

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Sistema de control y monitoreo en tanques de almacenamiento y distribución de combustible

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

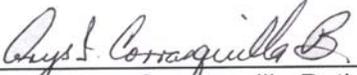
Angel Alberto Torres González

San José, Noviembre de 2006

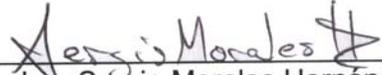
INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal


Ing. Arys Carrasquilla Batista

Profesora lectora


Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector


Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 2 de Noviembre del 2006

Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

San José, Octubre del 2006

Angel Alberto Torres González
Cédula: 6-325-181

Resumen

La Refinería Costarricense de Petróleo, RECOPE, es una empresa nacional que se encarga de suministrar al país fuentes energéticas derivadas de hidrocarburos. Cuenta con instalaciones en diversas partes del territorio nacional como por ejemplo Limón, Turrialba, Puntarenas y Alajuela.

El plantel de distribución de La Garita, en Alajuela, durante el año 2006, se sometió a un proceso de ampliación que involucró la construcción de dos nuevos tanques de almacenamiento y la implementación de un sistema de control y monitoreo para el sistema de distribución de combustible a través de los patios de carga.

El sistema de control hizo uso de una base de hardware nueva, dimensionada e instalada por parte del empresa Sistemas IQ: dos interfaces distribuidas para la concentración de señales de campo y un panel principal de control basado en un PLC, que intercambiaban datos mediante un bus de campo tipo DeviceNet.

En el controlador se debió programar secuencias de arranque/paro, rotación de equipo (por desgaste o bien por falla de los mismos), rutinas de horas de funcionamiento entre otras; que permitían cumplir el algoritmo de control y funcionamiento del sistema de distribución. También se desarrolló una interfaz gráfica que permitía al operario conocer el estado actual del sistema (condiciones de alarma, niveles, etc.).

El control general del plantel de La Garita puede ser considerado como un sistema semi-automático de control, esto debido a las condiciones de operación manual que imperan en la mayoría de los equipos.

Palabras clave: programación en escalera, desarrollo de SCADA, bus de campo, protección contra trasientes

Summary

The Costa Rican crude oil refinery, RECOPE, is a national organization in charge of providing the country with the energetic resources produced by hydrocarbons. This company has different plants and buildings in specific spots around the country such as the plants in Puntarenas, Alajuela, Limon and Turrialba.

The distribution plant located in La Garita, Alajuela, during 2006, grown and expanded into a new project that involved the installation of two new storage tanks and the implementation of a new control and monitoring system for the fuel distribution system through the loading spaces for the trucks.

The new control system required a new hardware base which was installed and dimensioned by Sistemas IQ: two interfaces distributed for concentration of field signals and a main control panel based in a PLC that exchanged data through a field bus type DeviceNet.

The controller needed to be programmed in different sequences: start\stop, devices rotation, schedules and hour routines that accomplished the proper control and monitoring for the distribution system. A graphic interface was also developed to let the user to know the current status of the system.

In general, the control in La Garita may be considered as a semi-automatic system due the manual operation of most of machines and equipments.

Keywords: ladder programming, SCADA development, field bus, surge protection

Dedicatoria

A mis padres, porque gracias a ellos he llegado a este punto.

Agradecimientos

Al personal de Sistemas IQ, especialmente al Ing. Sergio Ovando por su valiosa ayuda y colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1 : Introducción	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	1
1.2 Solución seleccionada.....	3
Capítulo 2 : Meta y objetivos	5
2.1 Meta.....	5
2.2 Objetivo general.....	5
2.3 Objetivos específicos.....	5
Capítulo 3 : Marco teórico	7
3.1 Descripción del sistema: filosofía de operación.....	7
3.1.1 Sistema de bombeo a cargaderos.....	7
3.1.2 Sistema de Sumidero de diesel, gasolina, drenaje de tubería y sumidero de la estación.....	14
3.1.3 Sistema de transferencia.....	20
3.2 Antecedentes bibliográficos.....	24
3.2.1 SCADA.....	24
3.2.2 Controlador lógico programable PLC-5.....	24
3.2.3 Bus de campo DeviceNet.....	25
3.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.....	26
3.3.1 Diagramas secuenciales y de flujo.....	26
3.3.2 Supresión de trasientes.....	26
Capítulo 4 : Procedimiento metodológico	27
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	27
4.2 Obtención y análisis de información.....	27
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	28
4.4 Implementación de una solución.....	28
4.5 Reevaluación y rediseño.....	28
Capítulo 5 : Explicación detallada de la solución	29

5.1	Análisis y selección de la solución.....	29
5.2	Descripción del hardware	30
5.2.1	Interfaces modulares.....	30
5.2.2	Centro de control de motores (CCM)	31
5.2.3	Panel de control	32
5.3	Descripción del software.....	33
5.3.1	Descripción de los principales programas de cómputo utilizados	33
5.3.2	Descripción de las rutinas de control	34
5.3.3	Configuración de la red DeviceNet	40
Capítulo 6 :	Análisis de resultados.....	42
6.1	Resultados.....	42
6.1.1	Resultados de interfaz de usuario.....	42
6.1.2	Pruebas de operación.....	46
6.2	Análisis	49
Capítulo 7 :	Conclusiones y recomendaciones.....	54
7.1	Conclusiones	54
7.2	Recomendaciones	55
Bibliografía	56
Apéndices	57
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología	57
A.2	Listado de alarmas del sistema.....	59
A.3	Extracto del programa de control: rutina de ventas diesel.....	61
A.4	Información sobre la empresa.....	80
Anexos	81
B.1	Controlador lógico programable PLC-5.....	81
B.2	Especificaciones modulo 1794-ADN	82
B.3	Módulo DSA.....	83
B.4	Escáner de DeviceNet para PLC-5	84
B.5	1794-IE8 Módulo de entradas analógicas.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema de distribución de combustible.....	2
Figura 1.2	Disposición de equipos que conforman la solución desarrollada.....	4
Figura 3.1	Esquema de distribución plantel de La Garita.....	7
Figura 3.2	Diagrama de flujo bombas de ventas de combustible.....	13
Figura 3.3	Diagrama de flujo sistema de sumideros	19
Figura 3.4	Diagrama de flujo sistema de transferencia	23
Figura 5.1	Esquema general de la solución	29
Figura 5.2	Arrancador de motor para DeviceNet E3 y DSA.....	32
Figura 5.3	Diagrama de la red DeviceNet	40
Figura 6.1	Pantalla principal de control y monitoreo para el sistema de diesel.....	43
Figura 6.2	Recuadro de control para el bloqueo del interruptor de caudal.....	43
Figura 6.3	Barra de mensajes de alarma	44
Figura 6.4	Pantalla de control de sumideros.....	44
Figura 6.5	Pantalla de control para la bomba de ventas-transferencia de diesel....	45
Figura 6.6	Pantallas de mantenimiento para las bombas con arrancador E3 y DSA	46
Figura 6.7	Modificación de planos eléctricos en el CCM.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Síntesis de funcionamiento: bombeo a cargaderos	12
Tabla 3.2	Síntesis de funcionamiento: bombas de sumidero.....	18
Tabla 3.3	Síntesis de funcionamiento: bombas de transferencia	22
Tabla 4.1	Fuentes de información.....	27
Tabla 5.1	Distribución de módulos Flex I/O en las interfaces modulares.....	31
Tabla 5.2	Equipos contenidos en el CCM	31
Tabla 5.3	Disposición de equipo: rack de control.....	32
Tabla 5.4	Listado y descripción de "ladders" en el programa de control.....	35
Tabla 5.5	Secuencia rotación bombas de ventas: 2 bombas.....	37
Tabla 5.6	Secuencia rotación bombas de ventas: 3 bombas.....	37
Tabla 5.7	Configuración de las redes DeviceNet	40
Tabla 6.1	Representación gráfica de condiciones de operación en las bombas de ventas	42
Tabla 6.2	Niveles críticos en el manejo de los sumideros.....	45
Tabla 6.3	Verificación de condiciones de alarma: bombas de ventas.....	46
Tabla 6.4	Verificación de condiciones de alarma: bombas de sumideros.....	47
Tabla 6.5	Verificación de condiciones de operación: bombas de ventas.....	47
Tabla 6.6	Verificación de condiciones de operación: bombas de sumideros	48

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

La Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE) es una organización gubernamental que nace en el año de 1961. RECOPE nació como empresa privada con un pequeño porcentaje de participación por parte del gobierno costarricense (alrededor del 15%). Posteriormente, en el año de 1974, pasa por completo a manos del Estado.

