torre por abrirnos las puertas del Terminal Beaterio y así poder cumplir con este gran logro en nuestras vidas.

A los buenos compañeros hechos en la empresa, los cuáles nos colaboraron en el avance de este proyecto.

El agradecimiento más profundo y sentido a nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo.

Y, desde luego, queremos extender nuestro agradecimiento hacia nuestro director el Ing. Jorge Molina, por su importante aporte en el desarrollo de esta tesis.

Gracias Dios, gracias padres y hermanos, gracias amigos

DEDICATORIA

Este logro alcanzado lo dedico a mis padres Luis y Carmita quienes con su esfuerzo diario me brindaron la oportunidad de alcanzar esta meta propuesta, a mis hermanas Mary y Aryta que con su apoyo y consejos supieron encaminarme, y a mi sobrino Mateo que con su alegría me dio fuerzas para culminar este proyecto.

Paúl

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a quienes son parte de mi familia; a mi MADRE María Elena Luna, mi PADRE Miguel Salguero, a mi HERMANO Miguel Alejandro Salguero; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último a mis compañeros de universidad sin los cuales esta experiencia de vida no hubiese estado llena de tantos buenos momentos.

Pablo

CONTENIDO

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE TABLAS	x
ÍNDICE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
PRESENTACIÓN	xiv
CAPITULO 1	1
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL	1
1.1. PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE DIESEL	1
1.1.1. DIESEL 2 ¹	4
1.1.2. DIESEL PREMIUM ²	5
1.2. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO	6
1.2.1. BOMBAS	6
1.2.1.1. Especificaciones de la bomba centrífuga ³	6
1.2.2. MOTORES	6
1.2.2.1. Especificaciones del motor eléctrico ⁴	7
1.2.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC's)	7
1.2.3.1. PLC Modicon Quantum ⁵	8
1.2.3.1.1. Módulo de CPU	8
1.2.3.1.2. Módulo de Entradas	9
1.2.3.1.3. Módulo de Salidas de Relé	10
1.2.3.1.4. Módulo de Alimentación de Energía	11
1.2.3.1.5. Módulo de Comunicación Modbus Plus	12
1.2.3.1.6. Módulo de Red Ethernet	12
1.2.3.2. PLC Modicon Momentum	13
1.2.3.2.1. Adaptador de Procesador ⁷	14
1.2.3.2.2. Base 170ADM54080 ⁷	14
1.2.3.2.3. Base 170ARM37030 ⁷	15
1.2.4. TERMINAL GRÁFICA MAGELIS ⁸	16
1.2.4.1. Especificaciones <i>Magelis XBT-G 4330</i>	17
1.2.5. CONTROLADOR ACCULOAD III ⁹	17
1.2.5.1. Especificaciones Accuload III	18
1.2.6. VÁLVULA DIGITAL ELECTRO-HIDRÁULICA ¹⁰	18
1.2.6.1. Especificaciones válvula modelo 210 de Smith Meter	19

1.2.7. MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO ¹¹	19
1.2.7.1. Especificaciones Medidor Desplazamiento	20
1.3. ESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIÓN	20
1.3.1. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	21
1.3.1.1. Modbus ¹²	21
1.3.1.2. Modbus Plus ¹²	22
1.3.1.3. Ethernet ¹³	22
1.3.2. TOPOLOGIA DE LA RED	23
1.3.2.1. Topología en Estrella ¹⁴	23
1.3.2.2. Topología en Bus ¹⁵	24
1.4. PRINCIPALES INCONVENIENTES DEL ACTUAL SISTEMA	25
1.5. SOLUCION PROPUESTA	26
1.6. OBJETIVO DEL PROYECTO Y TRABAJOS A EJECUTAR	26
CAPITULO 2	28
DISEÑO DEL SISTEMA	28
2.1. ESQUEMA GENERAL DE LA RED DE CONTROL Y GRUPOS DE BOMBEO	28
2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO PRINCIPAL	30
2.2.1. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INCORPORADOS	32
2.2.1.1. Variadores de Velocidad	32
2.2.1.2. Contactor Electromagnético	32
2.2.1.3. Transmisor de Presión	33
2.3. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	33
2.4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE	34
2.4.1. PROGRAMACIÓN DEL PLC QUANTUM	34
2.4.1.1. Subrutina Programa Principal	35
2.4.1.2. Subrutina Datos HMI	36
2.4.1.3. Subrutina Lectura de Entrada y Salidas	37
2.4.1.4. Subrutina Accionamiento de Bombas	38
2.4.1.5. Subrutina Secuencia de Operación de Bombas	40
2.4.1.6. Subrutina Control de Velocidad	41
2.4.2. RECONFIGURACIÓN DE LA HMI E INTERFAZ DE OPERADOR ..	44
2.4.2.1. Reconfiguración de la HMI en Intouch	44
2.4.2.1.1. Pantalla de Configuración de Bombas	44
2.4.2.1.2. Pantalla de Operación Diesel 2	45
2.4.2.1.3. Pantalla de Operación Diesel Premium	45
2.4.2.1.4. Pantalla de Estado de válvulas	46
2.4.2.1.5. Pantalla del Estado de Bombas con Variador de Velocidad ..	47
2.4.2.1.6. Pantalla del Estado de Bombas sin Variador de Velocidad ..	47
2.4.2.2. Reconfiguración de la Interfaz de Operador Magelis	48
2.4.2.2.1. Pantalla Inicial	48
2.4.2.2.2. Pantalla Configuración de Bombas	49
2.4.2.2.3. Pantalla Despacho – Operación	51
2.4.2.2.4. Pantalla Estado de Válvulas	52

2.4.2.2.5	Pantalla Estado de Bombas.....	53
2.4.2.2.6	Pantalla de Alarmas.....	54
CAPITULO 3		56
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA		56
3.1.	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INSTALADOS	56
3.1.1.	VARIADORES DE VELOCIDAD.....	56
3.1.1.1.	Características del Altivar 61.....	56
3.1.2.	CONTACTORES ELECTROMÁGNÉTICOS	57
3.1.2.1.	Características del Contactor	57
3.1.3.	TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	58
3.1.3.1	Características del Transmisor.....	58
3.1.4.	RELÉS ELECTROMAGNÉTICOS	58
3.1.4.1	Características de los Relés.....	59
3.2.	MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS	59
3.2.1.	INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	60
3.2.2.	MONTAJE E INSTALACIÓN DE UN MANÓMETRO.....	60
3.2.3.	MONTAJE E INSTALACIÓN DE RELÉS.....	61
3.2.4.	MONTAJE DE BANDEJA PARA CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL	61
3.3.	MODIFICACIÓN DE CIRCUITO Y CONEXIONES	62
3.3.1.	MODIFICACIÓN DE CONEXIONES DE LA CELDAS DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD.....	62
3.3.2.	MODIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES EN EL PLC QUANTUM ..	64
3.3.3.	MODIFICACIÓN DE CONEXIONES DE ARRANCADORES PARA MOTORES	64
3.3.4.	MODIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES DE TRES CONTACTORES TAMAÑO NEMA 3	65
3.4.	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN	65
3.4.1.	CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ALTIVAR 61	66
3.4.2.	CONFIGURACIÓN Y DESCARGA DEL NUEVO PROGRAMA AL PLC QUANTUM.....	66
3.4.3.	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC, VARIADOR DE VELOCIDAD Y TERMINAL MAGELIS.....	67
3.4.4.	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESPACHO A TRAVÉS DE LA HMI	68
3.4.5.	AJUSTE DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	70
CAPITULO 4		71
PRUEBAS Y RESULTADOS		71
4.1	PRUEBAS OPERATIVAS	71
4.1.1	PRUEBA DE DESPACHO SIN VARIADORES DE VELOCIDAD	71
4.1.1.1.	Mediciones para un volumen de despacho de 1000 GI	71
4.1.1.2.	Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga en una semana	72

4.1.1.3.	Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana laboral.....	72
4.1.1.4.	Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo	73
4.1.2	PRUEBA DE DESPACHO CON VARIADORES DE VELOCIDAD... ..	73
4.1.2.1.	Mediciones realizadas para un volumen de despacho de 1000 Gl.....	73
4.1.2.2.	Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga en una semana	74
4.1.2.3.	Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana laboral.....	74
4.1.2.4.	Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo	75
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
CAPITULO 5		78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
5.1.	CONCLUSIONES	78
5.2.	RECOMENDACIONES.....	79
CAPITULO 6		80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
ANEXO I		81
(PLANOS)		81
ANEXO II		82
(DIAGRAMAS DE RED).....		82
ANEXO III		83
(TABLAS DIRECCIONAMIENTO DE VARIABLES).....		83
ANEXO IV		84
(CONFIGURACIÓN Y SOFTWARE DEL EQUIPO DE CONTROL)		84
ANEXO V.....		85
(CÁLCULO DEL CABLE)		85
ANEXO VI.....		86
(CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA)		86
ANEXO VII.....		87
(CATÁLOGOS)		87

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. 1: Tanques con su producto de almacenamiento.....	2
Tabla 1. 2: Bombas utilizadas en el despacho.	3
Tabla 1. 3: Brazos de Carga de Diesel.....	3
Tabla 1. 4: Número de bombas en función del número de brazos de carga.	25
Tabla 2. 2: Ejemplo de designación de variables.	35
Tabla 2. 3: Secuencias de Operaciones.....	40
Tabla 2. 4: Set point según número de brazos.....	42
Tabla 2. 5: Velocidad según número de brazos.	42
Tabla 4. 1: Datos del despacho de 1000 galones sin variadores de velocidad	72
Tabla 4. 2: Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga durante una semana sin variadores de velocidad	72
Tabla 4. 3: Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana sin variadores de velocidad	73
Tabla 4. 4: Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo sin variadores de velocidad	73
Tabla 4. 5: Datos del despacho de 1000 galones con variadores de velocidad ...	74
Tabla 4. 6: Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga durante una semana con variadores de velocidad	74
Tabla 4. 7: Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana con variadores de velocidad.....	75
Tabla 4. 8: Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo con variadores de velocidad	75
Tabla 4. 9: Ahorro de energía y tiempo del nuevo sistema en comparación con el antiguo sistema de despacho de diesel 2	77
Tabla 4. 10: Porcentaje de ahorro de energía y tiempo de funcionamiento del nuevo sistema en comparación con el antiguo sistema de despacho de diesel 2.....	77

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. 1: Área de Tanques del Terminal El Beaterio.....	1
Figura 1. 2: Patio de Bombas.....	2
Figura 1. 3: Isla de Despacho.....	4
Figura 1. 4: Bomba Flowserve Durco Mark III. ³	6
Figura 1. 5: Motor Eléctrico US. ⁴	7
Figura 1. 6: Plataforma PLC Quantum.....	8
Figura 1. 7: Módulo 140CPU11303.....	9
Figura 1. 8: Esquema de cableado. ⁶	10
Figura 1. 9: Esquema de cableado y Estructura del Relé. ⁶	11
Figura 1. 10: Módulo 140CPS11410.....	11
Figura 1. 11: Módulo 140NOM21100.....	12
Figura 1. 12: Módulo 140NOE77111.....	13
Figura 1. 13: TSX Momentum Base I/O y Adaptador.....	13
Figura 1. 14: Adaptador Procesador 171CCC78010.....	14
Figura 1. 15: TSX Momentum 170ADM54080.....	15
Figura 1. 16: TSX Momentum 170ARM37030.....	15
Figura 1. 17: Terminal gráfica Magelis XBT-G 4330. (Vista posterior).....	16
Figura 1. 18: Accuload III.....	17
Figura 1. 19: Válvula digital Electro-Hidráulica modelo 210.....	18
Figura 1. 20: Modelo Esquemático.....	19
Figura 1. 21: Medidor Modelo F4-S1.....	20
Figura 1. 22: Estructura lógica MODBUS.....	21
Figura 1. 23: Red en topología de estrella.....	24
Figura 1. 24: Red en topología de bus.....	24
Figura 2. 1: Esquema de la nueva red de control y grupos de bombeo.....	29
Figura 2. 2: Diagrama eléctrico unifilar.....	31
Figura 2. 3: Subrutina Programa Principal.....	36
Figura 2. 4: Subrutina Datos HMI.....	37
Figura 2. 5: Subrutina Lectura de Entradas y Salidas.....	38
Figura 2. 6: Subrutina Accionamiento de Bombas.....	39
Figura 2. 7: Subrutina Secuencia de Operación de Bombas.....	41
Figura 2. 8: Subrutina Control de Velocidad.....	43
Figura 2. 9: Pantalla de Configuración de Bombas.....	44
Figura 2. 10: Pantalla de Operación Diesel 2.....	45
Figura 2. 11: Pantalla de Operación Diesel Premium.....	46
Figura 2. 12: Pantalla de Estado de válvulas.....	46
Figura 2. 13: Pantalla del Estado de Bombas con Variador de Velocidad.....	47
Figura 2. 14: Pantalla del Estado de la Bomba sin Variador de Velocidad.....	47
Figura 2. 15: Pantalla inicial de la Terminal Magelis.....	48
Figura 2. 16: Pantalla Menú Principal.....	49
Figura 2. 17: Pantalla Configuración de Bombas.....	50
Figura 2. 18: Pantalla Configuración de Bombas para Diesel 2.....	50
Figura 2. 19: Pantalla Configuración de Bombas para Diesel Premium.....	51
Figura 2. 20: Pantalla “Despacho- Operación”.....	51
Figura 2. 21: Pantalla Operación de Diesel 2.....	52
Figura 2. 22: Pantalla Operación de Diesel Premium.....	52

Figura 2. 23: Pantalla Estado de Válvulas.....	53
Figura 2. 24: Pantalla Estado de Bombas con Variador de Velocidad	53
Figura 2. 25: Pantalla Estado de bombas sin Variador de Velocidad.....	54
Figura 2. 26: Ejemplo cuando se activa una alarma.....	54
Figura 2. 27: Pantallas de Alarmas	55
Figura 2. 28: Pantalla para desactivar alarmas	55
 Figura 3. 1: Variador de Velocidad Altivar 61 (ATV61HD30N4).....	56
Figura 3. 2: Contactor Square D.....	57
Figura 3. 3: Transmisor de Presión Viatran.....	58
Figura 3. 4: Relés AMF Potter & Brumfield.....	59
Figura 3. 5: Transmisor de presión.....	60
Figura 3. 6: Manómetro	60
Figura 3. 7: Relés Electromagnéticos.....	61
Figura 3. 8: Bandeja para cableado de fuerza y control	61
Figura 3. 9: Celda del Variador de Velocidad	63
Figura 3. 10: Dispositivos de mando manual y señalización	63
Figura 3. 11: Arrancador para el motor 15	64
Figura 3. 12: Contactores NEMA 3.....	65
Figura 3. 13: Ventana de descarga del programa	66
Figura 3. 14: Comunicación entre variador de velocidad y el PLC Quantum	67
Figura 3. 15: Mensaje de error de comunicación Magelis con PLC	68
Figura 3. 16: Ventana de despacho de combustible en la Isla 2	69
Figura 3. 17: Ventana de despacho de combustible en la Isla 3	69

RESUMEN

Este proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema de control de caudal en brazos de carga de combustible Diesel 2 y el diseño para Diesel Premium del Terminal Beaterio de EP-PETROECUADOR.

El sistema cuenta con tres tanques de almacenamiento de combustible, tres bombas y cinco brazos de carga para Diesel 2. Un controlador Accuload III se encarga del control del volumen y flujo por cada dos brazos de carga mediante válvulas electro-hidráulicas, y envía señales discretas a un PLC Modicon Momentum indicando el flujo requerido por los brazos.

Un PLC Modicon Quantum, que se comunica con los PLC's Modicon Momentum a través de una red Modbus Plus, controla el accionamiento de las bombas. El accionamiento de las bombas se realiza mediante un lazo cerrado de control compuesto por tres contactores, dos variadores de velocidad y un transmisor de presión. La velocidad de las bombas es regulada, según los requerimientos del sistema, mediante dos controladores PI, cuyos parámetros son ajustados en el programa del PLC. Además de regular el caudal, el sistema de control se encarga de mantener un trabajo equilibrado de las bombas en cuanto a horas de funcionamiento.

Adicionalmente, el proyecto contempla la modificación de la HMI del centro de control y de una interfaz gráfica tipo "touch screen", a través de las cuales se supervisa el funcionamiento del sistema y se adquieren datos sobre disponibilidad de bombas, horas de funcionamiento, corriente, velocidad, alarmas, entre otros.

Como resultados de la ejecución de este proyecto se obtuvo el arranque y parada suave de los grupos de bombeo y, consecuentemente, la disminución de los golpes de ariete en accesorios y tuberías; se logró un ahorro en el consumo de energía eléctrica de aproximadamente un 14%; y un trabajo balanceado de los grupos de bombeo.

PRESENTACIÓN

Este proyecto, cuya ejecución se llevó a cabo en Terminal Beaterio de EP-PETROECUADOR, fue pensado con el propósito de regular el caudal de combustible en función de las necesidades de despacho, disminuir el constante golpe de ariete y por ende posibles agotamientos de los accesorios instalados, reducir el consumo de energía innecesario y distribuir equitativamente los tiempos de operación de los grupos de bombeo para llevar un programa de mantenimiento adecuado y prolongar su vida útil.

Para cumplir con los objetivos expuestos, fue necesario reconfigurar el sistema de fuerza de los grupos de bombeo incorporando accionamientos de velocidad variable e implementar un sistema de control que regule la velocidad, el arranque y parada de estos grupos.

El desarrollo de este proyecto está descrito en cinco capítulos que se resumen a continuación.

En el Capítulo Uno se describe el funcionamiento del sistema de despacho, la descripción y especificaciones de los equipos utilizados en el proceso, y la estructura de la red de campo.

El Capítulo Dos corresponde a la etapa de diseño, en la cual se detallan las condiciones de operación del nuevo sistema, los circuitos de control y potencia, el desarrollo de la lógica de control, la reprogramación del PLC y las modificaciones realizadas a las interfaces de operador.

En el Capítulo Tres, se tratan algunos detalles sobre la implementación y puesta en marcha del nuevo sistema.

En el Capítulo Cuatro, se describen las pruebas realizadas y se hace un breve análisis sobre los resultados obtenidos.

En el Capítulo Cinco, con base a los resultados obtenidos y la experiencia práctica lograda durante el desarrollo de este proyecto, se presentan las principales conclusiones de su ejecución y se sugieren algunas recomendaciones.

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

1.1. PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE DIESEL

En el Terminal El Beaterio se realizan básicamente tres actividades que son: la recepción de productos, el almacenamiento y despacho; y la comercialización.

El Terminal es abastecido del Combustible Diesel desde el Poliducto Shushufindi-Quito. La Estación Reductora de Presión del Poliducto Quito-Ambato, es la encargada de recibir el producto, disminuir la presión y almacenar para proceder al despacho en tanques fijos verticales, debidamente señalizados de acuerdo al producto que contienen. Cada tanque tiene instalado un Sistema de Medición tipo Radar que contiene sensores de temperatura, presión y agua. Además poseen diques diseñados para contener el producto del tanque en caso de producirse un derrame.



Figura 1. 1: Área de Tanques del Terminal El Beaterio.

Para el almacenamiento de diesel se utilizan cinco tanques:

TANQUE	PRODUCTO
ATNK-010010	Diesel 2
ATNK-010011	Diesel 2
ATNK-010013	Diesel 2
ATNK-010016	Diesel Premium
ATNK-010022	Diesel Premium

Tabla 1. 1: Tanques con su producto de almacenamiento.

Para el despacho del combustible se trabaja con siete electrobombas centrifugas horizontales (1000 gpm) ubicadas en el patio de bombas, las cuales se encargan de extraer el combustible desde los tanques y transportarlo hasta las islas de carga y distribución, o al retorno de producto a los tanques.

El accionamiento de las bombas se lo realiza por arranque directo mediante contactores ubicados en el centro de control de motores (MCC), controlados por un PLC Modicon Quantum.