Como empresa gubernamental, RECOPE tiene la misión de “satisfacer eficientemente las necesidades del mercado de hidrocarburos derivados del petróleo, fuentes alternas y cementos asfálticos, con productos y servicios de calidad, con seguridad industrial y responsabilidad ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible de Costa Rica”¹, lo anterior mediante el desarrollo, mantenimiento y operación de infraestructura de importación y exportación, procesamiento, almacenamiento, trasiego y distribución de combustibles; entre otras tareas y procedimientos.

RECOPE cuenta con infraestructura en distintos lugares del país denominado en conjunto como Sistema Nacional de Petróleo. Particularmente, en el plantel de distribución de La Garita, se han desarrollando proyectos de expansión y actualización del sistema de distribución de combustible: un conjunto de tanques de almacenamiento, motores, bombas, múltiples de válvulas y transmisores que permiten manipular el flujo de combustible según se requiera ya sea hacia los tanques de almacenamiento o hacia los patios de carga donde se distribuye el combustible a los camiones cisterna (ver figura 1.1).

¹ RECOPE. “Misión y Visión” [En Línea]. Costa Rica. < www.recope.go.cr > Consulta [28 de Abril del 2006]

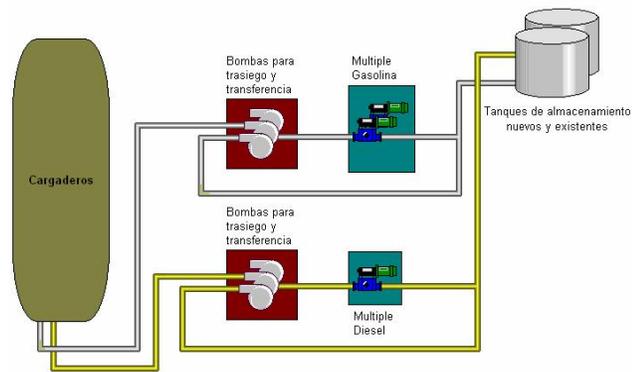


Figura 1.1 Esquema de distribución de combustible

A finales del año 2005, mediante un proceso de licitación pública, la empresa Sistemas IQ asumió la responsabilidad de suplir a RECOPE el hardware y la ingeniería necesaria para implementar el control del sistema de distribución de combustible. El hardware se había diseñado e instalado (en un 95%) para cumplir los requerimientos especificados por RECOPE; restaba como pendiente la ingeniería para el desarrollo del programa de control necesario para el adecuado funcionamiento del sistema así como la puesta en marcha del mismo.

El programa de control (tarea principal realizada por parte del estudiante) es el eje central de todo el sistema de control, por esta razón es de vital importancia. La puesta en término del proyecto permitió mejorar el sistema de distribución de combustible cuyas consecuencias se extendieron a los ámbitos económico y social, permitiendo ampliar la capacidad de distribución (alterando la productividad en el plantel) y reafirmar el compromiso de RECOPE de abastecer al país de fuentes energéticas derivadas de hidrocarburos.

1.2 Solución seleccionada

La solución seleccionada debió considerar los siguientes requerimientos eléctricos y de control:

1. Debió hacerse uso del controlador lógico programable (PLC) existente.
2. Debieron incluirse funciones de control, visualización operativa y alarmas.
3. El intercambio de datos se hizo por medio de redes DeviceNet.
4. El sistema de control emplea dos interfaces modulares cuya tensión de alimentación fue de 120 VAC, permitían la conexión de 128 puntos mínimo de entrada/salida o 64 canales analógicos y debían contar con un mínimo de 50% de reserva física para el crecimiento futuro.
5. Las interfaces debían contar con el software de programación respectivo, indicadores de diagnóstico de la red y de entradas/salidas.
6. Se debían tomar las provisiones necesarias para proteger las fuentes y los equipos remotos de transientes.

La figura 1.2 muestra la disposición general de los equipos que conforman la solución desarrollada. Dichos equipos fueron seleccionados con anterioridad y se explican con mayor detalle en el capítulo 5.

De manera general, la solución hace uso de una computadora en la cual corre una aplicación tipo SCADA para el monitoreo y adquisición de los datos directamente del controlador programable (PLC). El PLC se encarga de ejecutar el programa principal de control de manera que se cumpla con el algoritmo de distribución y manejo de eventos establecido (ver apartado 3.1, filosofía de operación). La mayoría de señales de entrada y salida se ubican en paneles remotos y se conectan al PLC por medio de redes DeviceNet (existen también señales de entrada y salidas locales). La red DeviceNet permite también arrancar o parar los motores-bombas involucrados en el sistema a través del centro de control de motores (CCM).

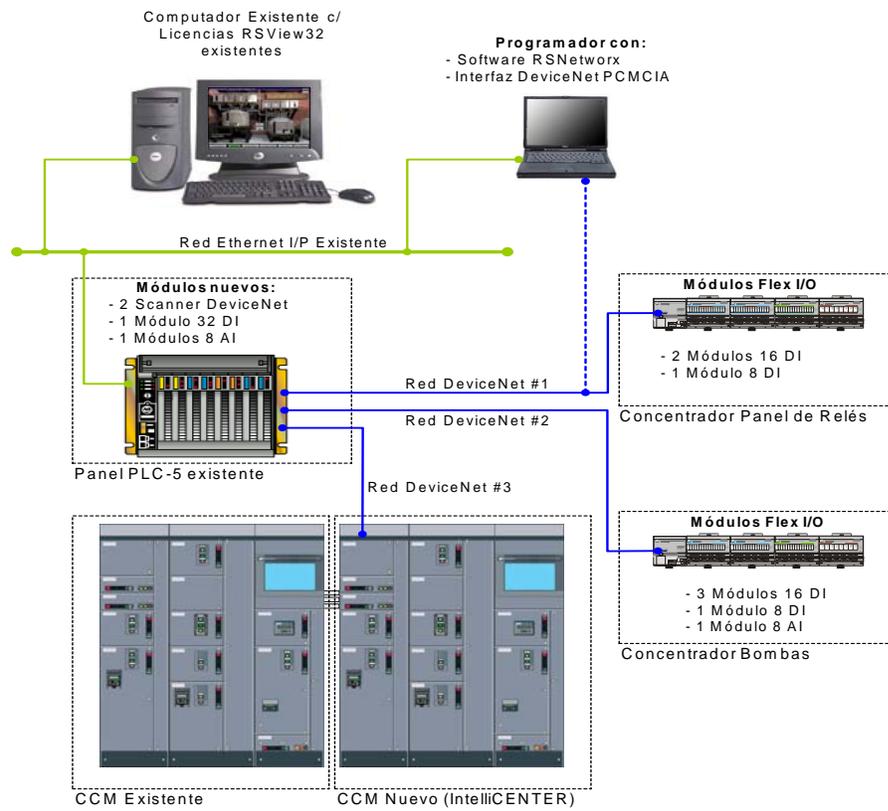


Figura 1.2 Disposición de equipos que conforman la solución desarrollada

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

- Contribuir al desarrollo del proyecto de modernización y actualización del sistema de distribución de combustible en el plantel mediante la programación y puesta en marcha del sistema de control y monitoreo.

2.2 Objetivo general

- Desarrollar el programa de control y la aplicación monitoreo para el plantel de distribución de combustible de RECOPE ubicado en La Garita.