Figura 1. 2: Patio de Bombas.

La selección del tanque que va a distribuir producto y el resto de entradas de las bombas se realiza a través de una serie de válvulas manuales y actuadores que

se encuentran a lo largo de las tuberías de distribución del combustible. Cada una de las bombas utilizadas para el despacho posee una salida que se juntan en una sola tubería (manifold) que entrega el producto a los brazos de carga.

BOMBA	PRODUCTO
PUMP-010109	Diesel Premium
PUMP-010110	Diesel Premium
PUMP-010111	Diesel Premium
PUMP-010112	Diesel Premium
PUMP-010113	Diesel 2
PUMP-010114	Diesel 2
PUMP-010115	Diesel 2

Tabla 1. 2: Bombas utilizadas en el despacho.

En las islas de despacho (Isla 3) existen nueve brazos de carga de diesel (500 gpm), con sus respectivo sistema de medición, el cual consta de una válvula manual para dar mantenimiento al brazo, un filtro para eliminar partículas no deseadas, un medidor de desplazamiento positivo, una válvula de control por cada brazo de carga y un controlador Accuload III por cada dos brazos, encargado de controlar el flujo y medir la cantidad de volumen despachado. Por cada dos brazos de carga es necesario activar una bomba.

BRAZO	PRODUCTO
BC-010206	Diesel Premium
BC-010207	Diesel Premium
BC-010210	Diesel Premium
BC-010223	Diesel Premium
BC-010213	Diesel 2
BC-010214	Diesel 2
BC-010217	Diesel 2
BC-010218	Diesel 2
BC-010220	Diesel 2

Tabla 1. 3: Brazos de Carga de Diesel.



Figura 1. 3: Isla de Despacho.

Además se cuenta con una HMI desarrollada en el software Intouch para las PC's ubicadas en la sala de control, y una en Vijeo-Designer para una pantalla touch Magelis ubicada en el MCC. En la PC principal se realiza la selección de la bomba que funcionará como principal, auxiliar 1 y auxiliar 2, se despliega un esquema general del proceso donde se visualizan las bombas y actuadores que están en funcionamiento, el nivel de producto de los tanques de almacenamiento, así como también muestra información sobre cada bomba como velocidad, local/remoto, encendido/apagado. En la pantalla Magelis únicamente se realiza la selección de las bombas.

En los planos 1 y 2 correspondientes a los Diagramas de Flujo del Anexo I, se muestra un esquema de tanques, conexión de tuberías, válvulas, bombas y demás elementos que intervienen en el sistema de despacho de Diesel 2 y Diesel Premium respectivamente.

1.1.1. DIESEL 2¹

El diesel 2 es la segunda fracción importante que se obtiene en la destilación atmosférica del petróleo.

Los componentes de este producto son hidrocarburos que destilan entre los 200°C y 300°C, los hidrocarburos más importantes que entran en la composición química de este combustible son: parafínicos, izoparafínicos, aromáticos (monociclo y biciclos), nafténicos y estructuras mixtas nafteno-aromático.

Las ventajas del uso Diesel 2 son:

- Tiene una buena combustión, con llama blanca amarillenta debido al bajo contenido de hidrocarburos aromáticos.
- La apariencia del producto es blanca transparente y la acidez orgánica se expresa en mg de KOH/ 100 ml, no sobrepasa de 1,4 %, lo cual evita la acción corrosiva sobre los metales.

1.1.2. DIESEL PREMIUM ²

Es un combustible obtenido de la destilación primaria del petróleo. Es un destilado medio que se encuentra entre el kerex y el aceite lubricante.

Sus componentes elementales son el carbono, el hidrógeno y el azufre. El producto ecológico tiene un máximo del 0.05% de azufre, es decir 0.65% menos que el diesel 2.

Las ventajas del uso Diesel Premium son:

- Reducir las emisiones gaseosas tóxicas como el dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre, (SO₃); gases que cuando entran en contacto con el agua, H₂O, forman la llamada lluvia ácida", cuyo efecto es tóxico y nocivo para los ecosistemas.
- Disminuir el efecto corrosivo en los motores y accesorios metálicos de los vehículos, aumentando la vida útil de los mismos y mejora la calidad del aire.

1.2. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO

1.2.1. BOMBAS

Son las encargadas de elevar, transferir e impulsar el producto consiguiendo aumentar la presión o energía del líquido.



Figura 1. 4: Bomba Flowserve Durco Mark III.³

1.2.1.1. Especificaciones de la bomba centrífuga³

Marca: Flowserve Durco Mark III

Modelo: 2K6x4-10HRV

Capacidad: 1000 GPM.

Tipo de impulsor: Aspas invertidas (RV)

Tipo de bomba: Centrífuga.

Tamaño tobera de succión: 6".

Tamaño tobera de descarga: 4".

Diámetro máximo de impulsor: 10".

Peso Neto: 149 Kg.

Caudal mínimo: 50% del BEP (Capacidad en el punto de mayor eficacia).

Temperatura ambiente mínima: -29° C.

Temperatura ambiente máxima: 175° C.

1.2.2. MOTORES

Encargados de transformar la energía eléctrica en mecánica la cual es entregada a la bomba para producir el movimiento.



Figura 1. 5: Motor Eléctrico US.⁴

1.2.2.1. Especificaciones del motor eléctrico⁴

Modelo: AD75

Voltaje: 230/460 Vac.

Corriente a máxima carga: 59.8/29.9 A.

Potencia: 25 HP.

Frecuencia: 60 Hz.

Velocidad a máxima carga: 1775 RPM.

Número de fases: 3.

Factor de servicio: 1.15

Temperatura ambiente máxima: 40° C.

Número de polos: 4

Torque a máxima carga: 74 Lbs-pie.

Torque de arranque: 141.34 Lbs-pie.

Eficiencia: 92.4%

Tipo de carcasa: TE (Totalmente encerrado).

Peso: 159 Kg.

Tipo de motor: Asíncrono, jaula de ardilla.

1.2.3. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC's)

En el control del sistema intervienen dos tipos de PLC's:

El Modicon Quantum que actúa como principal y se encarga del control del sistema en general, y dos Modicon Momentum para el control de actuadores del patio de bombas y tanques.

1.2.3.1. PLC Modicon Quantum⁵

El sistema Quantum de Modicon es un sistema informático de propósito especial que dispone de funciones de procesamiento digital. Está diseñado para controlar en tiempo real aplicaciones industriales y de fabricación dentro de una arquitectura modular ampliable, mediante la utilización de los siguientes módulos:

- CPU
- Interfaz de red de E/S
- Fuente de alimentación
- Entradas/Salidas (E/S)
- E/S inteligentes/de propósito especial
- Simulador (XSM)
- Platinas principales
- Cableado CableFast



Figura 1. 6: Plataforma PLC Quantum.

A continuación se describe cada módulo que compone el PLC Quantum:

1.2.3.1.1. Módulo de CPU

El módulo de controlador utilizado es el 140CPU11303, compatible con el software Concept y ProWORX, cuenta con la memoria de ejecución, memoria de la aplicación y los puertos de comunicación incorporados, cuyas características se muestran a continuación:

- Memoria: 512 Kbytes SRAM.
- Memoria de usuario Lógica Ladder: Máximo palabras de 16k.
- Capacidad de bits: Máximo de 8192 entradas y 8192 salidas.
- Capacidad de registro: Máximo de 9999 palabras.
- 1 puerto serie Modbus (RS-232) (D-shell 9 pins).
- 1 puerto de red Modbus Plus (RS-485) (D-shell 9 pins).
- Velocidad reloj: 20 MHz.
- Tiempo de solución lógico: 0,3 ms/k a 1,4 ms/k.
- Tiempo de vigilancia Watchdog: 250 ms (ajustable por software).
- Batería: 3 V de litio.

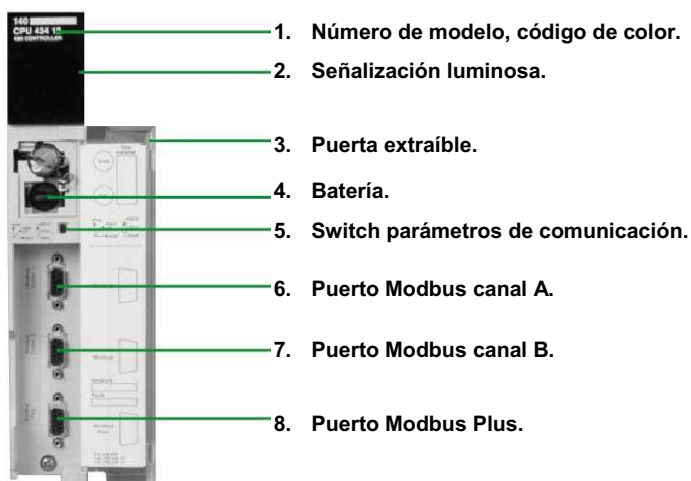


Figura 1. 7: Módulo 140CPU11303.

1.2.3.1.2. Módulo de Entradas

El módulo utilizado es el 140DAI54000, sus características se describen a continuación:

- Voltaje entrada: 115 Vac.
- Corriente de bus requerida: 180 mA.
- Cantidad de canales de entrada: 16 con separación de potencial individual.
- Direccionamiento: 1 palabra de entrada.
- Separación de potencial: 1.780 Vac por 1 minuto.
- Rango 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.
- Potencia de disipación: 5,5 W máximo.

En la siguiente figura se muestra el esquema de cableado:

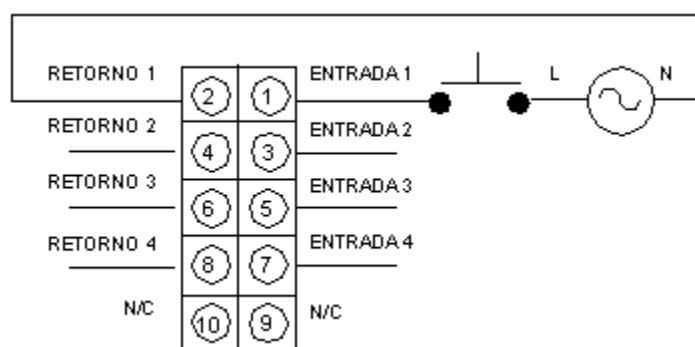


Figura 1. 8: Esquema de cableado.⁶

1.2.3.1.3. Módulo de Salidas de Relé

El módulo de salidas de relé se utiliza para conmutar una fuente de tensión mediante 16 relés con contactos de tipo normal abierto. El módulo utilizado es el 140DRA84000 y sus características son:

- Cantidad de canales: 16.
- Tipo de Relés: Contactos Normalmente Abiertos.
- Voltaje Nominal: 20 a 250 Vac. ; 5 a 30 Vdc a máxima carga.
- Corriente de carga: 2 A máx.
- Corriente de bus requerida: 1100 mA.
- Direccionamiento: 1 palabra de salida.
- Tiempo de Respuesta On-Off: Máximo 20 ms.
- Tiempo de Respuesta Off-On: Máximo 10 ms.
- Protección de contactos: Varistor 275 V (interna).
- Separación de potencial: 1.780 Vac por 1 minuto.
- Potencia de disipación: 5,5 W máximo.

En la siguiente figura se muestra el esquema de cableado y la estructura del relé:

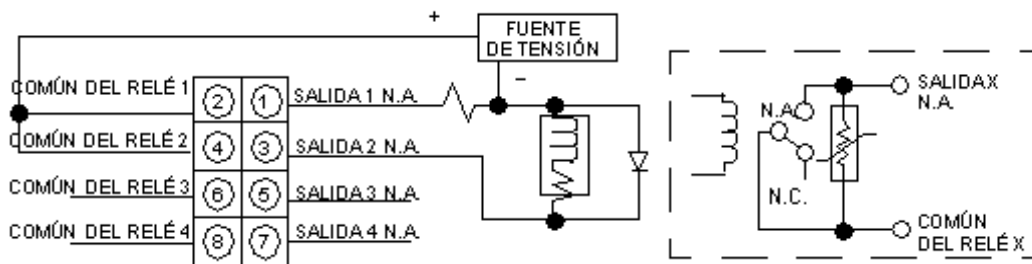


Figura 1. 9: Esquema de cableado y Estructura del Relé.⁶

1.2.3.1.4. Módulo de Alimentación de Energía

Este módulo proporciona alimentación al sistema y le protege del ruido y desbalances de voltaje, sobrecorriente y sobrevoltaje. En caso de una pérdida imprevista de energía, tiene el tiempo adecuado para guardar y apagarse. El módulo usado es el 140CPS11410 y sus características son:

- Voltaje entrada: 125 / 230 Vac.
- Corriente entrada: 1.1 / 0.6 A.
- Frecuencia: 45 a 60 Hz.
- Distorsión armónica total: Inferior al 10% del valor eficaz fundamental.
- Protección externa: Fusible de 2,0 A con retardo.
- Salida de voltaje: 5,1 Vdc.
- Corriente máxima salida: 8 A a 60 °C.

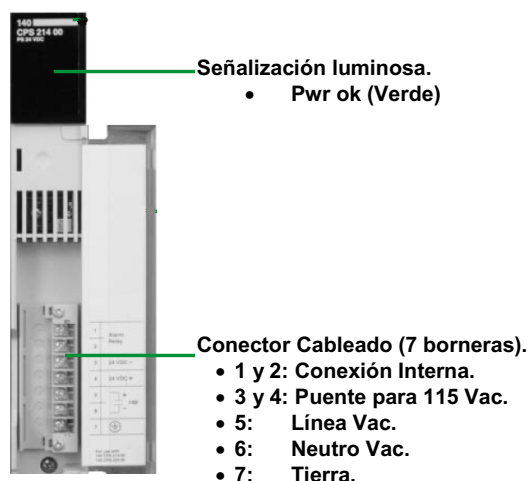


Figura 1. 10: Módulo 140CPS11410

1.2.3.1.5. Módulo de Comunicación Modbus Plus

El módulo de comunicación Modbus Plus permite que un sistema Quantum pueda establecer comunicaciones, dentro de una configuración Modbus Plus con otros equipos que dispongan este tipo de protocolo de comunicación. El módulo utilizado es el 140NOM21100, sus características son:

- 1 puerto (RS-485) de red Modbus Plus (conector 9 pines).
- 1 puerto (RS-232) de red Modbus (conector 9 pines).
- Voltaje entrada: 125/230 Vac.
- Rango de frecuencia: 47 a 63 Hz.
- Corriente bus requerida: 780 mA.
- Disipación de potencia: 4 W.
- Tipo cable: Cable par trenzado.
- I/O: 30 palabras de entrada y 32 palabras de salida.

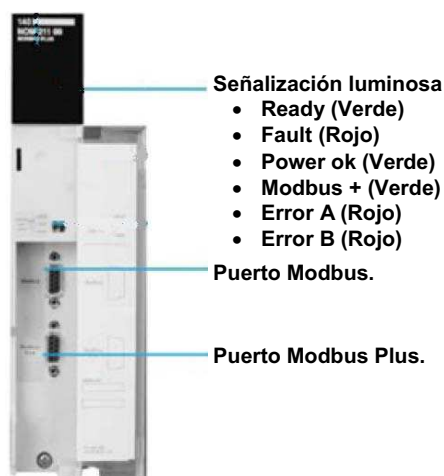


Figura 1. 11: Módulo 140NOM21100.

1.2.3.1.6. Módulo de Red Ethernet

El módulo 140NOE77111 Ethernet TCP/IP permite al usuario acceder a datos desde el autómata mediante el protocolo Modbus/TCP estándar. Cualquier dispositivo, ya sea PC, paquete HMI, otro PLC o un dispositivo que use Modbus/TCP, puede acceder a los datos del PLC. El servidor Modbus/TCP también permite registrar paneles de programación en el autómata mediante Ethernet. Las características se describen a continuación:

- Corriente de bus requerida: 1000 mA.
- Puertos de comunicación: Puerto cable blindado trenzado 10/100Base-T (conector RJ-45); puerto 100Base-FX (conector MT-RJ).
- Software de programación: Concept versión 2.5 o superior o ProWORX NxT versión 2.2 o superior.
- Asignación automática de dirección IP y parámetros de la red.

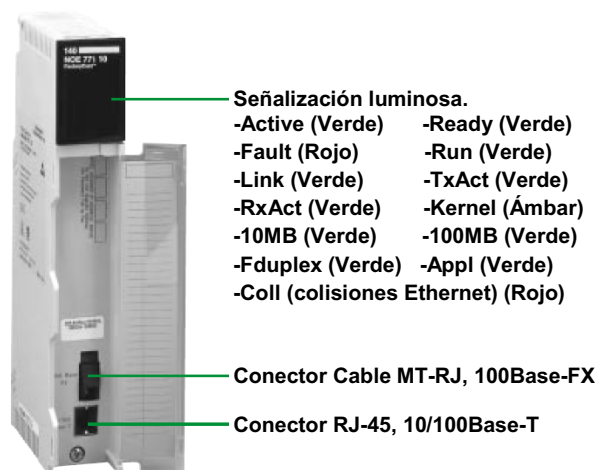


Figura 1. 12: Módulo 140NOE77111

1.2.3.2. PLC Modicon Momentum

Está constituido por un adaptador de procesador, donde reside la fuente de poder y el procesador, y de una base de entradas y salidas.

Para el control de actuadores se utiliza dos tipos de bases, la 170ADM54080 y la 170ARM37030, y un adaptador de procesador 171CCC78010.

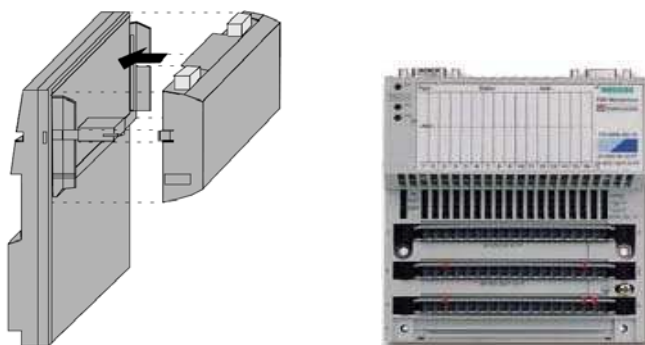
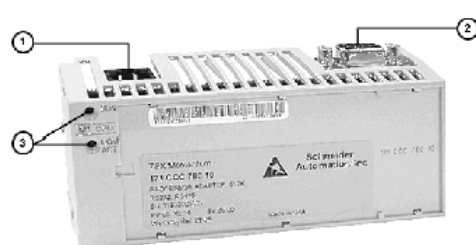


Figura 1. 13: TSX Momentum Base I/O y Adaptador.

1.2.3.2.1. Adaptador de Procesador⁷

El Adaptador de procesador es la CPU donde se guarda y ejecuta un programa de aplicación y se controla los puertos de entrada/salida a través de un bus de comunicación común. El adaptador 171CCC78010 presenta las siguientes características:

- Memoria interna: 512 kbytes.
- Memoria de usuario 18 k palabras.
- Flash RAM: 512 kbytes.
- Velocidad de reloj: 32 MHz.



- **Puertos de comunicación:**
Modbus RS-232 (2)
Modbus RS-485 (1)
- **Indicadores LED (3):**
RUN (Verde) CPU recibe alimentación, resuelve lógica.
COM ACT (Verde) actividad en el puerto Modbus.