2.3 Objetivos específicos

a. Objetivos hardware

- Analizar contra requerimientos, el hardware seleccionado por Sistemas IQ para el desarrollo del proyecto.
- Seleccionar y justificar, en caso de ser necesario, equipo y modificaciones al hardware instalado.

b. Objetivos de software

- Programar rutinas de arranque y paro de motores/bombas, horas de funcionamiento y acondicionamiento de señales.
- Programar rutinas de diagnostico de equipos.
- Programar rutinas de alternado de equipos.
- Programar alarmas y pantallas de operación del sistema de control
- Configurar la red DeviceNet para el intercambio de datos entre el controlador programable, los concentradores de señales de campo y el centro de motores.

c. Objetivos de documentación

- Modificar, en caso de ser necesario, los planos eléctricos para: panel del controlador, concentradores de señales y CCM.
- Elaborar un manual de usuario y operación del sistema para RECOPE
- Elaborar un informe final del proyecto para su revisión en la Escuela de Ingeniería en Electrónica del Tecnológico.

d. Objetivos de implementación

- Capacitar al personal de RECOPE mediante el uso del manual de usuario y de operación del sistema y considerando el nivel de conocimiento técnico de operadores y personal de mantenimiento de la planta.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del sistema: filosofía de operación

3.1.1 Sistema de bombeo a cargaderos.

El sistema de bombeo a cargaderos consiste de un grupo de bombas operando en paralelo, un sistema para el bombeo de diesel y otro para el bombeo de gasolina. Estos sistemas están conectados en la succión a los múltiples correspondientes, lo que les permite alinear los tanques de producto para envío a cargaderos (ver figura 3.1).

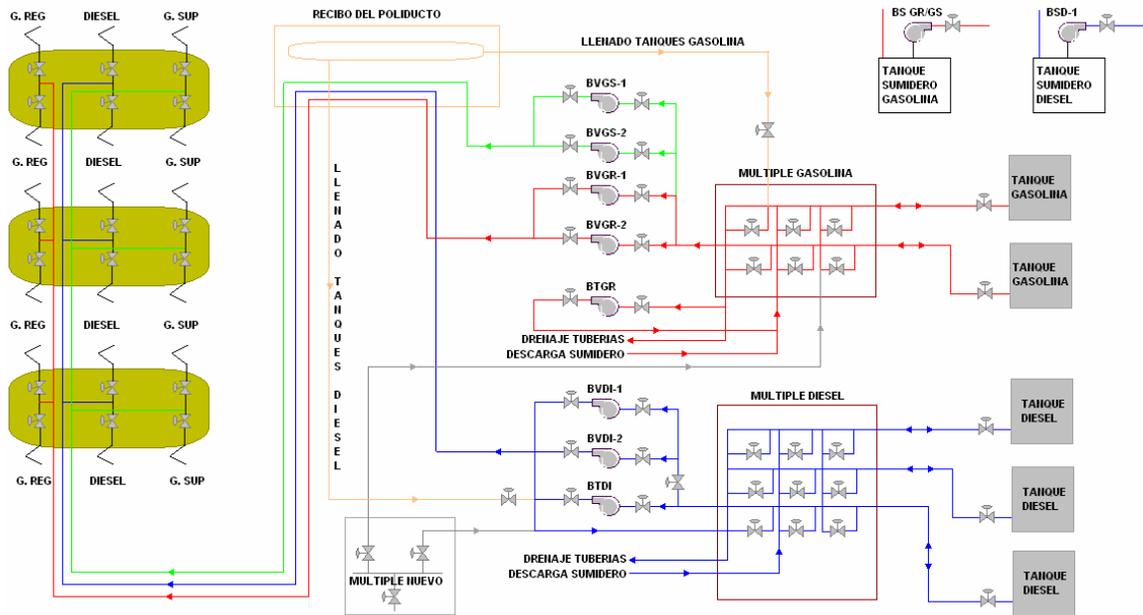


Figura 3.1 Esquema de distribución plantel de La Garita

Componentes del sistema

Cada sistema de bombeo consiste de dos bombas instaladas en paralelo, y una tercera bomba que en el caso de bombeo de diesel, se puede utilizar como bomba hacia cargaderos o como bomba de trasiego entre tanques. En el caso de bombeo de gasolina, la tercera bomba es exclusivamente para trasiego de producto entre tanques. La figura 3.2 resume el comportamiento que debe presentar las bombas de ventas.

Cada conjunto motor-bomba incluye los siguientes equipos para instrumentación y control:

- Ubicados en el campo cerca de las bombas:
 - Un interruptor de caudal instalado en la descarga de las bombas.
 - Un selector local / remoto (L/R).
 - Una botonera para arranque y paro (A/P).

Todas estas señales están alambradas al concentrador CA-1, localizado cerca de los múltiples de las bombas.

- Ubicado en el centro de control de motores, en la gaveta que corresponde a cada motor:
 - Un selector Manual/Desconectado/Automático (M/D/A).
- Ubicado en la caja de botoneras para operación manual CA-3, localizado en el costado noreste del patio de cargaderos:
 - Una botonera de arranque y paro (A/P) para cada motor.

Operación del sistema de bombeo a cargaderos en automático

La operación automática implica el arranque y paro de las bombas por medio de las órdenes desde las unidades de control de carga, ubicadas en las islas de abastecimiento. Estas unidades accionan los relés que se ubican en el concentrador CA-2. La operación depende de la entrada en operación de uno o más brazos de carga.

Para que se permita la operación en automático de estas bombas, el selector L/R del campo debe estar en posición remota y el selector M/A del CCM debe estar en posición automática. De lo contrario, el sistema de control debe bloquear la orden desde la unidad de control para el arranque de la bomba correspondiente.

Cumplida la condición anterior, con la entrada de un brazo de carga y hasta cuatro, el sistema de control debe de arrancar una bomba. La entrada del quinto brazo implica una orden para el arranque de la segunda bomba, que tiene capacidad de alimentar, junto con la otra bomba, el total de ocho brazos de carga.

La secuencia inversa de salida de bombas se produce al salir de operación el quinto brazo de carga, lo que genera la orden de paro de la primera bomba. La salida de operación del último brazo de carga, provoca la detención de la única bomba operando.

La entrada de las bombas se debe de alternar, de manera que en el siguiente arranque de la primera bomba, la orden corresponda a la bomba que antes funcionaba como segunda.

En el caso del sistema de bombeo de diesel, existe una tercera bomba que puede operar para alimentar los cargaderos o para transferencia de combustible entre tanques. Esta bomba normalmente está alineada para transferencia de combustible entre tanques. En caso de que se alinee para alimentar los cargaderos, se debe alternar su operación con el resto de bombas de este producto (ver apartado 4.1.3 para la operación de esta bomba).

Todas las bombas están protegidas por el interruptor de bajo caudal (FSL), de manera que al presentarse esta condición se presenta en la pantalla del operador una indicación de alarma y el programa de control detiene la bomba en operación respectiva.

En operación automática, el sistema de control debe permitir operar en caso de falla del interruptor de bajo caudal. Para este efecto, se debió programar un comando desde la pantalla de operador, al cual se tiene acceso con una clave, por medio del cual el operador puede autorizar la operación de una bomba sin protección por bajo caudal. Esto en el caso que se conozca que ha fallado el interruptor o que el mismo ha sido desinstalado para mantenimiento.

En el caso de que una de las bombas quede sin caudal y se produzca el disparo correspondiente, si la otra no presenta esta condición, puede seguir operando; sin embargo, la bomba disparada no arrancará de forma secuencial hasta que la alarma haya sido reconocida por el operador. El sistema emite una alarma por “*bomba secuencial en falla*” hasta que se reconozca la alarma de la bomba que se disparó.

Operación del sistema de bombeo a cargaderos en manual.

Existen dos opciones para la operación manual de los sistemas de bombeo a cargaderos:

1. Operación en el campo cerca de las bombas.

Esta operación denominada operación manual local, se permite al poner el selector L/R en posición local y por medio de las botoneras de A/P controlar la operación del sistema de bombeo. En este caso, el selector M/A ubicado en el CCM, debe mantenerse en posición automático.

Durante la operación manual local, el sistema debió programarse de manera que se bloqueara la protección de la bomba por bajo caudal y cualquier condición de arranque o disparo desde el PLC o arranque desde la caja de botoneras CA-3. Esta condición de operación se da solo para efectos del mantenimiento del sistema de bombeo.

2. Operación manual desde la caja de botoneras ubicada cerca de cargaderos

En el patio de cargaderos, al lado noreste, se localiza una caja de botoneras de arranque y paro, designada CA-3. Esta caja permite operar el sistema en forma manual, en caso de falla de la red DeviceNet, o de falla algunos de los equipos que conforman esta red y que impidan la operación automática.