Figura 1. 14: Adaptador Procesador 171CCC78010

1.2.3.2.2. Base 170ADM54080⁷

Esta base se la utiliza para el control de actuadores de las válvulas de entrada y salida de tanques, sus características se describen a continuación:

- Tipo de módulo: 6 entradas / 3 salidas, 120 Vac.
- Voltaje operación: 120 Vac.
- Rango frecuencia: 47-63 Hz.
- Corriente: 125 mA.
- 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: 9.600, 19.200 Baudios; Paridad: Par, impar o ninguna.
- Modo/bits de datos: RTU de 8 bits, ASCII de 7 bits.
- Dirección Modbus: 0 a 247

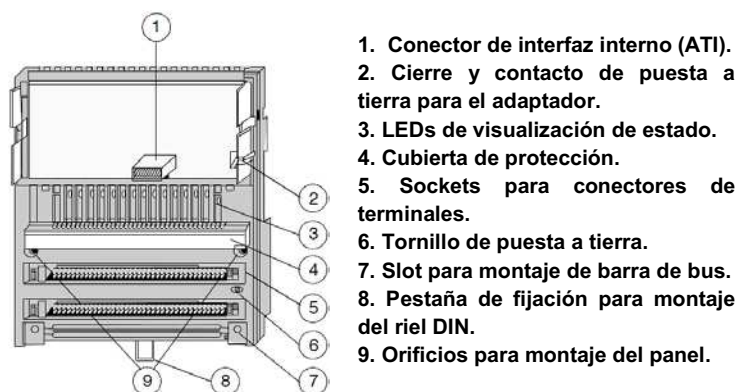


Figura 1. 15: TSX Momentum 170ADM54080

1.2.3.2.3. Base 170ARM37030⁷

Utilizada para el control de actuadores de las válvulas de carga y descarga en el patio de bombas. Sus características se detallan a continuación:

- Tipo de módulo: 24Vdc, 10 entradas binarias en un grupo, 8 salidas de relé como contactos de tipo normal abierto en dos grupos, cuatro puntos/grupo.
- Voltaje activo de entradas: +11 a +30 Vdc.
- Voltaje alimentación: 120 Vac.
- Rango frecuencia: 47-63 Hz.
- Corriente: Máximo 250 mA.
- Tiempo de respuesta de entradas: 2.2ms Off/On, 3.3ms On/Off
- Tiempo de respuesta de salidas: 10ms Off/On o viceversa.

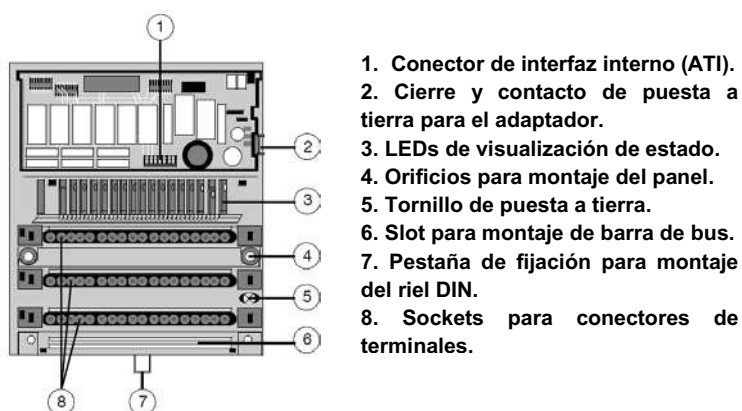


Figura 1. 16: TSX Momentum 170ARM37030

1.2.4. TERMINAL GRÁFICA MAGELIS⁸

La terminal gráfica Magelis controla equipos como motores, variadores de velocidad, sistemas de identificación, entre otros, y ha sido desarrollada para el control, manejo, diagnóstico y ajuste de datos del PLC.

La terminal gráfica XBT G ofrece las siguientes funciones:

- Visualización de sinópticos animados con 8 tipos de animación: pulsación sobre el teclado táctil, cambio de color, llenado, desplazamiento, rotación, tamaño, visibilidad, visualización del valor.
- Control y modificación de variables numéricas o alfanuméricas.
- Visualización de la fecha y la hora actuales.
- Visualización de alarmas, histórico y gestión de grupos de alarmas.
- Gestión de ventanas múltiples.
- Ejecución de páginas a iniciativa del usuario.
- Gestión de la aplicación en varios idiomas.
- Tratamiento de datos a través de scripts en Java.
- Soporte de la aplicación y los históricos en la tarjeta de memoria externa con formato "Compact Flash".
- Gestión de mensajes sonoros.

La terminal Magelis utilizada es la *XBT-G 4330* y se encuentra montada en el cuarto de control de bombas y se conecta al PLC mediante Ethernet 10 Base-T, las características se detallan a continuación:

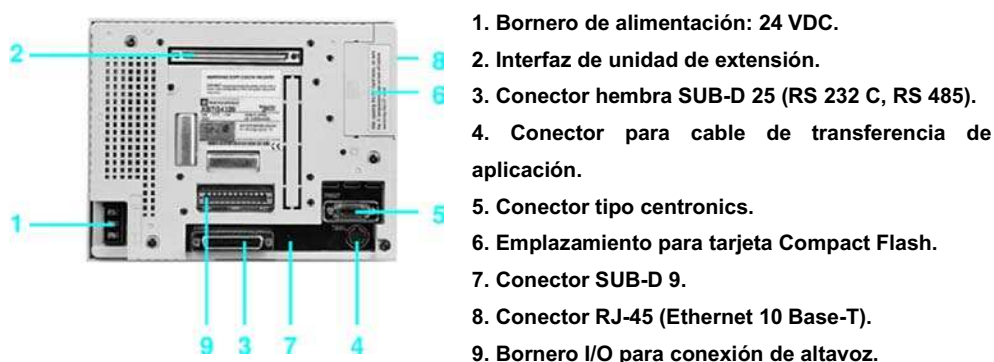


Figura 1. 17: Terminal gráfica Magelis XBT-G 4330. (Vista posterior)

1.2.4.1. Especificaciones *Magelis XBT-G 4330*

- Alimentación: 24 Vdc.
- Consumo: 28 W.
- Temperatura Funcionamiento: 0 - 50 °C.
- Procesador: CPU 100 MHz RISC.
- Memoria: 8 Mb de Flash EPROM, 512 Kb de SRAM.
- Software de configuración: Vijeo Designer (Windows 2000, XP y Vista).
- Señalización: 1 LED, verde en funcionamiento normal, naranja si la retroiluminación es defectuosa.
- Pantalla LCD: Tipo Color TFT (Transistor de Película Delgada), 256 colores
- Resolución: 640 x 480 píxeles (VGA).
- Tamaño (ancho x altura en mm): 7,4" (149,8 x 112,3)
- Zona táctil: Película resistiva 32 x 24 células.

1.2.5. CONTROLADOR ACCULOAD III ⁹

El Smith Meter Accuload III es un instrumento electrónico basado en microprocesadores, que se utiliza para regular el caudal y medir volumen de combustibles despachados. Puede programarse para manejar uno o dos brazos de carga, y también puede ser usado como un instrumento para la mezcla de diferentes productos.

Los parámetros que definen el flujo por cada brazo de carga son programables a través del software *AccuMate IIIX*.



Figura 1. 18: Accuload III

1.2.5.1. Especificaciones Accuload III

- Operación con uno o dos brazos.
- Teclado pequeño de metal encapsulado, protegido contra el ambiente.
- Display de cristal líquido (LCD) con contraluz LED, 240x64 pixeles.
- Entradas/salidas configurables por el usuario.
- Entradas digitales: Cinco de 90 a 280 Vac, seis de 5 a 28 Vdc.
- Salidas digitales: Once de 90 a 280 Vac, tres de 24 Vdc.
- Control para la válvula de bloqueo con un control de lazo cerrado para llenado secuencial.
- Cuatro puertos de comunicación Ethernet 10/100 Base TRJ-45.
- Compensación automática por presión y temperatura así como corrección de densidad.
- Control de flujo automático con recuperación.
- Leguaje y mensajes programables.
- Procesamiento algebraico / booleano.
- Puede operar en modo stand/-alone (sin necesidad de sistemas remotos).
- Auto detección del Hardware instalado.
- Enclaustrada en caja a prueba de explosión.

1.2.6. VÁLVULA DIGITAL ELECTRO-HIDRÁULICA¹⁰

Es una válvula gobernada por dos electroválvulas (solenoides), una normalmente abierta (NO) y una normalmente cerrada (NC), colocadas en la posición río arriba y río abajo, del lazo de control.



Figura 1. 19: Válvula digital Electro-Hidráulica modelo 210.

Energizando los dos solenoides, la presión corriente arriba es bloqueada permitiendo al fluido desahogarse corriente abajo, abriendo la válvula; si están desenergizados la presión río arriba del lazo cierra la válvula. Energizando únicamente la válvula solenoide NO, bloquea al fluido dentro de la tapa de la válvula y mantiene un flujo constante mientras las condiciones de operación no cambian. Si las condiciones de operación cambian el Accuload proporciona las señales adecuadas para ajustar el flujo.

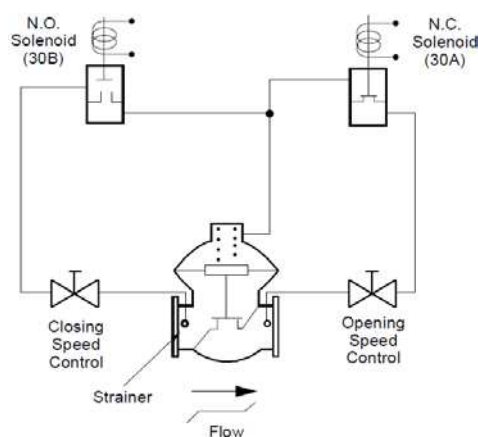


Figura 1. 20: Modelo Esquemático.

1.2.6.1. Especificaciones válvula modelo 210 de Smith Meter

- Voltaje de los solenoides: 120 Vac +0% -15%, 50/60 Hz.
- Viscosidad Máxima: 200 SSU (40 mPa-s).
- Rango Temperatura: -20°F a 150 °F (-29°C a 65 °C).
- Máxima Presión de operación: 115 psig (793 kPa)
- Curva de control simple.
- Curva de control de válvulas de aislamiento.
- Baja caída de presión.
- Control de velocidad de apertura y cierre separado.
- Aplicaciones horizontales o verticales.
- Full rango de control de funciones opcionales.

1.2.7. MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO¹¹

El medidor de desplazamiento positivo contiene un rotor que gira sobre rodamientos de bolitas e incluye álabes distribuidos en forma pareja. Al fluir el

líquido a través del medidor, el rotor y los álabes giran alrededor de una leva fija, haciendo que estos se desplacen hacia afuera.

El movimiento sucesivo de los álabes forma una cámara de medición de volumen exacto entre dos de los álabes, el rotor, la carcasa, y las tapas inferior y superior, el flujo pasa sin perturbaciones durante la medición. El medidor envía hacia el Accuload 200 pulsos por cada galón que ha pasado por él.



Figura 1. 21: Medidor Modelo F4-S1

1.2.7.1. Especificaciones Medidor Desplazamiento.

- Tasa de flujo continua: 600 GPM.
- Tasa de flujo intermitente: 720 GPM.
- Viscosidad máxima: 2000 SSU (400 mPa*s⁴).
- Temperatura: -29°C a 65°C.
- Presión de trabajo máxima: 150 PSI.
- Baja caída de presión.
- Registración positiva y exacta.

1.3. ESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIÓN

Para describir la estructura de la red de comunicación existente, se hará referencia a los protocolos de comunicación y la topología de la red.

1.3.1. 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 el Beaterio 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.

1.3.1.1. Modbus¹²

Es un estándar interno que los controladores Modicon usan para el intercambio de mensajes, pueden comunicarse entre sí y con otros dispositivos sobre una variedad de redes. Las redes son accedidas por medio de puertos incorporados en los controladores o por adaptadores de red, o gateways.

Los dispositivos se comunican usando la técnica maestro-esclavo, en la cual sólo el maestro puede iniciar transacciones. Los esclavos responden suministrando al maestro el dato solicitado, o realizando la acción solicitada en la petición. A esta forma de comunicación se conoce como el ciclo Pregunta–Respuesta.

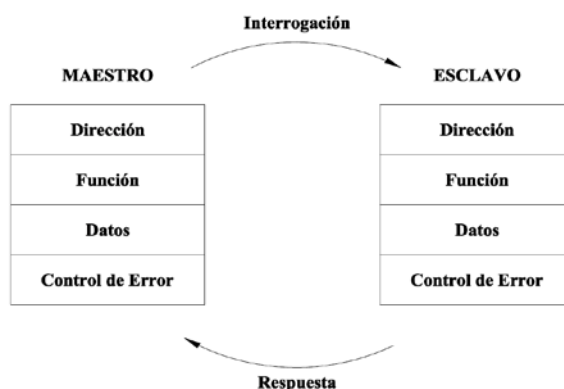


Figura 1. 22: Estructura lógica MODBUS

Los puentes Modbus usan una interface de comunicación RS-232C que define los pines del conector, cableado, los niveles de la señal, la velocidad de transmisión y chequeo de paridad. Los controladores se comunican usando la técnica de par-a-par, en la que cualquier controlador puede comenzar las transacciones con otros controladores del mismo nivel.

1.3.1.2. Modbus Plus¹²

Es un sistema de red de área local diseñado para aplicaciones de mando y supervisión industriales. Mantiene el protocolo de comunicación par-a-par en los diferentes niveles de la red.

La red permite módulos de comunicación I/O distribuidos (DIO), en los que los controladores se comunican directamente con los subsistemas I/O.

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.

Hasta 32 dispositivos pueden conectarse directamente en el bus de red, que pueden extenderse hasta 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.

1.3.1.3. Ethernet¹³

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local, con acceso al medio por contienda CSMA/CD. ("Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones"); es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones con velocidad de transmisión de 100 Mbps para una distancia máxima de 100m con cable UTP. La red utilizada es la tecnología de fastethernet 100BASE-TX.

1.3.2. TOPOLOGIA DE LA RED

El término topología se refiere a la forma en que está diseñada la red, bien físicamente rigiéndose de algunas características en su hardware, o bien lógicamente basándose en las características internas de su software.

La red utilizada en la Terminal está formada por una topología mixta, de la siguiente forma:

Una topología en estrella a través de Ethernet en el nivel de gestión, en la cual un switch interconecta varias PC's ubicadas en el cuarto de control, que registran la operación del proceso de despacho de las diferentes islas de carga.

Una topología de bus en los niveles de campo y control, en la cual se interconectan PLC's y variadores a través de Modbus Plus, y actuadores con PLC's Momentum a través de Modbus.

1.3.2.1. Topología en Estrella¹⁴

Es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de éste. Los dispositivos no están directamente conectados entre sí, además no permite tanto tráfico de información. Dada su transmisión, una red en estrella tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas relacionados con el eco.

Se utiliza sobre todo para redes locales, la mayoría de las redes de área local que tienen un router, un switch o un concentrador siguen esta topología.

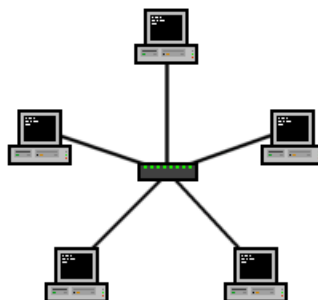


Figura 1. 23: Red en topología de estrella.

1.3.2.2. Topología en Bus¹⁵

Se caracteriza por tener un único canal de comunicaciones denominado bus, troncal o backbone, al cual se conectan los diferentes dispositivos. De esta forma todos los dispositivos comparten el mismo canal para comunicarse entre sí.

Una topología de bus es multipunto. Un cable largo actúa como una red troncal que conecta todos los dispositivos en la red. Los nodos se conectan al bus mediante cables de conexión y sondas. Un cable de conexión va desde el dispositivo al cable principal. Una sonda es un conector que, se conecta al cable principal, o se pincha en el cable para crear un contacto con el núcleo metálico.



Figura 1. 24: Red en topología de bus.

En los planos 1 y 2 correspondientes a los Diagramas de Red del Anexo II, se muestra la estructura de la red implementada, indicando el tipo de topología y los protocolos de comunicación, así como también las direcciones y nombres de los equipos que intervienen en el proceso.

1.4. PRINCIPALES INCONVENIENTES DEL ACTUAL SISTEMA

Tomando como ejemplo el sistema de despacho de Diesel 2, éste se origina a partir de tres tanques de almacenamiento de combustible, el flujo requerido por los cinco brazos de carga se obtiene mediante tres electro-bombas, cuyos motores eléctricos, con arranque directo, son controlados por el PLC Quantum.

El accionamiento de las bombas se realiza en correspondencia al número de brazo de carga en uso, de acuerdo a la siguiente tabla:

# Brazos en uso	# Bombas accionadas
1	1
2	1
3	2
4	2
5	3

Tabla 1. 4: Número de bombas en función del número de brazos de carga.

Como se puede observar, cuando 1, 3 o 5 brazos de carga están en uso, el caudal suministrado por los grupos de bombeo estaría en exceso, lo que origina pérdidas de energía, incrementos de presión en el sistema y, consecuentemente, golpes de ariete más fuertes cuando el despacho en algún brazo de carga termina.

Otro inconveniente que se presenta es debido al arranque directo de los grupos de bombeo, ya que al no disponer de un sistema de arranque y parada suave, se producen golpes de ariete de mayor magnitud, que generalmente es la causa principal del deterioro de juntas de dilatación, válvulas y otros accesorios.

Adicionalmente, y debido a que el funcionamiento de las bombas también obedece a su condición de “principal” (la que entra primero), lo cual es

determinado a criterio del operador, no se tiene un control sobre el tiempo de operación de cada grupo, que permita planificar de mejor manera el mantenimiento, lo que podría ocasionar un desgaste prematuro del grupo de bombeo con mayor frecuencia de operación.

1.5. SOLUCION PROPUESTA

A fin de solucionar los inconvenientes antes mencionados, la Dirección Técnica del Terminal El Beaterio, plantea las siguientes modificaciones al sistema de bombeo:

- Regular el caudal de los grupos de bombeo en función de la necesidad de despacho, utilizando accionamientos de velocidad variable.
- Realizar el arranque y parada de los grupos de bombeo de manera gradual y controlada.
- Instalar contactores de “bypass” para el arranque directo de las bombas y para eventuales fallas de los variadores de velocidad.
- Distribuir equitativamente los tiempos de operación de los grupos, para ejecutar un plan de mantenimiento adecuado.

1.6. OBJETIVO DEL PROYECTO Y TRABAJOS A EJECUTAR

Con base a la propuesta descrita en el numeral anterior, el objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar el sistema de control, para regular el caudal en los brazos de carga de combustible Diesel 2 y Diesel Premium del Terminal Beaterio.

Para cumplir con este objetivo y llevar a la práctica la solución propuesta, se ha planificado ejecutar, entre otros, los siguientes trabajos:

- Reconfigurar el sistema de fuerza de los grupos de bombeo, incorporando accionamientos de velocidad variable.
- Instalar un transmisor de presión, cuya medición constituirá el parámetro principal para ajustar la velocidad de los grupos de bombeo.

- Diseñar la lógica de control que satisfaga los nuevos requerimientos de operación de los grupos de bombeo.
- Reprogramar el PLC Modicon Quantum
- Reconfigurar la HMI de la sala de control
- Reconfigurar la Interfaz de Operador “Magelis”
- Realizar pruebas del nuevo sistema y ponerlo en producción.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA

Para el diseño del sistema, se ha tomado en consideración la propuesta descrita al final del capítulo 1 y la nueva funcionalidad requerida para el sistema de control de los grupos de bombeo, que fue establecida en coordinación con el personal técnico del Terminal Beaterio. Como paso previo, fue necesario recopilar datos sobre caudal en los brazos de carga, tiempos de operación de bombas, estado de componentes y disponibilidad de equipos e instrumentos a ser instalados.

2.1. ESQUEMA GENERAL DE LA RED DE CONTROL Y GRUPOS DE BOMBEO

En la figura 2.1 y en forma de bloques, se presenta el nuevo esquema de la red de control y de los grupos de bombeo, en el que se han incorporado dos variadores de velocidad y un transmisor de presión, con base a los cuales y a la reprogramación del PLC, se regulará el caudal de suministro hacia las islas de carga.