Como condición para la operación manual desde estas botoneras, el selector M/A del CCM debe colocarse en posición manual, lo que habilita la operación desde la caja CA-3. Los comandos de estas botoneras actúan directamente sobre los arrancadores de los motores, por lo que la operación es completamente manual y sin protección de los interruptores de bajo caudal.

El sistema de control debe, en caso de estar activo, de monitorear la posición del selector M/D/A de cada arrancador, de tal forma que se genere una alarma cada vez que alguno de estos no este en posición automática.

Señalización y alarmas del sistema de bombeo a cargaderos

Las siguientes alarmas se programaron en la terminal del operador, respecto a cada bomba del sistema de bombeo a cargaderos:

- Alarma por bajo caudal en cada bomba
- Alarma por posición Local del selector L/R
- Alarma por posición no automática del selector M/D/A
- Alarmas generadas por los arrancadores de cada motor
- Alarma por bloqueo de la protección de bajo caudal.

La señalización en pantalla incluye lo siguiente:

- Estado de las bombas (operando o detenida).
- Indicación permanente en caso de operación sin protección por bajo caudal.
- Estado de las unidades de control (cargando o detenida)

Resumen de estado de selectores y acciones

La forma de operación para las bombas de cargaderos definida anteriormente, se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 3.1 Síntesis de funcionamiento: bombeo a cargaderos

Selector de campo	Selector de CCM	Pulsador de campo		Pulsador de la caja CA-3		Ordenes por medio de la red, desde el PLC		
		A	P	A	P	A	P	D
L	Auto	X	X		X			
L ó R	M			X	X			
R	Auto		X		X	X	X	X

Nota: L=local, R= remoto, A=arranque, P=paro, D=disparo por bajo caudal, M>manual, PLC=controlador lógico programable, X= habilitado

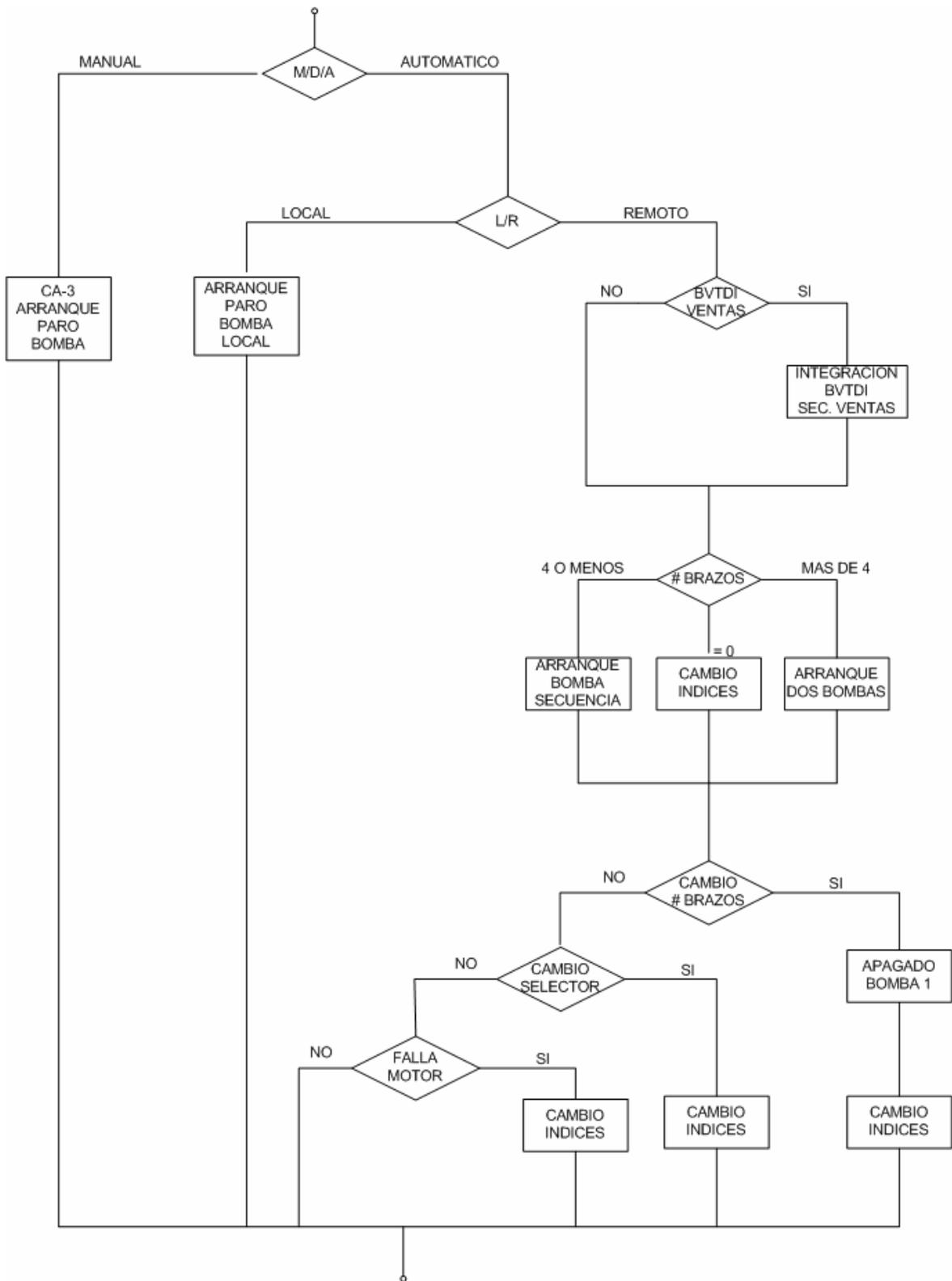


Figura 3.2 Diagrama de flujo bombas de ventas de combustible

3.1.2 Sistema de Sumidero de diesel, gasolina, drenaje de tubería y sumidero de la estación.

Existen en este plantel cuatro sumideros: uno para diesel, otro para gasolina, otro para drenaje de líneas y otro sumidero para varios productos del plantel.

Componentes del sistema

Cada sumidero incluye un sistema de bombeo para enviar el producto almacenado a los tanques correspondientes.

Los equipos de instrumentación y control incluidos en los sumideros son los siguientes:

- Ubicados en el campo, en o cerca de los sumideros:
 - Un interruptor de bajo caudal (FSL).
 - Un transmisor de nivel del tipo RADAR (LT).
 - Un selector local / local con protecciones (L/LP).
 - Una botonera de arranque paro (A/P).

Todas estas señales están alambradas al concentrador de señales CA-1 en el caso de los sumideros de gasolina y diesel, y al PLC en el caso del sumidero de la estación y del sumidero de drenaje de líneas.

- Ubicado en el centro de control de motores, en la gaveta que corresponde a cada motor:
 - Un selector Manual/Desconectado/Automático (M/D/A).

La figura 3.3 muestra el diagrama de flujo del comportamiento que muestra el sistema de sumideros.

Operación del sistema de sumideros en automático

Para la operación automática, el selector de campo L/LP debe estar en posición local con protecciones y el selector M/A del CCM en posición automática. En caso de que se cambie la posición a alguno de estos selectores, se genera una alarma, alertando al operador sobre la imposibilidad del apagado automático de la bomba, en caso de bajo nivel o pérdida de caudal.

Por medio de la medición de nivel, cuyo valor llega al PLC, se supervisa el nivel del tanque para su operación (llenado y vaciado). Además, se programaron en la terminal remota, dos niveles de consigna para dar alarma: uno cuando el nivel se encuentre en un quince por ciento (15%) por encima del nivel mínimo de succión requerido por la bomba sumidero, equivalente a alarma por bajo nivel en el tanque (LAL); el otro nivel de consigna para dar alarma, es cuando el nivel de líquido (producto) se encuentre en un diez por ciento (10%) por debajo del tope superior del tanque horizontal y da alarma de alto nivel en el tanque (LAH). De las anteriores alarmas, la de bajo nivel genera toma de acción sobre la bomba, apagando la misma. De la misma forma, se programaron alarmas en un diez por ciento (10%) por encima del nivel mínimo de succión requerido por la bomba (LALL) y otra en un cinco por ciento (5%) por debajo del tope superior del tanque horizontal (LAHH), la cual también genera alarma para toma de acción por el operador.

Aparte de lo anterior, se debió programar en la terminal del operador una alarma por movimiento de nivel en el tanque, de manera que se pudiera detectar una variación de nivel provocada por el disparo de una de las válvulas de alivio u otra condición anormal que pueda descargar producto en el sumidero. Esta alarma es activada por el operador en el momento que él necesite supervisar movimiento del nivel en el tanque y funciona de la siguiente forma: una vez activada por el operador (mediante un botón etiquetado como “*capturar nivel*”), el sistema almacena el valor que tenga el

sumidero en ese momento y genera una alarma si el valor de nivel cambia hacia arriba o abajo en un valor igual o mayor al 2cm al nivel de referencia.

En lo que corresponde al control de la bomba, el selector de campo tiene una posición “L” para operación local sin protecciones y una posición “LP” para operación local con protecciones. En ambas posiciones la bomba se puede arrancar y parar localmente; sin embargo, en la posición LP la bomba queda protegida por la protección de bajo caudal y la protección de bajo nivel.

La posición del selector L/LP en posición local con protecciones permite, además, la operación de secado del sumidero. Esta operación, que se da después de que la bomba se ha detenido por bajo nivel y permite arrancar de nuevo la misma hasta que se elimine totalmente el producto del sumidero. Para este efecto, se debió programar en la terminal remota del operador un comando que permitía operar en este modo, bloqueando el disparo por bajo nivel y manteniendo la protección por bajo caudal de la bomba. Como respaldo a esta protección se debió programar un temporizador que entraba a operar a partir de la orden de arranque en modo de vaciado total del sumidero y que superado el tiempo daba la orden de paro del motor si el mismo no se ha disparado por bajo caudal. El comando desde la terminal del operador está acompañado de una indicación visual que alerta al operador de que el sumidero está en este modo de operación y genera un registro de alarma.

De la misma forma que en el caso de las bombas de cargaderos, el sistema de control permite la operación de las bombas de sumidero en caso de falla conocida del detector de bajo caudal.

Además, la posición del selector de campo en LP permite el arranque y paro de la bomba del sumidero desde la terminal del operador por medio de botoneras dibujadas en la pantalla de la terminal y la ayuda del ratón.

Operación del sistema de sumideros en manual

1. Operación manual local sin protecciones

Este control se realiza por medio de botoneras de arranque y paro localizados en el campo, cerca de la bomba. Para realizar esta operación el selector L/LP debe estar en posición local. En este caso, la bomba opera sin protección por bajo caudal y bajo nivel. Además, se bloquean los comandos de arranque desde la terminal del operador. Esta operación se ha concebido para mantenimiento y requiere que el selector en el CCM este en posición automático.

2. Operación manual desde el CCM

Para la operación desde el CCM, el selector de campo puede estar en cualquier posición y el selector M/D/A, ubicado en el CCM, debe estar en posición manual. Esta posición manual del selector M/D/A implica el arranque directo del equipo.

Esta operación se ha dejado básicamente para efectos de mantenimiento y para poder operar el sistema en caso falla de la red o alguno de los equipos que conforman la misma y que impidan el arranque por medio de esta.

Señalización y alarmas del sistema de sumideros.

Las siguientes alarmas se programaron en la terminal UTR para cada sistema sumidero:

- Alarma por alto nivel en el tanque sumidero (LAH).
- Alarma por muy alto nivel en el tanque sumidero (LAHH).
- Alarma por bajo nivel en tanque sumidero (LAL).
- Alarma por muy bajo nivel en tanque sumidero (LALL).
- Alarma por posición Local del selector L/LP.

- Alarma por posición no automática del selector M/D/A del CCM.
- Alarmas generadas por los arrancadores de cada motor.
- Alarma por bloqueo de la protección de bajo caudal.
- Alarma por bajo caudal de la bomba del tanque sumidero.
- Alarma por movimiento de nivel en tanque sumidero.

La señalización en pantalla incluye:

- Estado de la bomba (operando o detenida).
- Indicación permanente en caso de operación sin protección por bajo caudal.
- Indicación continua de nivel en pantalla.
- Registro de la variable de nivel en pantalla.
- Indicación en caso de modo de operación de secado del tanque sumidero.

Resumen de estado de selectores y acciones

La siguiente tabla resume la forma de operación de la bomba del sumidero:

Tabla 3.2 Síntesis de funcionamiento: bombas de sumidero

Selector de campo	Selector de CCM	Pulsador de campo		Ordenes por medio de la DeviceNet		
		A	P	A	P	D
L/LP	M/D/Auto	A	P	A	P	D
L	Auto	X	X			
LP ó L	M					
LP	Auto	X	X	X	X	X
LP (reset)	Auto	X	X	X	X	X

Notas: D= disparo por bajo nivel y bajo caudal o disparo por bajo caudal y tiempo en modo de vaciado de sumidero (reset), X= habilitado

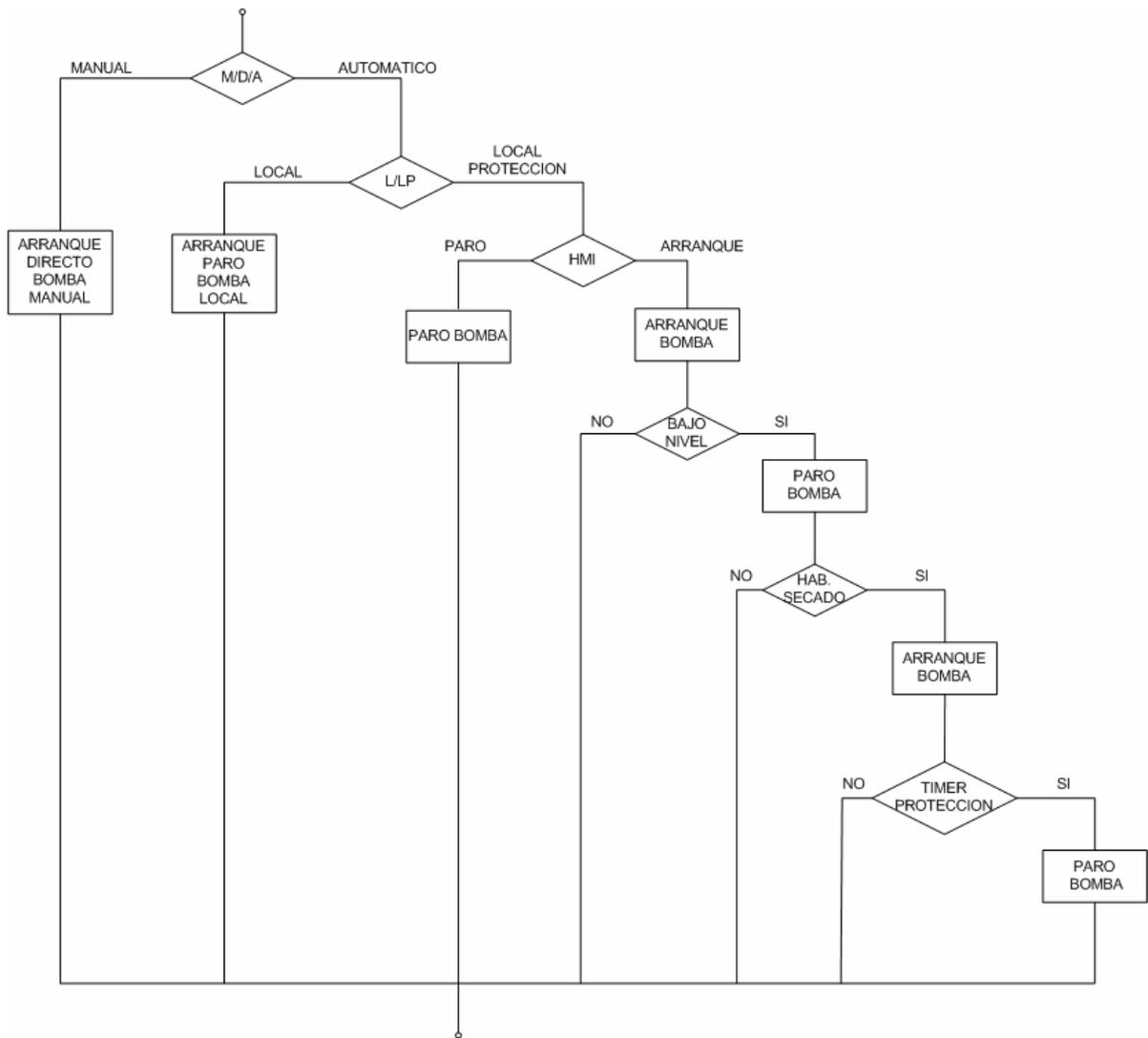


Figura 3.3 Diagrama de flujo sistema de sumideros

3.1.3 Sistema de transferencia

Componentes

Cada sistema de transferencia incluye un sistema de bombeo para recirculación del producto almacenado en los tanques. Los equipos de instrumentación y control incluidos en los sistemas de bombeo de transferencia son los siguientes:

- Ubicados en el campo, en o cerca de las bombas:
 - Un interruptor de bajo caudal (FSL).
 - Un selector local / remoto (L/R).
 - Una botonera de arranque paro (A/P).