En este esquema:

- El PLC controla toda la operación de los grupos de bombeo.
- La HMI ubicada en la sala de control y la Interfaz de Operador tipo Touch Screen ubicada en el centro de control de motores, además de permitir la visualización y monitoreo del proceso, facilitan la modificación de parámetros de control en el PLC.
- El transmisor de presión envía datos sobre la presión en la línea de descarga al PLC.
- Los variadores de velocidad reciben la señal de control del PLC para regular la velocidad y flujo de los grupos de bombeo.
- La transferencia de datos entre los distintos componentes del sistema se realiza a través de las redes Ethernet y Modbus Plus.

- El montaje de las tres bombas, en forma paralela, se mantiene como estaba anteriormente, a diferencia de sus accionamientos eléctricos.

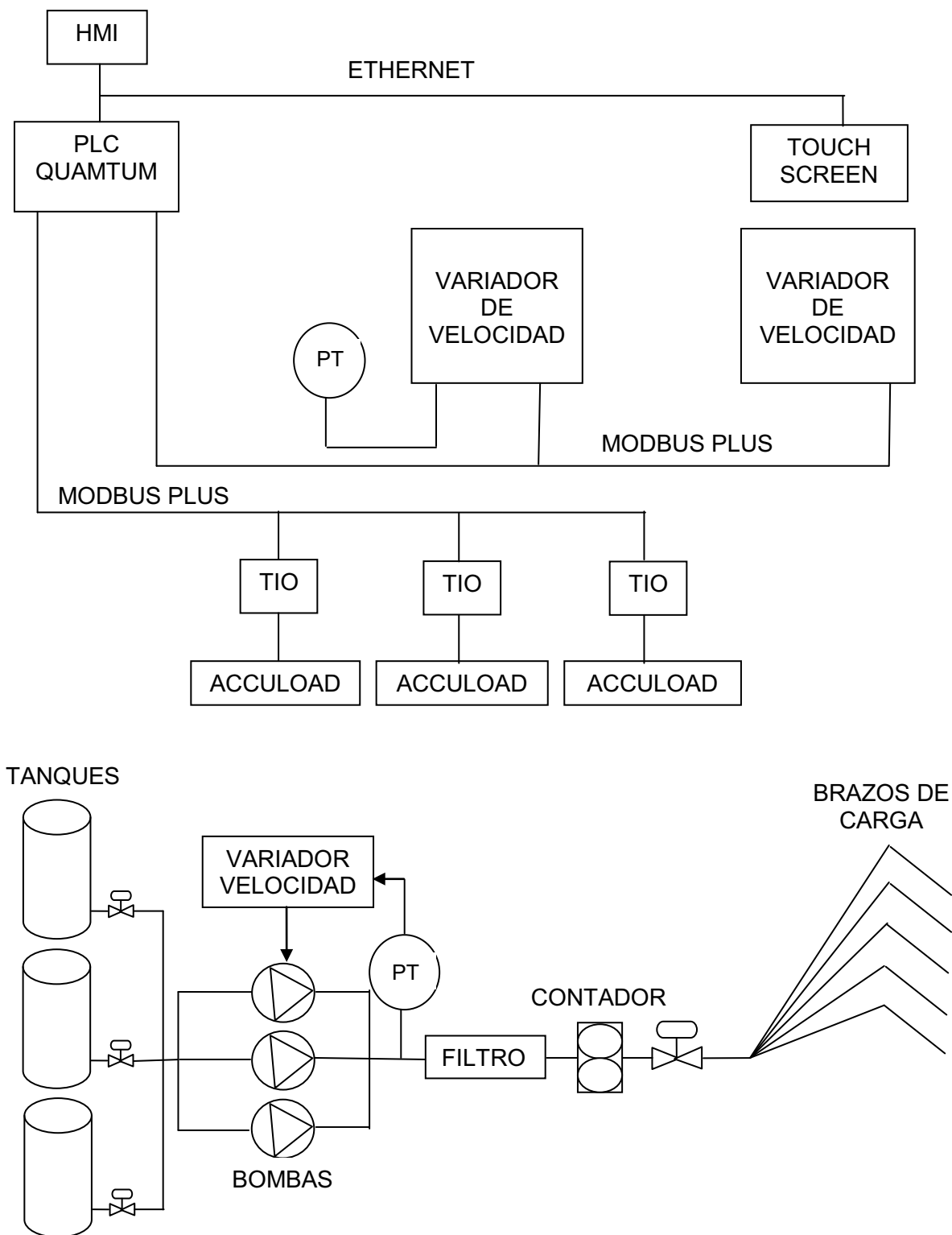


Figura 2. 1: Esquema de la nueva red de control y grupos de bombeo.

2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO PRINCIPAL

En el nuevo sistema de fuerza se han instalado dos variadores de velocidad, existentes en la empresa, para accionar las electrobombas correspondientes al despacho de Diesel 2, contándose entonces con 3 grupos de bombeo que abastecen combustible a 5 brazos de carga y únicamente 2 variadores de velocidad; con base a lo cual se decidió configurar el nuevo sistema de la siguiente forma:

- Un variador de velocidad accionará a la bomba denominada bomba 15.
- El segundo variador accionará la bomba 13 o 14 de manera alternativa; configurando a una de ellas como principal o auxiliar 1 con caudal variable y de acuerdo al requerimiento de despacho (accionada por el variador), y la otra como auxiliar 2 a pleno caudal (con arranque directo). La condición de principal o auxiliares de estas bombas se cambiará de manera periódica.
- Se incluyen contactores de “bypass”, para el arranque directo de las bombas y para el caso de eventuales fallas en los variadores de velocidad.

Para el despacho de Diesel Premium, el circuito de fuerza se mantiene como antes, ya que no hubo disponibilidad económica en la empresa para la adquisición de otros variadores de velocidad. En este caso, existen 3 contactores para el arranque directo de las 3 electrobombas, que serán controlados de manera secuencial por el PLC y de acuerdo al número de brazos de carga en actividad.

En la figura 2.2 se muestra el diagrama eléctrico unifilar del circuito de fuerza correspondiente al despacho de Diesel 2. En el plano 3 del Anexo 1, se muestra el diagrama eléctrico principal en forma multifilar.

En este circuito se tienen:

- Dos contactores (MC1 y MC2) para el accionamiento de las bombas 13 o 14 mediante el variador de frecuencia (BFC-4A).
- Dos contactores (BSM13 y BSM14) de “bypass”, para el arranque directo de las bombas 13 o 14.

- Un contactor (MC3) para el accionamiento de la bomba 15 mediante el variador de frecuencia (BFC-3A).
- Un contactor (BSM15) de “bypass” para el arranque directo de la bomba 15.
- Elementos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

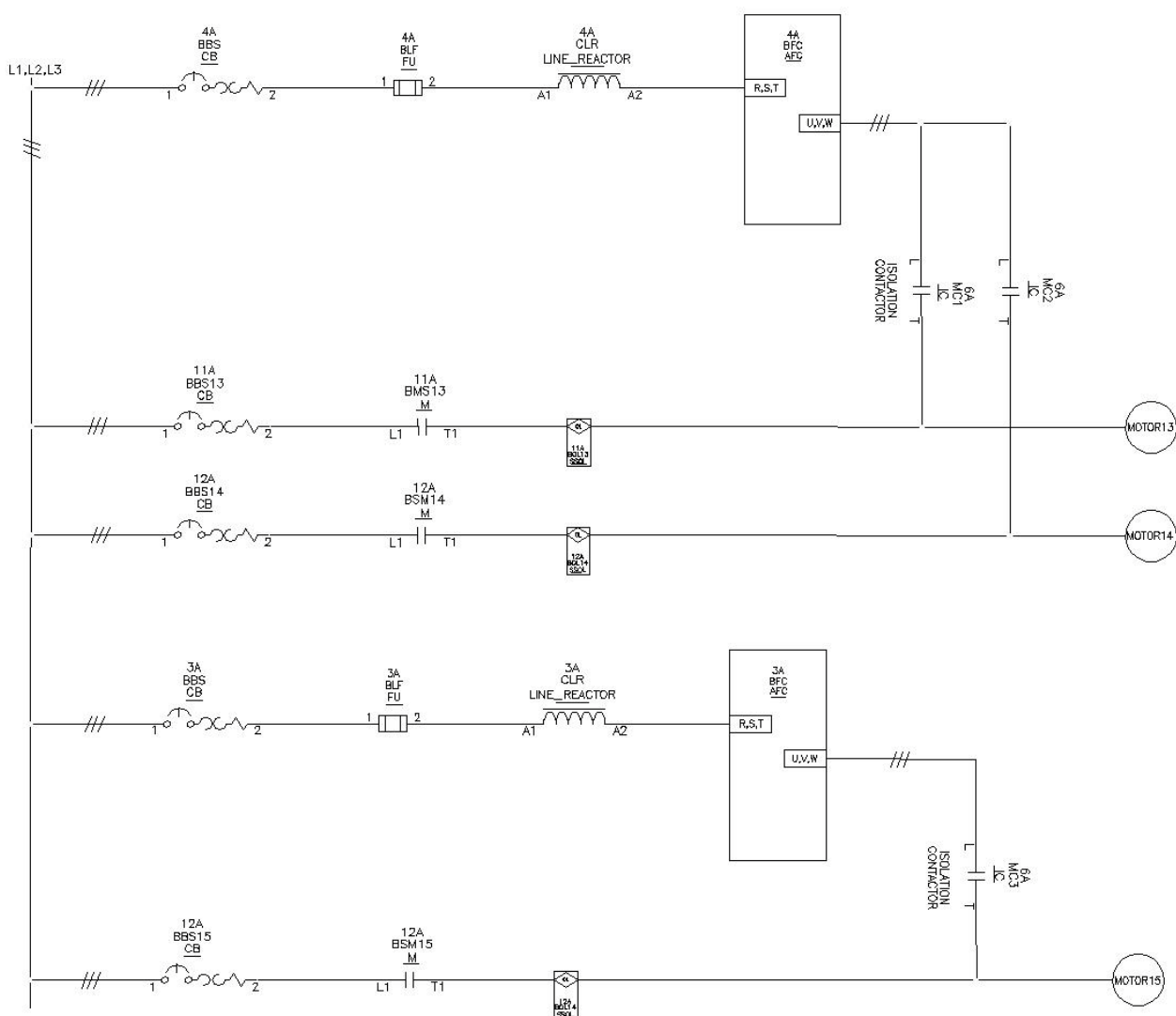


Figura 2. 2: Diagrama eléctrico unifilar.

Los contactores ubicados a la salida de los variadores no deben desconectarse mientras estos estén energizados, ya que el sobrevoltaje transitorio de desconexión podría dañar los elementos electrónicos de potencia. Para garantizar esto, en el circuito de control se debe prever los interbloques correspondientes.

2.2.1. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INCORPORADOS

Para la selección de los equipos que se incorporaron al nuevo sistema, se consideraron las siguientes especificaciones:

2.2.1.1. Variadores de Velocidad

- Tipo de motor: Trifásico de inducción rotor jaula de ardilla
- Potencia nominal del motor: 25 HP.
- Corriente nominal del motor: 29.9 A.
- Voltaje nominal del motor: 460 Vac, 60 Hz.
- Factor de servicio de motor: 1.15.
- Voltaje de entrada: 460 Vac, 60 Hz.
- Voltaje de salida: 0 - Un.
- Rango de frecuencia de salida: 0 - 60 Hz, ajustable.
- Ajuste de frecuencia: local y remoto.
- Tiempo de aceleración y desaceleración: 1 - 60 segundos, ajustables.
- Temperatura ambiente de 8°C a 30°C.
- Canal de Comunicación: Modbus Plus.
- Entradas digitales: Mínimo dos.
- Entradas análogas: Mínimo una.

2.2.1.2. Contactor Electromagnético

- Tipo de corriente: Corriente alterna, 60 Hz.
- Voltaje de operación entre polos (Ue): Mayor o igual a 460 Vac.
- Número de polos: 3
- Corriente nominal de operación (Ie): 30 A, categoría de empleo AC-3.
- Clase de servicio: Intermitente.
- Voltaje bobina (Uc): 460 Vac, 60 Hz.
- Contactos auxiliares: 2 normalmente cerrados y 2 normalmente abiertos.

2.2.1.3. Transmisor de Presión

- Rango de Medición: 0 a 150 PSI.
- Alimentación: Mínimo 9 Vdc.
- Señal salida: 4 a 20 mA.
- Clase 1 División 2 (Líquidos o gases volátiles inflamables).

2.3. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Para satisfacer los nuevos requerimientos de operación de los grupos de bombeo, el nuevo circuito de control está modificado sustantivamente respecto al anterior, debiéndose destacar los siguientes aspectos:

- El control de 3 contactores adicionales, con los correspondientes relés de interposición, ubicados entre las salidas del PLC y las bobinas de estos contactores.
- Para el accionamiento de las bombas mediante variador de velocidad o por arranque directo, se deben cumplir las siguientes condiciones:
 - El contactor de salida del variador y el de arranque directo no deben funcionar al mismo tiempo.
 - El contactor de salida del variador debe poder activarse solamente si el variador está energizado y listo para arrancar. De igual forma, este contactor solamente podrá desactivarse si el variador está desactivado.
- Para cumplir con las condiciones antes descritas, tanto en el modo de operación Manual y Automático, se requirió agregar al circuito de control lo siguiente:
 - Un selector de dos posiciones y un polo;
 - Dos pulsadores de marcha y paro;
 - Cuatro entradas adicionales en el PLC, dos por cada variador.
 - Las entradas digitales de los variadores;

- Bloqueos físicos entre los contactores que no deben funcionar simultáneamente; y,
- Luces piloto para indicar el estado de los variadores, operativo o en falla.

En los planos 4 y 5 del Anexo I, se muestran los circuitos de control con todas las modificaciones realizadas; y en plano 6 del mismo anexo, el diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC.

2.4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE.

Este acápite hace referencia a dos aspectos importantes que son:

- El desarrollo de subrutinas y algoritmos de control que deben ser programados en el PLC Quantum, a fin de que los dispositivos de potencia actúen de acuerdo a la lógica y operación requeridas; y,
- La reconfiguración de la Interface Humano Máquina – HMI, ubicada en la sala de control, y de la Interfaz de Operador “Magelis”, para permitir el monitoreo y ciertas acciones de control sobre el nuevo sistema.

Los paquetes de software que se utilizarán para este propósito son:

- Concept 2.6 XL, para la programación del PLC.
- Intouch v.9.0 de Wonderware, para la reconfiguración de la HMI.
- Vijeo-Designer, para la reconfiguración de la Interfaz de Operador Magelis.

2.4.1. PROGRAMACIÓN DEL PLC QUANTUM

Para lograr una mayor comprensión y facilitar futuras modificaciones, el nuevo programa desarrollado en el PLC está estructurado por varias secciones de programa o subrutinas, interrelacionadas entre sí, en las cuales se ejecuta una

parte de lógica de control en función del algoritmo programado y del estado de las variables, que son globales para todo el sistema.

Las subrutinas que forman parte de la estructura del programa son:

- Subrutina “Programa Principal”
- Subrutina “Datos HMI”
- Subrutina “Lectura de Entradas y Salidas”
- Subrutina “Accionamiento de Bombas”
- Subrutina “Secuencia de Operación de Bombas”
- Subrutina “Control de Velocidad”

Previo a la edición del programa del PLC, se procedió a renombrar y redireccionar cada una de las variables a fin facilitar su utilización, tal como se muestra, como ejemplo, en la tabla 2.2.

Una información más detallada sobre los cambios realizados en variables y registros de memoria se encuentra en el Anexo III.

Tipo de Variables	Dirección	Nombre
Entradas	100012	I_0012
Salidas	000012	O_0012
Registros de lectura	400144	RR_0144
Registros de lectura/escritura	401221	RWR_1221
Marcas	000892	M_0744

Tabla 2. 1: Ejemplo de designación de variables.

A continuación, se procede a explicar la función de cada subrutina y representar sus algoritmos de control mediante diagramas de flujo.

2.4.1.1. Subrutina Programa Principal

Desde esta subrutina se invoca a las otras subrutinas y se realiza la declaración de variables globales. En la figura 2.3, se muestra el diagrama de flujo correspondiente.

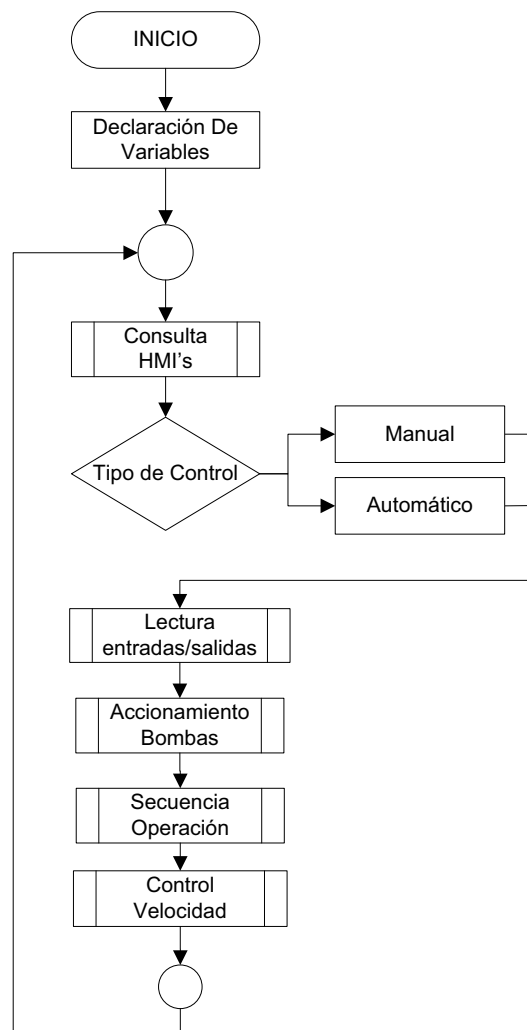


Figura 2. 3: Subrutina Programa Principal

2.4.1.2. Subrutina Datos HMI

En esta subrutina, mediante el selector (local/remoto) se habilita o no, el envío de información desde las HMI al PLC.

Cuando el selector está en la opción Remoto, desde la HMI se envía al PLC la siguiente información:

- Bomba o motor en mantenimiento.
- Disponibilidad de bombas (disponible o fuera).
- Reset de alarmas (No activa contactor bomba).
- On/Off actuadores en bypass.

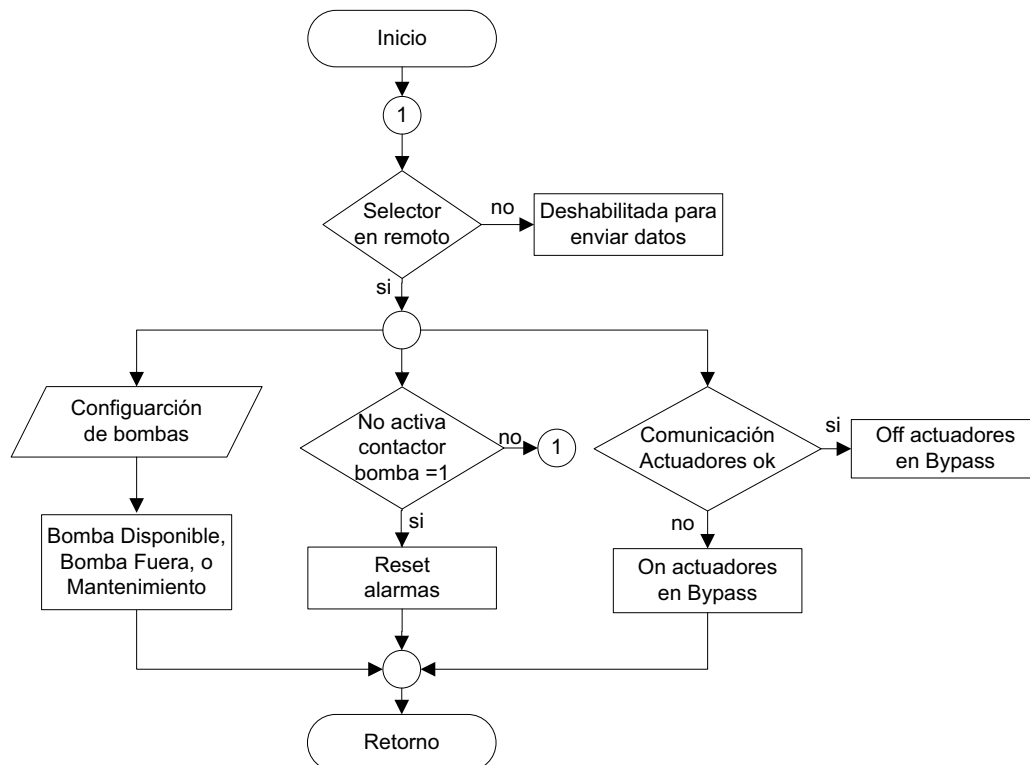


Figura 2. 4: Subrutina Datos HMI

2.4.1.3. Subrutina Lectura de Entrada y Salidas.

Esta subrutina permite leer y registrar las señales y datos que llegan al PLC desde diferentes fuentes que son:

- Entradas y salidas físicas cableadas directamente al PLC, que corresponden a selectores de mando, contactos auxiliares de contactor y a relés encargados de activar o desactivar los contactores de aislamiento.
- Datos enviados por el variador a través de la red Modbus Plus, tales como: potencia, voltaje, corriente y velocidad del motor, presión medida en el transmisor y señales de estado del variador.
- Señales digitales enviadas por el Accuload III a través de la red Modbus Plus, que dan cuenta del estado de la comunicación con los brazos de carga y el número de brazos en uso.

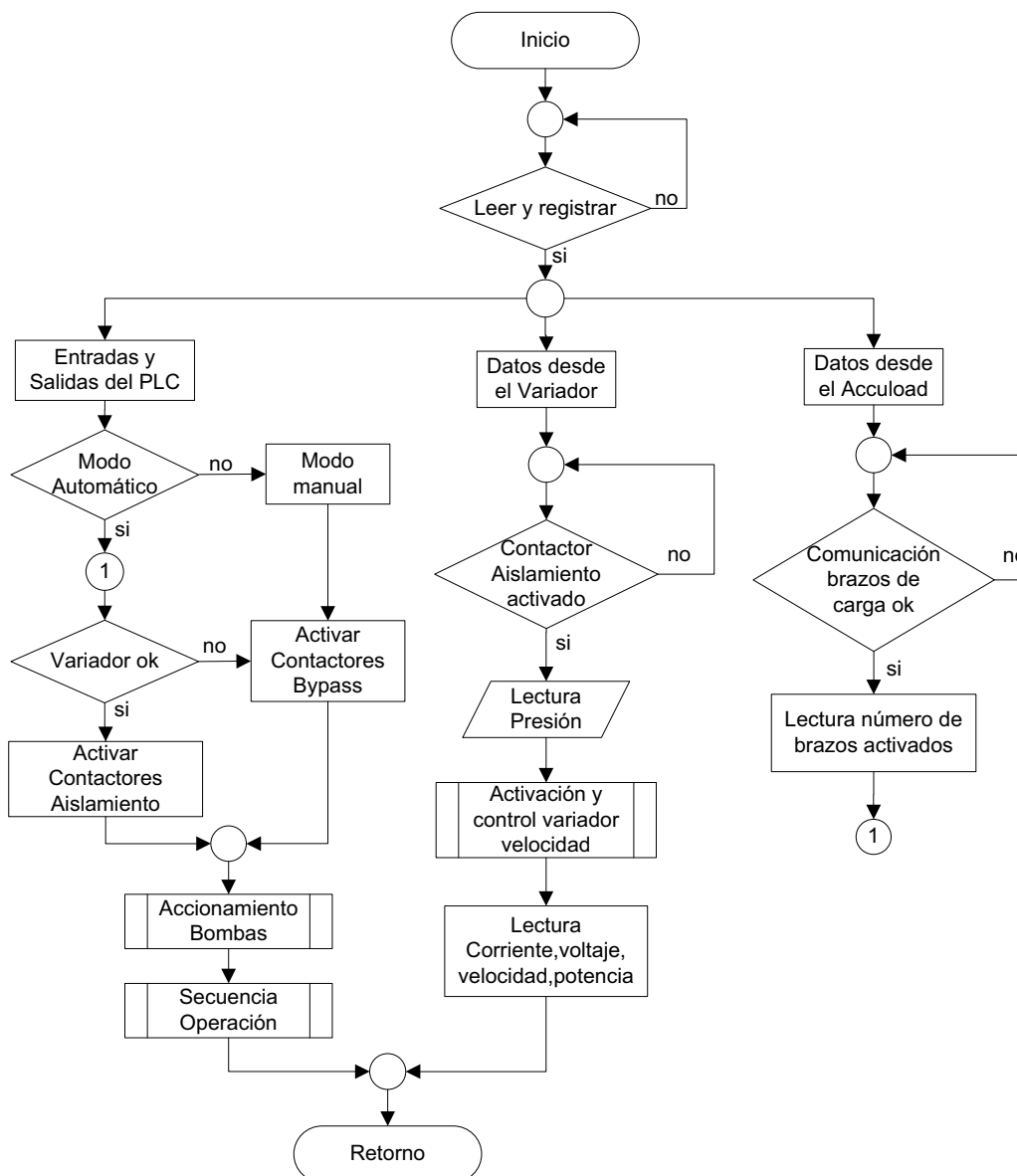


Figura 2. 5: Subrutina Lectura de Entradas y Salidas.

2.4.1.4. Subrutina Accionamiento de Bombas

La subrutina del accionamiento de bombas, permite el funcionamiento de las bombas ya sea como principal o auxiliar, siempre que éstas se encuentren disponibles, accionándolas mediante el variador de velocidad o en arranque directo. Para esto se toma en cuenta algunas consideraciones como:

- Por lo menos una válvula de entrada debe estar abierta.
- La bomba o motor respectivo no debe estar en mantenimiento.
- El sistema no debe estar en emergencia.
- El relé térmico de sobrecarga debe estar en condiciones normales.

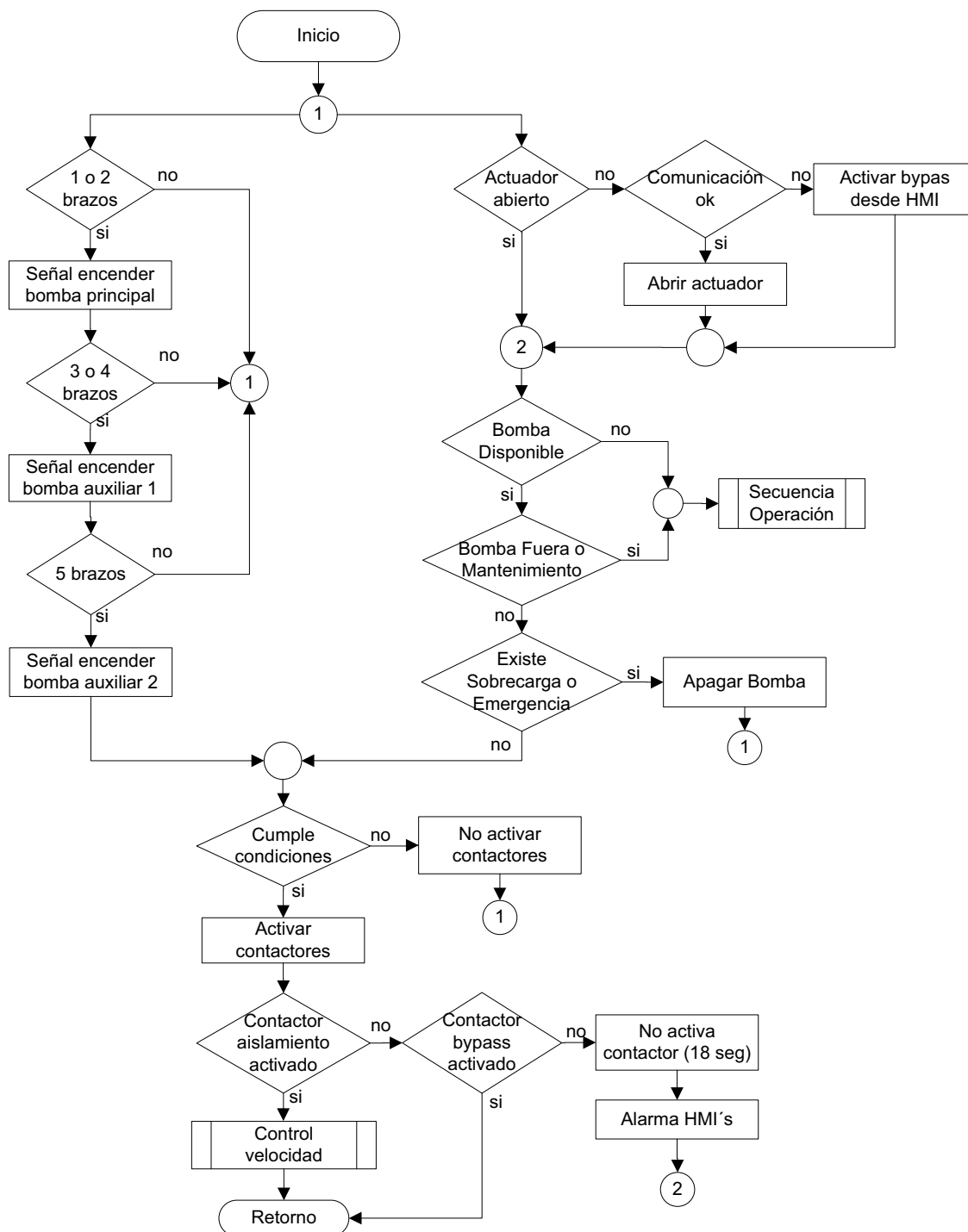


Figura 2. 6: Subrutina Accionamiento de Bombas.

En caso de fallar la comunicación entre el PLC Quantum y los PLC Momentum, encargados del control de actuadores de válvulas, se debe activar desde la HMI el modo bypass.

Una vez cumplidas todas las condiciones se realiza el control, ya sea por arranque directo o con variador de velocidad, para lo cual el número de brazos de

carga activados determinan el número de bombas que deberán operar; previamente deberán estar seleccionadas como principal o auxiliar.

2.4.1.5. Subrutina Secuencia de Operación de Bombas

Luego de emitirse la orden de activar bombas, esta subrutina elige una secuencia de operación en base al tiempo previo de funcionamiento de cada bomba, con el fin de equilibrar el trabajo de las mismas. Las secuencias programadas se indican en la siguiente tabla:

# Secuencia	Principal	Auxiliar 1	Auxiliar 2
1	13	15	14
2	14	15	13
3	15	13	14
4	14	15	13
5	13	15	14
6	15	14	13

Tabla 2. 2: Secuencias de Operaciones

La tabla anterior fue programada considerando un uso diario de 7 horas para la bomba principal, 4 para la auxiliar 1, y 1 hora para la auxiliar 2; con lo que al repetirse el ciclo de las seis secuencias se obtiene un tiempo de funcionamiento equilibrado.

Además se contabiliza el tiempo de operación de cada bomba, para que aproximadamente cada 18 horas para la bomba 15 y 25 horas para las bombas 13 y 14, se realice un cambio de secuencia, siempre que las bombas estén apagadas. La bomba 15 realiza el cambio cada 18 horas debido a que nunca llega a ser auxiliar 2 por tener el variador independiente.

Si alguna bomba o el variador no están disponibles o se encuentran en falla, existe un salto hacia la secuencia que cumpla con las condiciones presentes, considerando que al menos una bomba debe estar disponible, que asumirá el rol de principal. De manera similar cuando falla un variador, el que se encuentre en correcto funcionamiento debe actuar como principal con su respectiva bomba. Las

bombas que comparten el mismo variador no pueden ser principal y auxiliar 1 simultáneamente.

Para contabilizar el tiempo se utiliza la función sysclock ajustada a 0.3125 Hz de frecuencia, con lo que cada 1125 pulsos se tiene una hora.

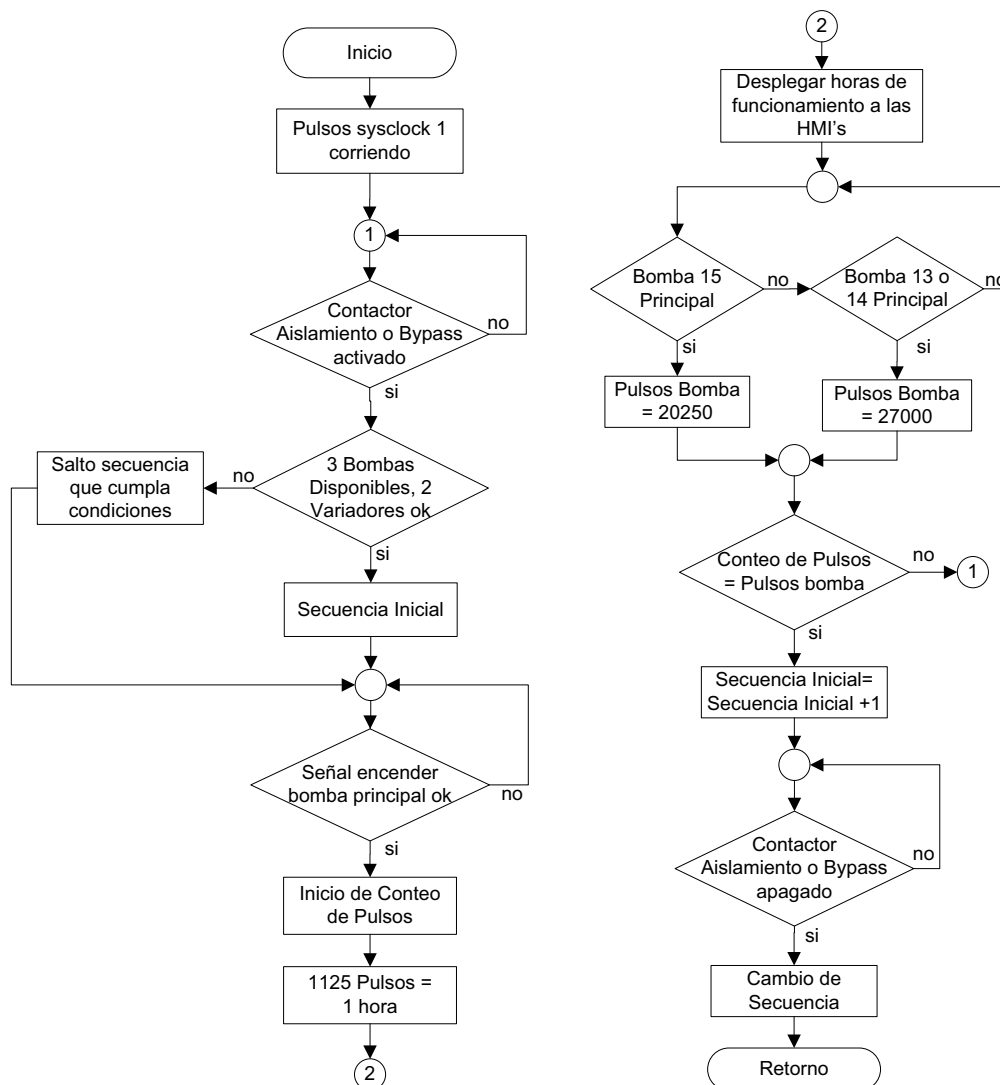


Figura 2. 7: Subrutina Secuencia de Operación de Bombas

2.4.1.6. Subrutina Control de Velocidad

En esta subrutina están programados los algoritmos de control para los variadores de velocidad.

Para el control de la velocidad del variador se utiliza, como elemento sensor, un transmisor de presión calibrado de 0 a 150 PSI, conectado a una entrada

analógica del mismo y a través de la red Modbus Plus se envía el dato al PLC, de 4000 a 20000, proporcionales a la señal de 4 a 20 mA.

Si el dato que recibe el PLC es mayor a 4000 esta subrutina realiza el control de velocidad mediante dos reguladores PI.

Los parámetros de entrada del regulador PI del variador que acciona la bomba principal son:

- PV: El valor de la presión entregada por el transmisor, escalada de 4000 a 20000.
- Set Point: Variable según el número de brazos de carga activados, como se indica en la tabla 2.4

# brazos	Set Point
0	0
1	8990
2	9200
3	9330
4	8990
5	8900

Tabla 2. 3: Set point según número de brazos.

Los parámetros del regulador PI del variador que acciona la bomba auxiliar son:

- PV: Corriente de carga del motor de la bomba principal.
- Set Point: Corriente de carga del motor de la bomba auxiliar.

Cuando el variador en el cual está instalado el transmisor esté apagado, o de una lectura menor a 4000, la velocidad se la obtiene según el número de brazos activados, de acuerdo a la siguiente tabla:

# brazos	Velocidad (rpm)
0	0
1	1400
2	1750
3	1650
4	1750
5	1650

Tabla 2. 4: Velocidad según número de brazos.

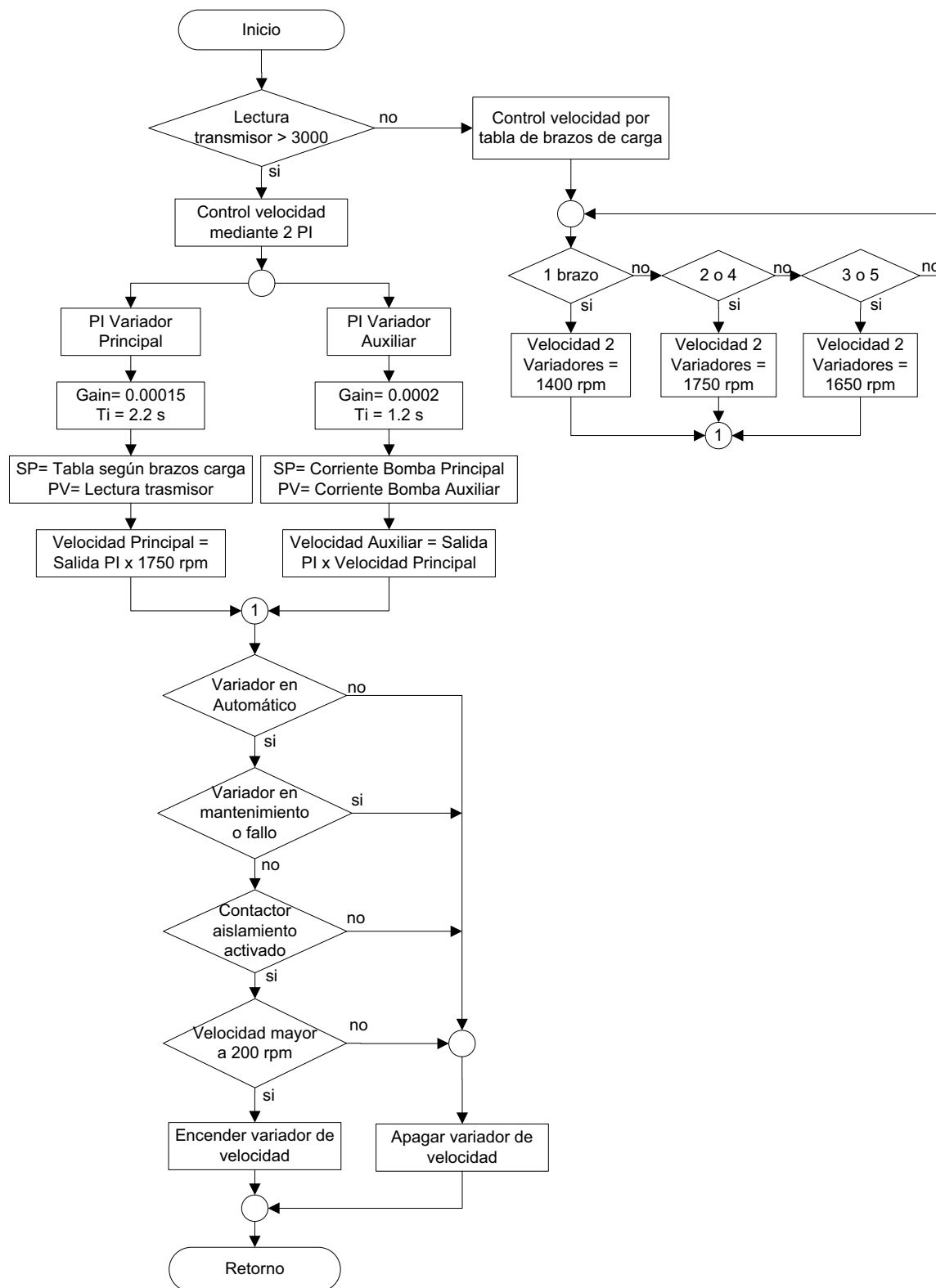


Figura 2. 8: Subrutina Control de Velocidad.