Todas estas señales están alambradas en el concentrador de señales CA-1.

- Ubicado en el Centro de control de motores, en la gaveta que corresponde a cada motor:
 - Un selector Manual / Automático (M/D/A).

La figura 3.4 muestra el diagrama de flujo para el sistema de transferencia.

Operación de las bombas de transferencia en automático.

En el caso de las bombas de transferencia, la operación automática implica que la bomba queda protegida por bajo caudal. Existen dos bombas de transferencia en este proyecto: una para transferencia de diesel y otra para transferencia de gasolina.

La bomba de transferencia de diesel tiene la característica de que puede alinearse para operar como bomba de cargaderos o como bomba de transferencia. En el caso de que esta bomba esté alineada para transferencia entre tanques, se programó un comando en la pantalla de la terminal UTR que permite seleccionar esta bomba para esta función y que le indica al sistema de control que la bomba no debe recibir comandos para arranque secuencial desde las unidades de control de cargaderos.

No existe ninguna condición en el campo que permita al PLC conocer si esta bomba está alineada para cargaderos o para transferencia. Por lo tanto, es el operador, por medio de la aplicación de monitoreo, el que debe indicar al sistema de control esta condición.

El selector de campo L/R tiene una posición L para operación local y una posición R para operación remota. En posición local, la bomba se puede operar desde las botoneras de A/P localizadas al lado de la bomba, la operación de la bomba está protegida por bajo caudal, pero no permite comandos de arranque desde la terminal remota de operador.

En el caso de seleccionar el selector L/R en posición remota, el arranque y paro de la bomba se realiza desde la terminal remota del operador. Igual que en el caso anterior, la bomba queda protegida por bajo caudal. Además, el sistema permite operar en caso de falla del interruptor de caudal.

Operación manual de la bomba de transferencia.

Esta operación se ha dejado básicamente para efectos de mantenimiento. Permite operar el sistema en caso falla de la red o alguno de los equipos que conforman la misma y que impidan el arranque por medio de esta.

La operación manual implica una operación directa desde el CCM, sin la protección por bajo caudal. Para habilitar este modo de operación, el selector M/D/A del CCM se debe colocar en posición manual, lo que implica un arranque directo del motor.

Señalización y alarmas de las bombas de transferencia.

Las siguientes alarmas se programaron en la terminal del operador (UTR), respecto a cada bomba de transferencia:

- Alarmas generadas por los arrancadores de cada motor.
- Alarma por bloqueo de la protección de bajo caudal.
- Alarma por bajo caudal de la bomba de transferencia.
- Alarma por posición no automática del selector M/D/A del CCM.

La señalización en pantalla incluye lo siguiente:

- Estado de la bomba (operando o detenida).
- Indicación permanente en caso de operación sin protección por bajo caudal.
- Indicación de posición del selector L/R.

Resumen de estado de selectores y acciones

La siguiente tabla describe el modo de operación de esta bomba, de acuerdo con la posición de los selectores:

Tabla 3.3 Síntesis de funcionamiento: bombas de transferencia

Selector de campo	Selector de CCM	Pulsador de Campo		Ordenes por medio de la red DeviceNet		
		A	P	A	P	D
L	Auto	X	X		X	X
R	Auto		X	X	X	X
L ó R	M					

Notas: D= disparo por bajo caudal, X= habilitado

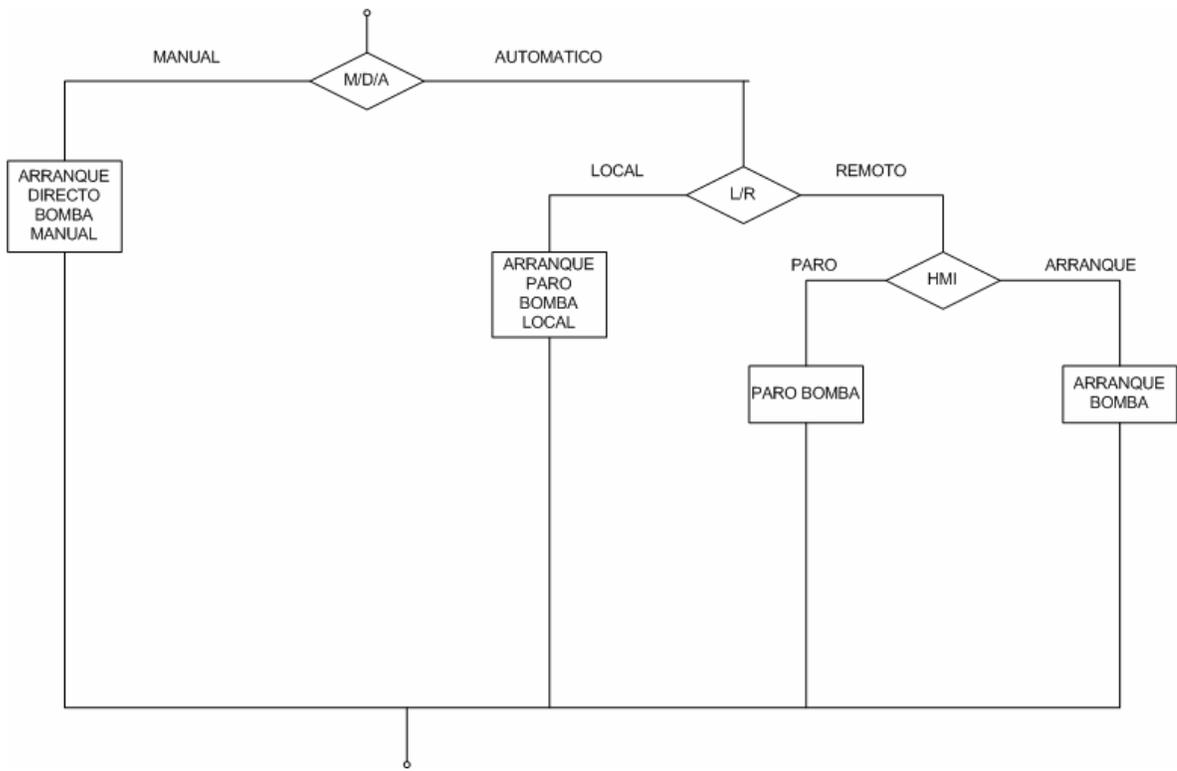


Figura 3.4 Diagrama de flujo sistema de transferencia

3.2 Antecedentes bibliográficos

3.2.1 SCADA²

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

3.2.2 Controlador lógico programable PLC-5

Es un controlador modular que ofrece flexibilidad en programación, manejo de redes y módulos de entrada/salida (ver anexo B.1).

El PLC-5 permite el manejo de gran cantidad de señales de entrada/salida así como uso de memoria (desde 6K hasta 100 K words). Permite el control de módulos de entrada/salida remotos, se ubican en la posición izquierda del chasis que lo contenga. La capacidad de los chasis varía desde 4 hasta 16 módulos. La densidad de los módulos es de 8, 16 o 32 puntos de entrada/salida por módulo. El PLC-5

² Autómatas Industriales. "Sistemas SCADA" [En Línea]. < www.automas.org > Consulta [20 de Abril del 2006]

soporta los siguientes tipos de redes de datos: EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet, DH+, RS-232-C.