En el Anexo IV se muestra el programa completo de todas las subrutinas de control del PLC Quantum, realizado en el software Concept 2.6.

2.4.2. RECONFIGURACIÓN DE LA HMI E INTERFAZ DE OPERADOR

Como se mencionó anteriormente, en el Terminal Beaterio se tiene una Interface Humano Máquina (HMI) desarrollada con base al software Intouch de Wonderware, y una Interfaz de Operador (Touch Screen Magelis) implementada con base a su propio software, Vijeo-Designer.

Estas interfaces requieren ser reconfiguradas en correspondencia a los cambios realizados en el sistema de bombeo.

2.4.2.1. Reconfiguración de la HMI en Intouch

2.4.2.1.1. Pantalla de Configuración de Bombas

La modificación de esta pantalla fue realizada con el propósito de cambiar la forma de selección de las bombas (principal, auxiliar 1 o auxiliar 2), para visualizar las horas acumuladas de operación de cada bomba. En este nuevo esquema, el operador llena determinados campos para indicar qué bombas están disponibles o fuera de servicio, y el sistema automáticamente determina el orden de operación de las bombas.

TIEMPO DE OPERACION		Motor	Fecha	
MOTOR 1	484			0.00.00
BOMBA 1	329			0.00.00
MOTOR 2	110			0.00.00
BOMBA 2	110			0.00.00
MOTOR 3	440			0.00.00
BOMBA 3	440			0.00.00
MOTOR 4	333			0.00.00
BOMBA 4	333			0.00.00
MOTOR 5	44			0.00.00
BOMBA 5	44			0.00.00
MOTOR 6	77			0.00.00
BOMBA 6	77			0.00.00
MOTOR 7	77			0.00.00
BOMBA 7	77			0.00.00
MOTOR 8	77			0.00.00
BOMBA 8	77			0.00.00
MOTOR 9	77			0.00.00
BOMBA 9	77			0.00.00
MOTOR 10	77			0.00.00
BOMBA 10	77			0.00.00
MOTOR 11	77			0.00.00
BOMBA 11	77			0.00.00
MOTOR 12	77			0.00.00
BOMBA 12	77			0.00.00
MOTOR 13	77			0.00.00
BOMBA 13	77			0.00.00
MOTOR 14	77			0.00.00
BOMBA 14	77			0.00.00
MOTOR 15	77			0.00.00
BOMBA 15	77			0.00.00

Figura 2. 9: Pantalla de Configuración de Bombas

2.4.2.1.2. Pantalla de Operación Diesel 2

En esta pantalla (figura 2.10), se despliega el diagrama de proceso del despacho de Diesel 2, donde cada elemento virtual (bomba, válvula y tuberías) cambia dinámicamente en la pantalla en correspondencia al estado actual de los elementos reales. Además se despliega información, textual y numérica, referente al estado de bombas, válvulas, tanques de almacenamiento, variadores de velocidad; y en la parte inferior sobre la condición de operación de las bombas (principal o auxiliar).

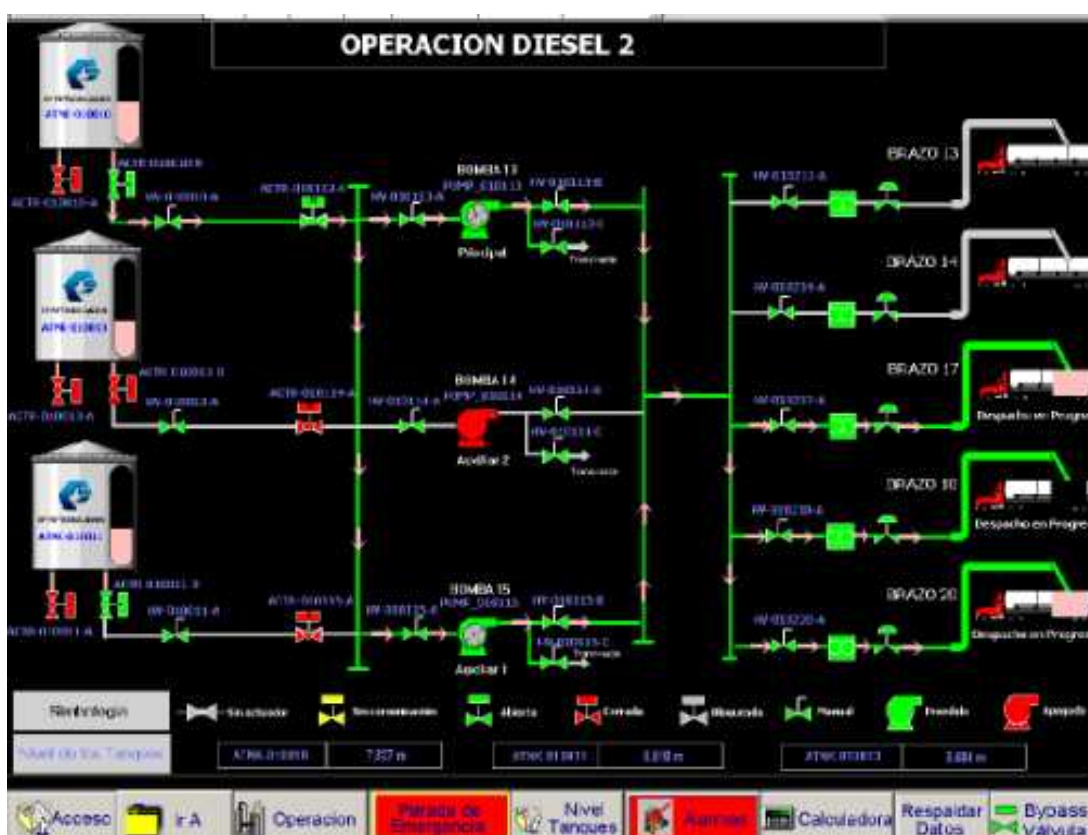


Figura 2. 10: Pantalla de Operación Diesel 2

2.4.2.1.3. Pantalla de Operación Diesel Premium

Esta pantalla, mostrada en la figura 2.11, tiene una configuración muy similar a la anterior, pero corresponde al proceso de despacho de Diesel Premium, donde el número de componentes es diferente.

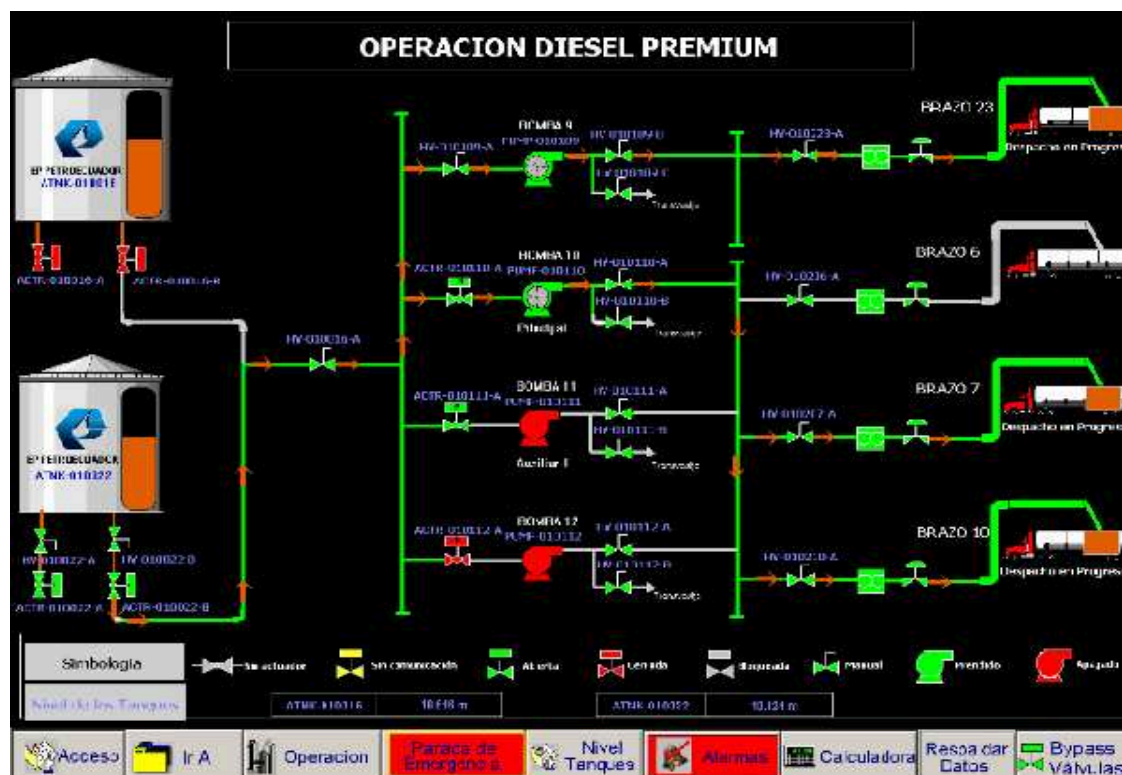


Figura 2. 11: Pantalla de Operación Diesel Premium

2.4.2.1.4. Pantalla de Estado de válvulas.

Desde esta pantalla se puede ordenar al cierre o apertura de válvulas, siempre que éstas tengan actuador eléctrico. Además, al dar un clic sobre el símbolo correspondiente, se despliega información referente a identificación, posición, torque y estado de la válvula, tal como se muestra en la figura 2.12.

ESTADO VALVULA	
UBICACION:	TANQUE 1010
IDENTIFICACION:	ACTR-010010 - B
RTU:	PLC MOMENTUM 2
DIRECCION:	2B
POSICION:	100 %
ESTADO	
Activado	<input type="checkbox"/>
Cerrado	<input type="checkbox"/>
Abierto	<input type="checkbox"/>
Selector en remota	<input type="checkbox"/>
Giro horario	<input type="checkbox"/>
Giro antihorario	<input type="checkbox"/>
Retardo operacion	<input type="checkbox"/>
Retardo movimiento	<input type="checkbox"/>
Apertura interbloq	<input type="checkbox"/>
Cierre interbloq	<input type="checkbox"/>
Control por posición	<input type="checkbox"/>
ALARMAS	
Falla comunic.	<input type="checkbox"/>
Proteccion termica	<input type="checkbox"/>
Selector en local	<input type="checkbox"/>
Operacion manual	<input type="checkbox"/>
Bateria baja	<input type="checkbox"/>
Error	<input type="checkbox"/>
CONTROL	
<input type="button" value="ABRIR"/> <input type="button" value="CERRAR"/>	
CERRAR PANTALLA	

Figura 2. 12: Pantalla de Estado de válvulas

2.4.2.1.5. Pantalla del Estado de Bombas con Variador de Velocidad

Si estando en la pantalla de operación de Diesel 2 se da un clic sobre la bomba seleccionada como principal o auxiliar 1, se abre esta nueva pantalla, en la que se despliega información sobre la bomba (velocidad, voltaje, corriente, potencia, tiempo de operación, etc.) y del estado del variador (listo, corriendo, en falla, etc.), tal como se muestra en la figura 2.13.

VARIADOR			
Variador #	14	Código de última falla	0
Motor #	14	Producto	DIESEL 2
Velocidad (RPM)	1362	Tiempo de uso (h)	272
Corriente (A)	16.9	Condición de la bomba	Principal
Voltaje (V)	291	ESTADO DE LA BOMBA	
Potencia (KW)	7.3	Manual	
Presión (psi)	26.350	Automatico	
Funcionando con:	Variador	Mantenimiento	
		Encendido	
		Apagado	
ESTADO DEL VARIADOR			
Ready		 Mantenimiento	
Run			
Falla			
Alarma			
Stop presionado			
Dirección de rotación			
Automatico			
Falla de comunicación		CERRAR PANTALLA	

Figura 2. 13: Pantalla del Estado de Bombas con Variador de Velocidad

2.4.2.1.6. Pantalla del Estado de Bombas sin Variador de Velocidad

Esta pantalla se abre al dar un clic sobre la bomba que está operando sin variador, en la que se visualiza información de su estado, tiempo de operación, velocidad, alarmas, entre otros datos, como se muestra en la figura 2.14.

ESTADO BOMBA			
BOMBA:	13		
CONDICION:	Principal		
PRODUCTO:	DIESEL 2		
Tiempo de operación:	302 h	ESTADO	
VELOCIDAD(rpm):	1775	Manual	
ALARMAS		Automatico	
Relé termico de sobrecarga		Mantenimiento	
Sensor de flujo		Encendido	
		Apagado	
CERRAR PANTALLA			

Figura 2. 14: Pantalla del Estado de la Bomba sin Variador de Velocidad

2.4.2.2. Reconfiguración de la Interfaz de Operador Magelis

Esta interfaz gráfica, ubicada en el cuarto de control de motores, ha sido desarrollada para monitorear el sistema de despacho de combustible Diesel 2 y Diesel Premium; y su actual configuración es muy similar a la HMI descrita anteriormente.

2.4.2.2.1 Pantalla Inicial

En la figura 2.15 se muestra la pantalla inicial de la Terminal Magelis, a través de la cual podemos acceder a la pantalla de “menú principal” que se muestra en la figura 2.16. Desde ésta el operador puede ingresar a otras pantallas.



Figura 2. 15: Pantalla inicial de la Terminal Magelis



Figura 2. 16: Pantalla Menú Principal

2.4.2.2.2 Pantalla Configuración de Bombas

En esta pantalla, mostrada en la figura 2.17, el operador puede seleccionar las bombas que se encuentran disponibles. Al dar un clic sobre el botón “Bombas Diesel 2” se abre una nueva ventana denominada “Configuración de Bombas para Diesel 2” (figura 2.18); si el clic se hace “Bombas Diesel Premium” se abre la ventana denominada “Configuración de Bombas para Diesel Premium” (figura 2.19).



Figura 2. 17: Pantalla Configuración de Bombas



Figura 2. 18: Pantalla Configuración de Bombas para Diesel 2



Figura 2. 19: Pantalla Configuración de Bombas para Diesel Premium

2.4.2.2.3 Pantalla Despacho – Operación

Desde el menú principal, al hacer un clic sobre “Operación del Sistema” se abre la ventana Despacho – Operación (figura 2.20); y a partir de ésta, se puede ingresar a las pantallas de Operación de Diesel 2 (figura 2.21) y Diesel Premium (figura 2.22), donde se visualiza y monitorea el proceso de despacho, de manera similar que en la HMI anteriormente descrita.



Figura 2. 20: Pantalla “Despacho- Operación”

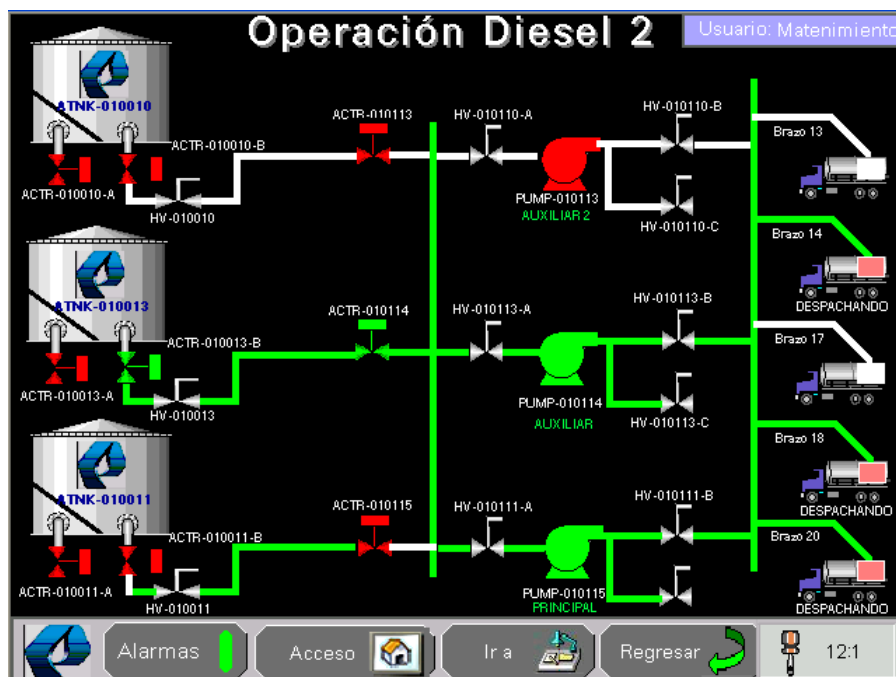


Figura 2. 21: Pantalla Operación de Diesel 2

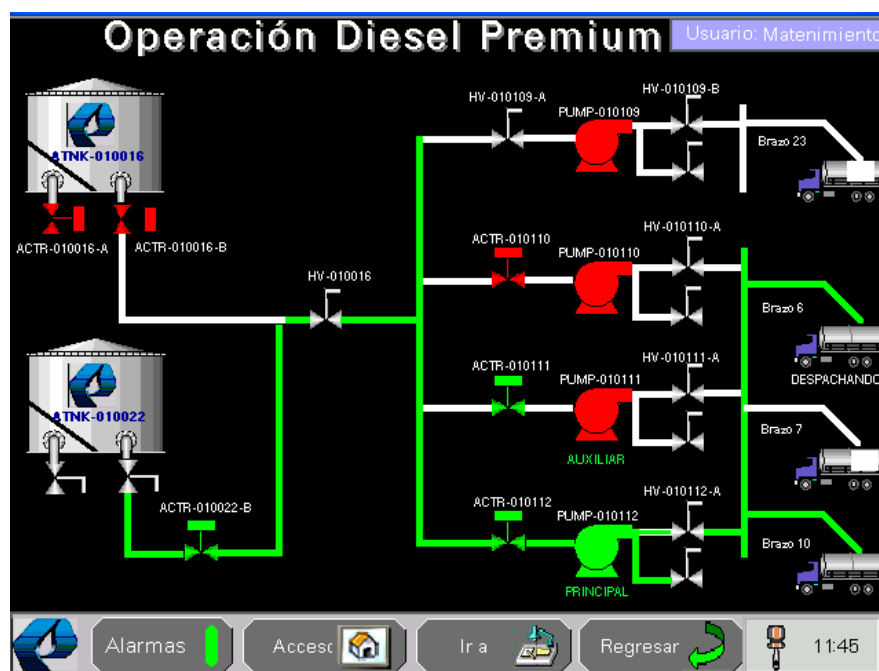


Figura 2. 22: Pantalla Operación de Diesel Premium

2.4.2.2.4 Pantalla Estado de Válvulas

Esta pantalla se muestra en la figura 2.23 y despliega información sobre las válvulas actuadas eléctricamente, de manera similar que en la HMI.



Figura 2. 23: Pantalla Estado de Válvulas

2.4.2.2.5 Pantalla Estado de Bombas

La pantalla Estado de Bombas con Variador de velocidad (figura 2.24) y Estado de Bombas sin Variador de Velocidad (figura 2.25), tienen una configuración similar que sus correspondientes en la HMI.