3.2.3 Bus de campo DeviceNet³

Un bus de campo es un sistema de transmisión de datos que simplifica la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. Son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC, transductores, actuadores, sensores y dispositivos inteligentes. Todo esto con una capacidad de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus. En teoría, un sistema "abierto" permite que en una red de control y automatización se conecten diferentes dispositivos suministrados por diversos proveedores sin necesidad de construir interfases dedicadas para cada uno de los dispositivos.

Características de DeviceNet

- Número máximo de nodos por red: 64 en topología de bus con derivaciones.
- Distancia máxima: 100 m a 500 m. y hasta 6 km (con repetidores), y en velocidades de 125, 250 y 500 Kbps.
- Emplea dos pares trenzados: control y alimentación, con alimentación en 24 VDC, con opción de redundancia.
- Transmisión basada en el modelo productor/consumidor con un empleo eficiente de ancho de banda y con mensajes desde 1 byte hasta largos ilimitados.
- Reemplazo automático de nodos, no requiere de programación y elevado nivel de diagnósticos.

³ Revista Electroindustria. "Tecnologías: DeviceNet, un bus de campo" [En Línea]. Santiago, Chile. < www.emb.cl > Consulta [20 de Abril del 2006]

3.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

3.3.1 Diagramas secuenciales y de flujo.

Un diagrama de flujo representa la esquematización gráfica de un algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos o procesos a seguir para alcanzar la solución de un problema. Su correcta construcción es sumamente importante porque, a partir del mismo se escribe un programa en algún lenguaje de programación. Si el diagrama de flujo está completo y correcto, el paso del mismo a un lenguaje de programación es relativamente simple y directo.

Un diagrama de flujo describe: lugares de origen y destino de los datos, transformaciones a las que son sometidos los datos, lugares en los que se almacenan los datos dentro del sistema, los canales por donde circulan los datos.

3.3.2 Supresión de trasientes

Un trasiente eléctrico son voltajes de alta magnitud, pero de muy corto tiempo de duración (del orden de nano o micro-segundos). Las sobretensiones más evidentes y visibles son las producidas por descargas atmosféricas (rayos) o caída de poste (alumbrado público). Sin embargo la mayor parte de las sobretensiones, se genera dentro de las propias instalaciones (aproximadamente un 65 %) y son causadas generalmente por partidas/paradas de motores, encendido/apagado de cargas conectadas a la red comercial.

En muchos casos las sobretensiones llegan a destruir el hardware por completo, por lo cual eliminarlas se hace esencial para una operación fiable de los equipos.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El reconocimiento y definición del problema se estableció a través de reuniones entre personeros de Sistemas IQ, RECOPE y la compañía HL Ingenieros. De igual forma, aspectos de filosofía de operación indispensables para el desarrollo del programa de control y monitoreo se definieron por medio de reuniones y documentos generados entre los participantes mencionados anteriormente y el estudiante.

4.2 Obtención y análisis de información

Las fuentes de información que permitieron asistir al estudiante en el proceso de solución al problema fueron variadas y se listan en la siguiente tabla.

Tabla 4.1 Fuentes de información

Categoría	Fuente de información	Ejemplo
Hardware	Manuales de los equipos Ingenieros de SIQ	PLC-5, Módulos Flex I/O
Programación/Software	Manuales de aplicaciones Ingenieros de SIQ	RSLogix 5, RSView32, RSNetworkx para DN
Operación y distribución de sistema	RECOPE	Planos de infraestructura Datos de instrumentación Sugerencias de operación

Los manuales de equipo y aplicaciones de software se obtuvieron por medio de Internet descargándolos directamente de la página del fabricante. Se realizaron reuniones con el personal de RECOPE e ingenieros de SIQ con el propósito de despejar dudas acerca del funcionamiento, distribución del sistema y consejos para el manejo de hardware y programación.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Desde el punto de vista del hardware (y en los casos que fue necesario) la reevaluación de alternativas consideró aspectos como: costo, disponibilidad y respaldo en el país, experiencias anteriores de uso, tiempo de entrega y soporte.

Desde el punto de vista del software, mediante simulaciones, se evaluaron las estrategias de control y se realizaron modificaciones correctivas.

4.4 Implementación de una solución

El programa de control y monitoreo debió ser simulado y aprobado previo a la realización de pruebas de campo empleando el hardware dimensionado e instalado.

En conjunto con el personal de RECOPE, el estudiante realizó pruebas que aseguraron el correcto funcionamiento del sistema. Estas pruebas utilizaron los equipos conectados y energizados, de manera que se puso en evidencia errores y debilidades del programa de control y monitoreo ante situaciones reales de operación.

Cuando el sistema de control obtuvo la aprobación por parte de RECOPE, se debió entregar un manual de operación y mantenimiento; posteriormente se capacitó al personal del plantel.

4.5 Reevaluación y rediseño

El proceso de reevaluación y rediseño se aplicó de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas durante el desarrollo de proyecto. Su objetivo fue el de solucionar los problemas que surgían, y que involucraban aspectos de hardware y secuencia de operación por medio de la programación, en el momento en que se aplica la prueba y esta no da resultados positivos.

El proyecto debe ser aprobado por RECOPE, por lo tanto, la reevaluación y rediseño también esta condicionada por la opinión que los expertos de RECOPE generen.

Capítulo 5: Explicación detallada de la solución

5.1 Análisis y selección de la solución

En el apartado 4.1 se mencionó que la problemática fue definida, principalmente, con anterioridad por parte del personal de RECOPE (departamento de ingeniería), permitiendo de esta manera dar los lineamientos para la implementación de una solución (es decir que el proyecto toma como base la solución propuesta por la empresa, en este caso RECOPE). La figura 5.1 muestra el esquema general de la solución desarrollada.

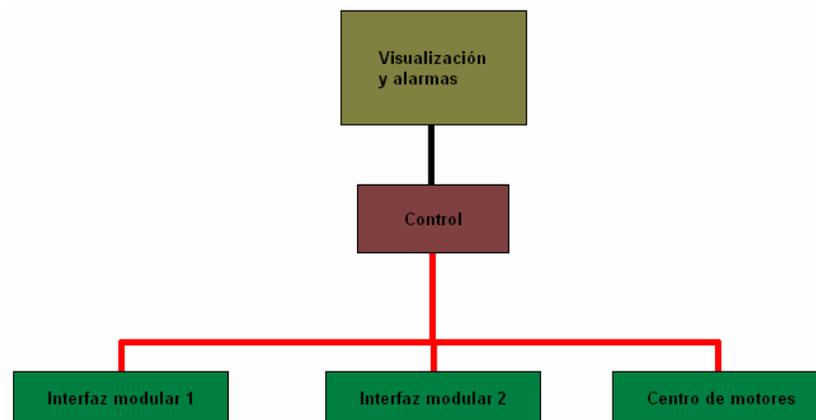


Figura 5.1 Esquema general de la solución

La solución desarrollada consta de cinco bloques principales: un bloque de visualización, un bloque de control, dos interfaces modulares y un centro de motores. La interconexión entre bloques se hace por medio de redes DeviceNet (en el caso de las interfaces modulares, el centro de motores y el bloque de control) y por medio de la red DH+ (comunicación entre el bloque de control y el bloque de visualización).

El empleo de la red DeviceNet toma como fundamento el que la gran mayoría de las señales digitales y analógicas provenían de equipos distantes con respecto a la ubicación del bloque de control por lo que definir dos interfaces modulares (CA-1 y CA-2) para la concentración de señales de campo y posteriormente transferir toda la

información de campo al bloque de control (PLC) mediante un solo bus de datos facilitaría el manejo de la información y permitiría reducir costos en cuanto a cableado y la adquisición de módulos de entrada/salida asociados al bloque de control.

Básicamente, las interfaces modulares se encargan de recolectar la información de campo y permitir que esta se encuentre disponible al PLC o bloque de control, mediante DeviceNet, para la ejecución del programa de control permitiendo que el sistema se comporte según se describió en la sección 3.1 de este informe. Las acciones del programa de control se reflejan, principalmente, en el bloque del centro de motores ya que este contiene los arrancadores de las bombas involucradas en el funcionamiento del sistema.