Figura 2. 24: Pantalla Estado de Bombas con Variador de Velocidad

Estado Bomba 13		
Condicion	Sin Uso	Ir a Variador Velocidad
Producto	DIESEL 2	
Tiempo de Operacion	476	Estado
Velocidad	0	
Alarmas		Funcionando con Variador ■
		Automatico ■
		Mantenimiento ■
		Encendido ■
		Apagado ■
Rele Terminco de Sobrecarga	■	
Sensor de Flujo	■	

Figura 2. 25: Pantalla Estado de bombas sin Variador de Velocidad

2.4.2.2.6 Pantalla de Alarmas

La figura 2.26 muestra un ejemplo cuando se activa una alarma, generalmente se despliega un panel de alarmas el cual se muestra en la figura 2.27, con fecha y hora en que sucedieron y fueron reconocidas por el operador. Así como también la pantalla con la que se desactiva la alarma, la cual se indica en la figura 2.28.

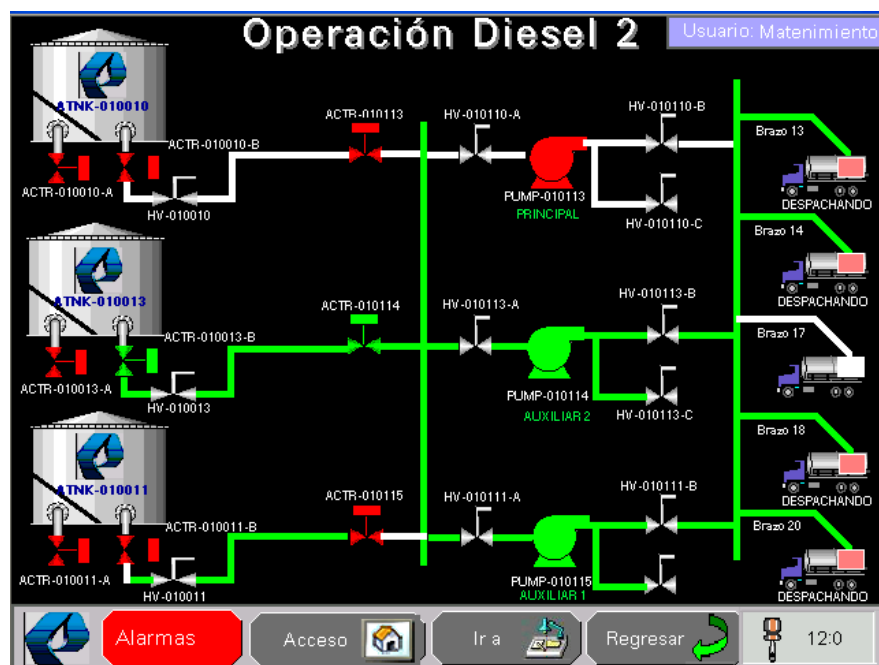


Figura 2. 26: Ejemplo cuando se activa una alarma

CAPITULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se describe el montaje e instalación de los equipos y accesorios que fueron incorporados al nuevo sistema, así como las modificaciones que fueron realizadas en los circuitos de control y potencia. También se describe el procedimiento para la integración de todo el sistema de control y visualización.

3.1. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS INSTALADOS

3.1.1. VARIADORES DE VELOCIDAD

En el Terminal Beaterio se disponía de dos variadores de velocidad Altivar 61 (ATV61HD30N4) de Telemecanique comercializados por Schneider, los cuales fueron usados en el desarrollo de este proyecto de titulación.



Figura 3. 1: Variador de Velocidad Altivar 61 (ATV61HD30N4)

3.1.1.1. Características del Altivar 61

- Tensión de red: 3 fases, 380 a 480 Vac.
- Frecuencia de red: 50 a 60 Hz
- Entradas digitales: 6 entradas digitales (24 Vdc).

- Entradas Analógicas: 1 entrada de -10 Vdc a 10 Vdc, 1 entrada analógica configurable de 0 VDC a 10 VDC, o de 0/4 mA a 20 mA.
- Salidas por relé: 5, DC 30 V/6 A (carga óhmica); AC 250 V/2 A (carga inductiva)
- Salidas analógicas: 1 configurable por software (0 VDC a 10 VDC, 0/4 mA a 20 mA), o configurable como salida lógica.
- Temperatura de funcionamiento: -15 °C a +40 °C
- Potencia: 40 HP
- Opciones de comunicación: Modbus, Modbus/TCP, Modbus Plus, CANopen, Ethernet, DeviceNet, Profibus DP, Interbus, CC-link, LonWorks, Metasys N2, Apogee FLN, BACnet.

3.1.2. CONTACTORES ELECTROMAGNÉTICOS

Para la implementación del sistema de despacho de Diesel 2 se utilizaron 3 contactores electromagnéticos marca Square D Tipo S 8205 SEO2V02S, como el que se ilustra en la figura 3.2.



Figura 3. 2 Contactor Square D

3.1.2.1. Características del Contactor

- Tamaño NEMA: 3
- Corriente en régimen continuo: 90 A
- Tensión AC: 460 V
- Potencia máxima: 50 HP
- Tensión de activación de la bobina: 120 VAC

3.1.3. TRANSMISOR DE PRESIÓN

En el área de mantenimiento de terminales del Terminal Beaterio se disponía de un transmisor de presión Viatran modelo 584 ARSNY (figura 3.3), que fue utilizado en la implementación de este proyecto.



Figura 3. 3: Transmisor de Presión Viatran

3.1.3.1 Características del Transmisor

- Rango de serie: 0-300 PSI
- Linealidad (BFSL): $<\pm 0.25\%$ FSO
- Histéresis: $\pm 0.10\%$ FSO
- Repetibilidad: $\pm 0.10\%$ FSO
- Tensión de alimentación: 9,5 a 40 VDC
- Señal de salida: 4-20mA
- Conexiones eléctricas: $\frac{1}{2}$ " NPT macho, 3 hilos, 18 AWG

3.1.4. RELÉS ELECTROMAGNÉTICOS

Se contaba con relés AMF Potter & Brumfield modelo KHS17A11, como se muestra en la figura 3.4, los mismos que fueron utilizados para el desarrollo de este proyecto.



Figura 3. 4: Relés AMF Potter & Brumfield

3.1.4.1 Características de los Relés

- Configuración de los contactos: 4PDT
- Tensión de conmutación: 240 Vac - Max
- Tipo de bobina: Sin cerrojo
- Corriente de la bobina: 11mA
- Voltaje de la bobina: 120 VAC
- Características: Sellado – herméticamente
- Potencia de la bobina: 1.2VA
- Resistencia de la bobina: 13.5Kohm
- Temperatura de funcionamiento: -45 ° C ~ 70 ° C

3.2. MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Algunos de los equipos que fueron incorporados al nuevo sistema, ya se encontraban montados en los armarios del centro de control de motores, por lo que solamente fue necesario realizar una modificación en los circuitos eléctricos.

La instrumentación y dispositivos de control que se requirió instalar en este proyecto fueron: El transmisor de presión, un manómetro y seis relés electromagnéticos. Adicionalmente fue necesario instalar una bandeja (canaleta) para el paso de los cables de control y potencia.

3.2.1. INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN

El transmisor de presión fue instalado en el patio de bombas, a la salida en un manifold cerca de la bomba número 13, tal como se muestra en la figura 3.5. Este transmisor se usa para medir la presión de despacho de diesel 2.



Figura 3. 5: Transmisor de presión

3.2.2. MONTAJE E INSTALACIÓN DE UN MANÓMETRO

Para medir de manera directa la presión que atraviesa por el manifold de diesel 2, fue necesario instalar un manómetro, cuya lectura se la compara con la que se muestra en el variador de velocidad que recibe la señal del transmisor de presión, a fin de comprobar ambas mediciones.



Figura 3. 6: Manómetro

3.2.3. MONTAJE E INSTALACIÓN DE RELÉS

Los relés y sus respectivas bases fueron montadas sobre una riel Din en el armario número 6A. Estos relés se usan para activar los contactores de aislamiento o para asegurar que estos no se energicen si el variador de velocidad está apagado o sin energía, así como para el bloqueo entre el modo manual y automático de los variadores.



Figura 3. 7: Relés Electromagnéticos

3.2.4. MONTAJE DE BANDEJA PARA CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL

Esta bandeja permite el paso del cableado de fuerza y control para la conexión entre los armarios, la cual se muestra en la figura 3.8.



Figura 3. 8: Bandeja para cableado de fuerza y control

3.3. MODIFICACIÓN DE CIRCUITO Y CONEXIONES

En el centro de control de motores existen varios armarios o celdas donde están montados e instalados los diferentes equipos y dispositivos de mando, maniobra y control eléctricos. Para la ejecución del presente proyecto fue necesario modificar las conexiones de los siguientes circuitos de celda:

- Modificación de conexiones en las celdas de los variadores de velocidad
- Modificación de conexiones en el PLC Quantum.
- Modificación de conexiones de arrancadores para motores.
- Modificación de conexiones para los tres contactores tamaño NEMA 3.

3.3.1. MODIFICACIÓN DE CONEXIONES DE LA CELDAS DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

En los armarios (celdas) 3A y 4A están alojados e instalados los variadores de velocidad, junto con otros dispositivos de mando, control, señalización y protección.

Las modificaciones en el circuito de control fueron realizadas para permitir:

- El arranque y paro, en modo manual, del variador de velocidad
- En el armario 4A, seleccionar la bomba que trabajará: Bomba 13 - Bomba 14.
- En el armario 3A, seleccionar la Bomba 15.

En cuanto a los circuitos de potencia, se realizó la instalación de los alimentadores desde los variadores de velocidad hacia los contactores de aislamiento.

El conductor utilizado para los circuitos de control fue un cable No. 14 AWG, mientras que para los circuitos de potencia se utilizaron cables No. 6 AWG, calibre que se obtuvo con base al cálculo descrito en el Anexo V.

En los planos 3 y 4 del Anexo I, se muestran los diagramas eléctricos que corresponden a las modificaciones realizadas en estas celdas.



Figura 3. 9: Celda del Variador de Velocidad



Figura 3. 10: Dispositivos de mando manual y señalización

3.3.2. MODIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES EN EL PLC QUANTUM

Para la implementación de este proyecto, fue necesario utilizar 4 entradas y 3 salidas digitales adicionales en el PLC Quantum, a fin de incorporar las señales provenientes del modo automático y falla por cada variador.

3.3.3. MODIFICACIÓN DE CONEXIONES DE ARRANCADORES PARA MOTORES

Los arrancadores directos del antiguo sistema de despacho de Diesel 2 y Diesel Premium, se mantienen para el nuevo sistema, a diferencia de que en la nueva configuración, los motores tienen la alternativa adicional de ser accionados por los variadores de velocidad.

Las modificaciones en los circuitos de control fueron realizadas para lograr que los grupos de bombeo arranquen de manera directa o por medio del variador de velocidad, e impedir que las dos condiciones sucedan simultáneamente. En la figura 3.11 se puede observar las conexiones internas del arrancador correspondiente al motor de la bomba 15.



Figura 3. 11: Arrancador para el motor 15

3.3.4. MODIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES DE TRES CONTACTORES TAMAÑO NEMA 3

En el armario asignado con el número 6A, se instalaron los tres contactores de aislamiento (tamaño NEMA 3). Las conexiones realizadas permiten que estos contactores operen cuando el accionamiento de las bombas se realiza con velocidad variable.

Cada contactor se encuentra conectado a su respectiva bornera, en la que también llega el cableado de control tanto para los variadores de velocidad como para el PLC Quantum.

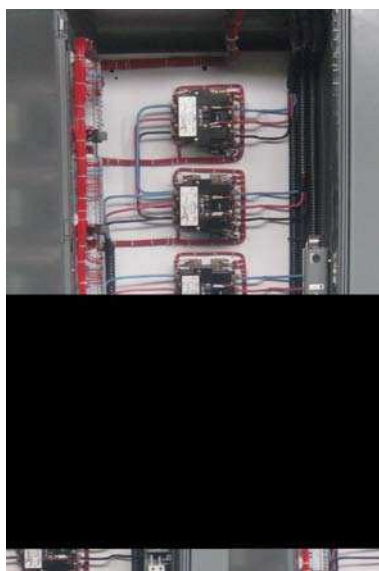


Figura 3. 12: Contactores NEMA 3

3.4. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN

Para la integración de todo el sistema de control y visualización se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Pruebas de continuidad y verificación física de todo el conexionado eléctrico.
2. Configuración del variador de velocidad.
3. Configuración y descarga del nuevo programa al PLC Quantum.

4. Pruebas de comunicación entre el PC, variador de velocidad y terminal Magelis.
5. Prueba de funcionamiento del sistema de despacho a través de la HMI.
6. Ajuste de parámetros de funcionamiento del sistema.

Para llevar a cabo estas acciones, sin afectar las actividades del Terminal Beaterio, fue necesario realizar parte de éstas fuera del horario normal de trabajo.

3.4.1. CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ALTIVAR 61

Para la configuración de los variadores de velocidad se siguió el procedimiento dado por el fabricante en el manual correspondiente, lo cual se detalla en el Anexo IV.

3.4.2. CONFIGURACIÓN Y DESCARGA DEL NUEVO PROGRAMA AL PLC QUANTUM

Los cambios en la configuración del PLC obedecen básicamente a la configuración de la red Modbus Plus, lo cual se realiza a través del servicio Peer Cop, descrito en el Anexo III.

Como ya se mencionó anteriormente, tanto la edición como la descarga del nuevo programa al PLC Quantum, se realizó mediante el software Concept v. 2.6, como se ilustra en la figura 3.13.

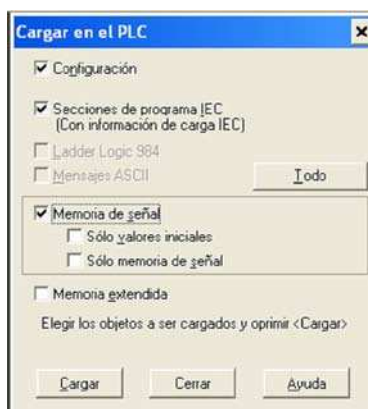


Figura 3. 13: Ventana de descarga del programa

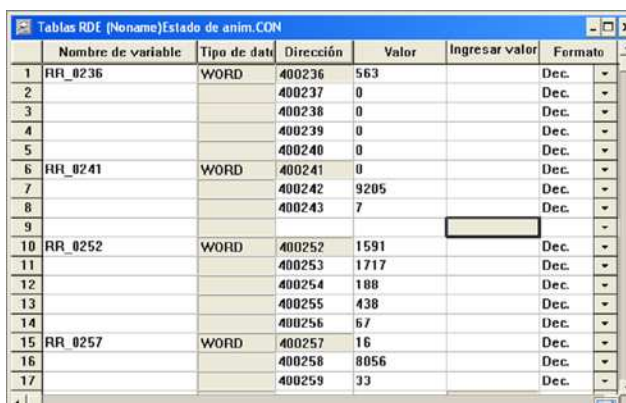
La descarga del nuevo programa al PLC fue realizada cuando no había actividad de despacho de combustible en el Terminal Beaterio, ya que el PLC controla todo el sistema.

Una vez efectuada la descarga, se puso al PLC en modo RUN a fin de verificar su correcta operación.

3.4.3. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC, VARIADOR DE VELOCIDAD Y TERMINAL MAGELIS

Debido a que la comunicación entre el PLC Quantum, los variadores de velocidad Altivar 61 y la terminal Magelis es muy importante en el sistema de despacho de Diesel 2, se debe asegurar que funcione adecuadamente.

La prueba de comunicación entre variadores de velocidad y el PLC Quantum se realiza a través del editor de datos de referencia, como se muestra en la figura 3.14. Para verificar los datos obtenidos se utiliza el terminal gráfico de cada variador.



	Nombre de variable	Tipo de dato	Dirección	Valor	Ingresar valor	Formato
1	RR_0236	WORD	400236	563		Dec.
2			400237	0		Dec.
3			400238	0		Dec.
4			400239	0		Dec.
5			400240	0		Dec.
6	RR_0241	WORD	400241	0		Dec.
7			400242	9205		Dec.
8			400243	7		Dec.
9						
10	RR_0252	WORD	400252	1591		Dec.
11			400253	1717		Dec.
12			400254	188		Dec.
13			400255	438		Dec.
14			400256	67		Dec.
15	RR_0257	WORD	400257	16		Dec.
16			400258	8056		Dec.
17			400259	33		Dec.

Figura 3. 14: Comunicación entre variador de velocidad y el PLC Quantum

Cuando la comunicación entre la terminal gráfica Magelis y el PLC Quantum falle tendremos un mensaje de: "Error al abrir conexión con el autómata. (Quantum)", en cuyo caso se debe verificar que el cable de comunicación Ethernet no sea el problema, en la figura 3.15 se muestra el mensaje en la pantalla Magelis.

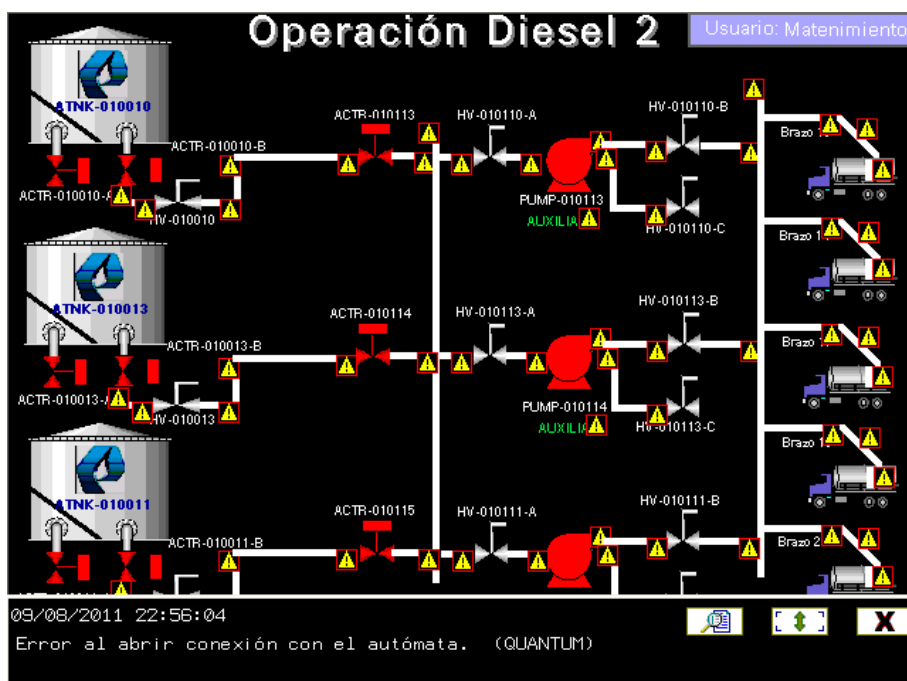


Figura 3. 15: Mensaje de error de comunicación Magelis con PLC

3.4.4. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESPACHO A TRAVÉS DE LA HMI

Luego de las pruebas anteriormente descritas y con el PLC en modo RUN, a través de la HMI se verifica que el sistema de despacho de combustible en las islas de carga opere de acuerdo a lo previsto; es decir, que el nuevo programa de control no afecte el normal desempeño del sistema de despacho.

Durante esta prueba se debe verificar que los flujos en cada brazo de carga de los diferentes productos no bajen del nivel habitual (420 gpm), ni a niveles drásticos.

En las figuras 3.16 y 3.17 se muestran las ventanas de la HMI que corresponden a las islas 2 y 3 respectivamente, en las que se despliegan los valores de despacho de combustible.

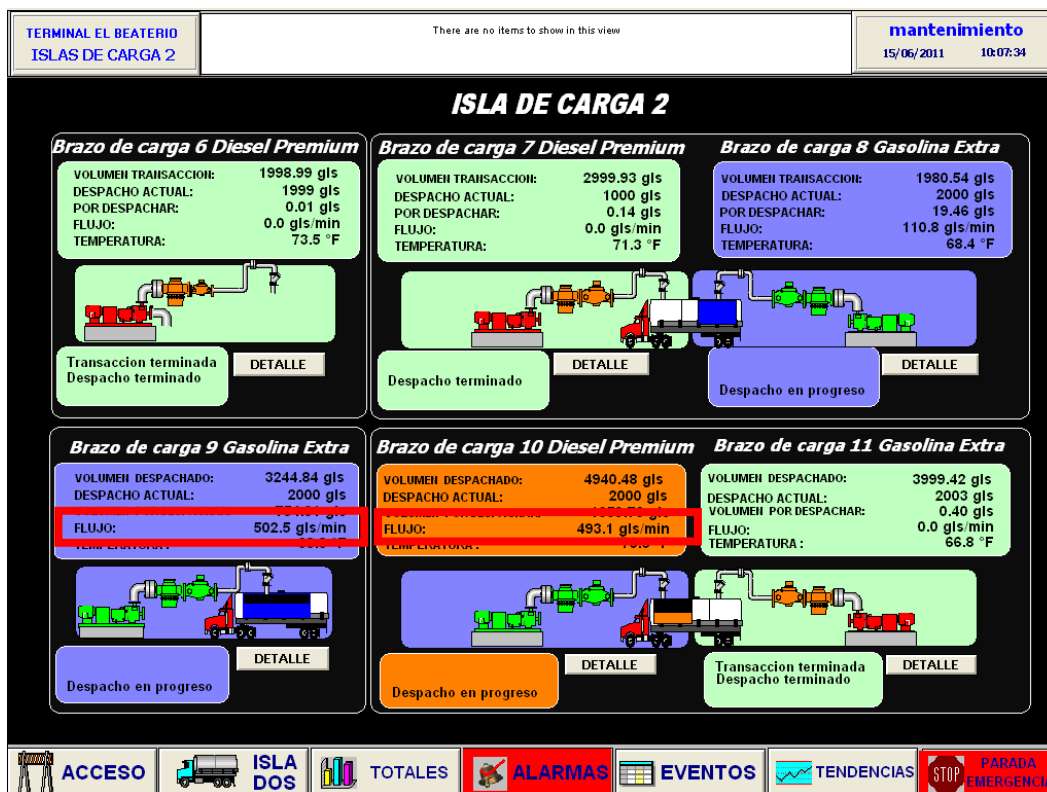


Figura 3. 16: Ventana de despacho de combustible en la Isla 2

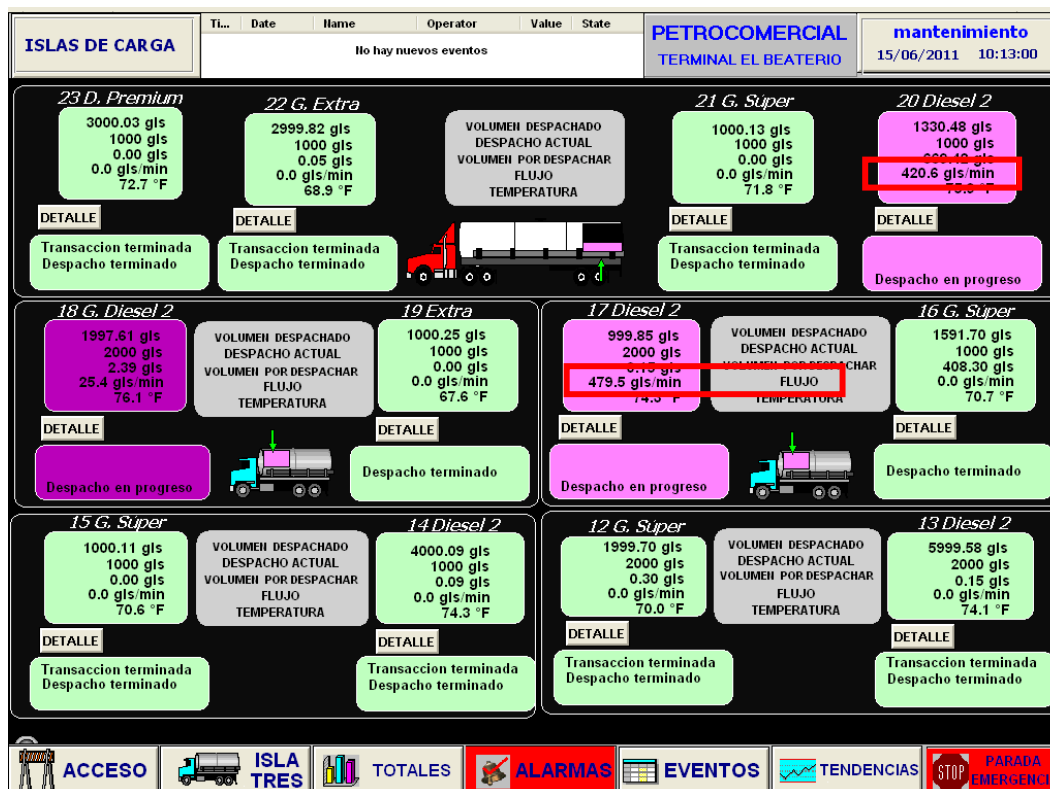


Figura 3. 17: Ventana de despacho de combustible en la Isla 3

En caso de darse alguna falla en el sistema se saca de funcionamiento los variadores de velocidad, para lo cual se pone el selector, indicado en la figura 3.10, en la posición “Fuera”. De esta manera se consigue que el sistema funcione como lo hacía anteriormente.

3.4.5. AJUSTE DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Cuando el sistema ya esté funcionando y sin ningún problema, se procede con un ajuste de los parámetros de funcionamiento de los variadores de velocidad, a fin de lograr que el flujo en cada brazo de carga sea lo más cercano a 500 GPM.

Para esto se procede a modificar los parámetros de los controladores PI, descritos en el capítulo II, empleando un procedimiento de sintonización heurístico, mediante el cual se van ajustando las constantes K_c y T_i hasta obtener el resultado deseado.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS OPERATIVAS

El objetivo de estas pruebas es obtener datos del comportamiento del sistema de despacho de Diesel 2, para luego contrastarlos con los del sistema de despacho anteriormente existente.

Para este propósito se realizaron dos tipos de pruebas: La primera, configurando el sistema de control para que los grupos de bombeo trabajen sin variadores de velocidad; y la segunda, incluyendo los variadores de velocidad.

Estas pruebas se realizaron cuando el tanque ATNK-010010 se encontraba despachando combustible y su nivel estaba a una altura aproximada de 7.73 metros.

Luego de estas pruebas se observaron las mediciones registradas en la HMI referentes al caudal, presión, tiempo de trabajo de los grupos de bombeo, entre otras.

4.1.1 PRUEBA DE DESPACHO SIN VARIADORES DE VELOCIDAD

4.1.1.1. Mediciones para un volumen de despacho de 1000 GI

Para esta prueba, las mediciones de flujo, presión y consumo de energía de los grupos de bombeo fueron realizadas para un volumen de despacho de 1000 galones de combustible. Los datos obtenidos, para uno, dos y tres brazos de carga se tabulan en la tabla 4.1.

Par medir el consumo de los grupos de bombeo se utilizó un analizador de energía.

VOLUMEN DE DESPACHO: 1000 GALONES					
# de Brazos Despachado	Flujo (GPM)	Presión (PSI)	# de Grupos Funcionando	Consumo de Energía (KW-H)	Tiempo de Operac. (Min.)
1	495	40	1	0,392	2min 20seg
2	470	40	1	0,572	2min 30seg
3	490	40	2	0,832	2min 10seg

Tabla 4. 1: Datos del despacho de 1000 galones sin variadores de velocidad

4.1.1.2. Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga en una semana

La tabla 4.2 muestra el tiempo de funcionamiento de los brazos de carga y grupos de bombeo durante una semana, sin variadores de velocidad.

Semana de prueba: Febrero 14-20 /2011			
# de Brazos Despachado	Grupos de Bombeo	Tiempo de Operación	% del Tiempo Total
1	1	12h 58min 48seg	27,54
2	1	14h 15min 36seg	30,25
3	2	11h 27min 36seg	24,31
4	2	6h 34min 48seg	13,96
5	3	1h 51min 36seg	3,95
Tiempo Total	Todos	47h 13min 40seg	100,00

Tabla 4. 2: Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga durante una semana sin variadores de velocidad

4.1.1.3. Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana laboral

En la tabla No. 4.3 se tabulan los datos de consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana. Con base a estos y al volumen total despachado, se obtiene la relación GI/KW-H, que puede servir como medida comparativa respecto al nuevo sistema.

FECHA	Volumen Despachado (GI)	Grupos en Operación	Consumo de Energía (KW-H)	Relación GI/KW-H
14/02/2011	381,39	Todos	406,552	0,94
15/02/2011	415,658	Todos	416,971	1,00
16/02/2011	347,886	Todos	405,446	0,86
17/02/2011	390,591	Todos	408,092	0,96
18/02/2011	408,28	Todos	412,959	0,99
19/02/2011	306,773	Todos	382,547	0,80
20/02/2011	122,745	Todos	195,034	0,63
Total x Semana	2373,323	Todos	2627,601	0,88

Tabla 4. 3: Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana sin variadores de velocidad

4.1.1.4. Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo

La tabla 4.4 muestra las horas acumuladas de operación de cada bomba, con los porcentajes correspondientes, que fueron obtenidos de la HMI.

Grupo de Bombeo	Tiempo de Operación (h)	Tiempo total (%)
13	271	67
14	106	26
15	27	7
Tiempo total	404	100

Tabla 4. 4: Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo sin variadores de velocidad

4.1.2 PRUEBA DE DESPACHO CON VARIADORES DE VELOCIDAD

4.1.2.1. Mediciones realizadas para un volumen de despacho de 1000 GI

En la tabla 4.5 se presentan los datos obtenidos para un volumen de despacho de 1000 galones de combustible, con el sistema funcionando con variadores de velocidad.

VOLUMEN DE DESPACHO: 1000 GALONES					
# de Brazos Despachado	Flujo (GPM)	Presión (PSI)	# de Grupos Funcionando	Consumo de Energía (KW-H)	Tiempo de Operac. (Min.)
1	442	28,06	1	0,112	2min 36seg
2	440	29,25	1	0,272	2min 40seg
3	430	29,98	2	0,344	2min 50seg

Tabla 4. 5: Datos del despacho de 1000 galones con variadores de velocidad

4.1.2.2. Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga en una semana

La tabla 4.6 muestra el tiempo de funcionamiento de los brazos de carga y grupos de bombeo durante una semana, con variadores de velocidad.

Semana de prueba: Julio 18-24 /2011			
# de Brazos Despachado	Grupos de Bombeo	Tiempo de Operación	% del Tiempo Total
1	1	14h 1min 4seg	27,52
2	1	15h 17min 31seg	30,01
3	2	12h 30min 59seg	24,55
4	2	7h 6min 43seg	13,97
5	3	2h 0min 44seg	3,95
Tiempo Total	Todos	50h 57min 1seg	100,00

Tabla 4. 6: Tiempo de funcionamiento de los Brazos de Carga durante una semana con variadores de velocidad

4.1.2.3. Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana laboral

En la tabla No. 4.7 se tabulan los datos de consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana, con variadores de velocidad

FECHA	Volumen Despachado (GI)	Grupos en Operación	Consumo de Energía (KW-H)	Relación GI/KW-H
18/07/2011	382,188	Todos	363,168	1,05
19/07/2011	347,486	Todos	332,481	1,05
20/07/2011	403,177	Todos	388,258	1,04
21/07/2011	387,308	Todos	365,548	1,06
22/07/2011	416,613	Todos	398,824	1,04
23/07/2011	309,053	Todos	298,373	1,04
24/07/2011	123,277	Todos	119,461	1,03
Total x Semana	2369,102	Todos	2266,113	1,04

Tabla 4. 7: Consumo de energía de los grupos de bombeo durante una semana con variadores de velocidad

4.1.2.4. Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo

La tabla 4.8 muestra las horas acumuladas de operación de cada bomba, con los porcentajes correspondientes, que fueron obtenidos de la HMI con el nuevo sistema de control operando.

Grupo de Bombeo	Tiempo de Operación (h)	Tiempo total (%)
13	481	33
14	444	31
15	511	36
Tiempo total	1436	100

Tabla 4. 8: Tiempo de operación de los Grupos de Bombeo con variadores de velocidad

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Haciendo una comparación de los datos de presión de las tablas 4.1 y 4.5, con los variadores de velocidad se ha logrado disminuir la presión en algo más del 25% y, consecuentemente, una reducción de los golpes de ariete ocasionado en el apagado de las bombas.
- Comparando los datos de la tabla 4.4 con los de la tabla 4.8, se observa claramente la diferencia que existe en cuanto al tiempo de funcionamiento de los grupos de bombeo antes y después de la implementación del nuevo sistema de control, teniéndose ahora una operación bastante balanceada de los mismos.
- De los datos de consumo de energía, indicados en las tablas 4.3 y 4.7, se puede deducir lo siguiente:

Para un mismo volumen de despacho semanal, el consumo de energía eléctrica con variadores de velocidad es menor, en aproximadamente un 14%, respecto al sistema de arranque directo (sin variadores).

Ese ahorro de energía, traducido a valor monetario, significa dejar de pagar aproximadamente \$145 mensuales, considerando un costo de \$0.1/KWH.

La relación GI/KWH de las tablas, corrobora lo expresado en los párrafos anteriores, e indica que con 1 KWH de consumo de energía se despacha, en promedio, 1.04 galones de combustible (con variadores de velocidad) y 0.88 galones (sin variadores de velocidad); lo que significa una mayor eficiencia del sistema actual respecto al anterior.

- En lo referente al tiempo de despacho, de las tablas 4.2 y 4.6 se puede concluir que, para un mismo volumen de despacho semanal, el tiempo de operación de los grupos de bombeo se incrementa cuando estos son accionados por variadores de velocidad.

Costo de Energía y Tiempo de Operación, para un mismo Volumen de Despacho Semanal		
	Energía (\$)	Tiempo (h:min:seg)
Sin variadores	262,76	47h 13min 40seg
Con variadores	226,61	50h 57min 1seg
Diferencia	36,15	-3h 44min 39seg

Tabla 4. 9: Diferencias entre los dos sistemas de despacho de diesel 2, en cuanto a consumo de energía y tiempo de operación

En la tabla 4.10 se muestra el porcentaje de ahorro de energía y el incremento porcentual de tiempo de operación, que se tendría con el nuevo sistema en un período mensual.

	Mensual	
Ahorro de Energía	\$ 144,60	13,75%
Incremento de Tiempo	15,088 Horas	8%

Tabla 4. 10: Porcentajes de ahorro de energía y del tiempo de operación del nuevo sistema de despacho de diesel 2, en relación con el sistema anterior.

- El incremento del tiempo de despacho en aproximadamente 30 minutos por día, realmente no representa ningún perjuicio para la Terminal El Beaterio, ya que el trabajo de despacho, en condiciones normales, termina de media a una hora antes de la finalización de la jornada laboral del personal encargado de esa actividad.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La inclusión de accionamientos de velocidad variable en los grupos de bombeo, permitió el arranque y parada suave de los mismos y, consecuentemente, la disminución de los golpes de ariete en accesorios y tuberías. Adicionalmente, se logró reducir los cambios bruscos de flujo a través de los brazos de carga, con relación a lo que sucedía anteriormente.
- Con el nuevo sistema implementado, se consiguió que el caudal suministrado por los grupos de bombeo esté en relación a los requerimientos de los brazos de carga, lo que a su vez hizo disminuir el consumo mensual de energía, en aproximadamente un 14%, con relación al sistema anterior.
- Como resultado del nuevo sistema de control, se logró balancear los tiempos de operación de los grupos de bombeo, evitando de esta forma el trabajo excesivo y desgaste prematuro de alguno de los grupos.
- Como desventaja del nuevo sistema se podría anotar que el tiempo de despacho, para un mismo volumen de combustible, se incrementó en un 8% respecto a lo que se tenía anteriormente, lo que puede resultar obvio, si se considera que antes los grupos arrancaban de manera directa produciendo mayor presión y caudal que los requeridos por el sistema de despacho.
- Por los resultados logrados, estimamos que los objetivos planteados para este proyecto de titulación se cumplieron en gran medida.

5.2. RECOMENDACIONES

- Instalar un variador de velocidad en cada bomba de despacho, ya que con una sintonización adecuada de los mismos es posible mejorar el control de flujo y la eficiencia de todo el sistema.
- A fin de contabilizar, de manera directa, los tiempos de operación de los grupos de bombeo, sería recomendable instalar horómetros en cada uno de ellos; lo cual, además de favorecer la programación del mantenimiento, dará lugar a una depuración del programa de control.
- Para sistemas de control de lazo cerrado, como es el caso del control de velocidad de los grupos de bombeo, es recomendable utilizar algún procedimiento de sintonización, manual o automática, para determinar los parámetros del regulador, ya que en la práctica y en un sistema como el aquí tratado, resulta muy complicado determinar la función de transferencia de la planta.
- Antes de poner a funcionar un nuevo sistema, en reemplazo de otro, es recomendable e importante analizar los cambios que se van a implantar y realizar varias pruebas preliminares, para efectos de evitar paros prolongados e innecesarios de la planta.

CAPITULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].<http://www.petrocomercial.com/wps/portal/Diesel2>.
- [2].http://www.petrocomercial.com/wps/portal/Diesel_Premium.
- [3].DOSSIER, Instrucciones para instalación, operación, mantenimiento y lista de partes, Enero 2006.
- [4].<http://apps.motorboss.com/submittals/PerformanceData.asp?QueryType=2&ModelNumber=AD75&CatalogNumber=YC25E2B&OrderNumber=NA&LineNumber=&OrderType=&MotorType=FLC&FrameSize=284T&SourceTable=F5712>, 2008-01-22.
- [5].Modicom Quantum automation platform, Catálogo 2008/2009.
- [6].Ayudas Concept para Quantum.
- [7].Modicon TSX Momentum I/O Base, Guía de usuario, Mayo2004.
- [8].Terminales de diálogo Magelis XBT-G, Catálogo 2004.
- [9].Smith Meter Inc, Especificaciones Aculload III.
- [10].Smith Meter Inc , Válvula Digital Electro-Hidráulica Modelo 210, octubre 1996.
- [11].Smith Meter, Medidor Desplazamiento Modelo F4, abril 2010.
- [12].CORRALES, Luis, Interfaces de Comunicación Industrial, Escuela Politécnica Nacional, octubre 2007.
- [13].<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
- [14].http://es.wikipedia.org/wiki/Red_en_estrella.
- [15].http://es.wikipedia.org/wiki/Red_en_bus.

ANEXO I

(PLANOS)

Incluye:

1. Diagrama de flujo Diesel 2
2. Diagrama de flujo Diesel Premium
3. Diagrama de fuerza Diesel 2
4. Diagrama de Control Variador Bombas 13/14
5. Diagrama de Control Variador Bomba 15
6. Diagrama de conexiones al PLC.

ANEXO II

(DIAGRAMAS DE RED)

Incluye:

1. Diagrama Topología En Estrella
2. Diagrama Topología En Bus

ANEXO III

(TABLAS DIRECCIONAMIENTO DE VARIABLES)

Incluye:

1. Registros y marcas para las bombas
2. Registros Peer Cop
3. Entradas variador
4. Registros de Bombas

ANEXO IV

(CONFIGURACIÓN Y SOFTWARE DEL EQUIPO DE CONTROL)

Incluye:

1. Software del PLC.
2. Configuración del Variador de Velocidad.

ANEXO V
(CÁLCULO DEL CABLE)

Incluye:

1. Cálculo del cable para la acometida del motor.

ANEXO VI

(CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA)

ANEXO VII

(CATÁLOGOS)

1. Catálogo del PLC
2. Catálogo del Variador de Velocidad Altivar 61
3. Catálogo de la Terminal Magelis XBT-G
4. Catálogo del Trasmisor de Presión Viatran 584