5.2 Descripción del hardware

El proyecto hace uso de una plataforma de hardware que estaba dimensionada e instalada casi en su totalidad. No obstante se procederá a describir brevemente los equipos debido a que el estudiante tuvo que interactuar y conocer la forma en que operaban. Además, porque estos equipos, a pesar de que constituyen soluciones comerciales muy acabadas, constituyen un eslabón importante en el desarrollo de la solución.

5.2.1 Interfaces modulares

Las interfaces modulares CA-1 y CA-2 están formadas principalmente por módulos de entradas digitales y analógicas de la familia Flex I/O de la marca Allen Bradley. La distribución de estos módulos, para cada interfaz, se resume en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Distribución de módulos Flex I/O en las interfaces modulares

Módulo (modelo)	CA-1	CA-2	Descripción
1794-PS3	1	1	Fuente 24 VDC @ 3A
1794-ADN	1	1	Adaptador DeviceNet
1794-IB16	4	3	Módulo 16 entradas digitales @24 VDC
1794-IE8	1	--	Módulo 8 entradas analógicas

NOTA: mayor información de estos equipos en el apéndice B.2 y B.5 También en el sitio www.ab.com

El módulo 1794-ADN constituye el módulo de mayor importancia ya que éste se encarga de recolectar la información de cada módulo de entradas y publicarla a través de la red DeviceNet. También distribuye la información proveniente de la red DeviceNet hacia los módulos de entrada (parámetros de configuración, principalmente).

5.2.2 Centro de control de motores (CCM)

El CCM contiene los arrancadores y las interfaces de comunicación DeviceNet para cada una de las bombas involucradas en el proyecto. Las potencias de los equipos varían entre 7.5 y 50 caballos de fuerza (HP). La tabla 5.2 lista los equipos que se controlan.

Tabla 5.2 Equipos contenidos en el CCM

Equipo	Etiqueta	Interfaz DeviceNet	Potencia (HP)
Bomba ventas diesel 1	BVDI-1	E3	40
Bomba ventas diesel 2	BVDI-2	E3	40
Bomba gasolina regular 1	BVGR-1	E3	50
Bomba gasolina regular 2	BVGR-2	E3	50
Bomba gasolina súper 1	BVGS-1	E3	50
Bomba gasolina súper 2	BVGS-2	E3	50
Bomba ventas Jet Fuel	BVJF	E3	40
Ventas/transferencia Jet Fuel	BVTJF	E3	40
Ventas/Transferencia diesel	BVTDI	DSA	40
Transferencia gasolina regular	BTGR	DSA	25
Sumidero diesel	BSD-1	DSA	10
Sumidero gasolina regular/súper	BS GR/GS	DSA	7.5
Sumidero Jet Fuel	BSJF	DSA	10
Bomba sumidero slop	BSS	DSA	15
Bomba slop	BS	DSA	30
Bomba sumidero principal	BS-1	DSA	20

Como se observa en la tabla existen dos interfaces de comunicación DeviceNet en el CCM: E3 y DSA (ver figura 5.2). Ambos dispositivos funcionan como arrancadores de motores. El DSA traduce señales asociadas al arrancador de la bomba y permite que se transmitan por la red. El dispositivo E3 cumple una función similar al DSA pero ofrece información adicional referente al equipo (corriente de consumo promedio y por fase, protección por sobrecarga, baja carga, pérdida de fase, entre otras).



Figura 5.2 Arrancador de motor para DeviceNet E3 y DSA

5.2.3 Panel de control

El panel de control está formado principalmente por un controlador lógico programable (PLC) de la familia PLC-5, el tamaño del rack es de 16 espacios. Este controlador tiene asociado dos escáner de DeviceNet cuya función es la de recolectar y enviar la información suministrada y requerida por los módulos ADN en las interfaces modulares y los dispositivos E3 y DSA en el centro de control de motores; cuenta también con un módulo de entradas digitales y uno de entradas analógicas. La disposición del rack de control se lista en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Disposición de equipo: rack de control

Módulo	Slot	Descripción
PLC-5/40	--	Controlador programable
1771-SDN	1	Escáner de DeviceNet
1771-SDN	2	Escáner de DeviceNet
1771-IFE	5	Módulo de entradas analógicas
1771-IBN	10	Módulo de 32 entradas digitales

En la memoria del controlador está el programa de control que permite funcionar el sistema de acuerdo a lo especificado. El detalle de programación se expone en la siguiente sección.

5.3 Descripción del software

5.3.1 Descripción de los principales programas de cómputo utilizados

RSLinx

RSLinx es un servidor de comunicación completo que proporciona la conectividad del dispositivo de planta, a través de distintas redes de datos, con los distintos programas de visualización y control desarrollados por Rockwell tales como: RSLogix 5 y RSView32.

El RSLinx proporciona una interfaz gráfica de uso fácil para navegar a través de la red. Esta basado en la arquitectura de Windows para su visualización con gráficas reales de los dibujos, los cuales guían al dispositivo de campo con la figura real, como si fuera una foto del mismo.

RSLogix 5

El RSlogix 5 es un programa que permite el desarrollo del programa de control a ejecutar en un proceso definido. Tiene una forma de programación en escalera con instrucciones típicas de los lenguajes de programación: suma, resta, escalamientos, PID's, entre otros.

Este funciona únicamente para la programación de los controladores lógicos programables (PLC's) del tipo PLC 5 de la marca Allen Bradley.

RSView32

RSView32 es una interfaz hombre-máquina (HMI por sus siglas en inglés). Permite el desarrollo de la aplicación de monitoreo mediante la cual el operario observa las condiciones de operación y toma acciones correctivas o de operación según se requiera (mediante gráficos que representan el proceso). El proyecto hace uso de la aplicación de monitoreo existente en el plantel de La Garita pero incluye nuevas pantallas y modificaciones de manera que la información requerida por el usuario para poner operar el sistema este siempre a su alcance.

RSNetWorx

Este software permite la configuración de la red DeviceNet. Permite, además, la configuración y modificación de parámetros de cada uno de los dispositivos en la red. La configuración de la red es descargada en el escáner de DeviceNet asociado al controlador.

El RSNetworx hace uso del RSLinx para poder obtener la conexión con los dispositivos mediante la configuración de un “driver” para DeviceNet según la interfaz de comunicación que se utilice.

5.3.2 Descripción de las rutinas de control

El programa de control está estructurado en 24 subrutinas o “ladders” (debido a la forma de programación del RSLogix 5). La tabla 5.4 lista el nombre y una pequeña descripción de la función que cumple cada “ladder”.

Tabla 5.4 Listado y descripción de "ladders" en el programa de control

Ladder	Nombre	Descripción
2	PRINCIPAL	Activa secuencias de operación y llama subrutinas del programa
3	COM	Rutina de configuración de comunicaciones DeviceNet
4	IO CONFIG	Rutina de configuración del módulo de entradas analógicas
5	SEC_VENTAS	Rutina de control de encendido y apagado de bombas de Ventas para Diesel, Gasolina Regular, Súper y Jet Fuel
6	SEC_SUMID	Rutina de control de niveles de tanques de sumideros de Diesel, Gasolina Regular/Súper, Slop y Jet Fuel
7		Rutina disponible para expansión
8	SEC_BUSQ	Rutina de búsqueda de estados de motores para las rutinas de Ventas, Respaldo (Resp) e Índice
9	SEC_RESP	Rutina de acción cuando uno de los motores en secuencia falla
10	SEC_INDICE	Rutina de control del índice de encendido de las bombas de Ventas de Diesel, Gasolina Regular, Súper y Jet Fuel
11		Rutina disponible para expansión
12		Rutina disponible para expansión
13		Rutina disponible para expansión
14		Rutina disponible para expansión
15	BLQ MTRS	Rutina de bloques de control de motores
16	BLQ HRS	Rutina de bloques de control de horas de operación y mantenimiento de motores
17	BLQ ALRM	Rutina de bloques de control de alarmas
18	BLQ SCL	Rutina de bloques de control de escalamiento de señales análogas
19		Rutina disponible para expansión
30	INTR MTR	Rutina de interconexiones de I/O a bloques de control de motores
31	INTR HRS	Rutina de interconexiones de I/O a bloques de control de horas
32	INTR ALRM	Rutina de interconexiones de I/O a bloques de control de alarmas
33	INTR SCL	Rutina de interconexiones de I/O a bloques de control de escalamientos
34		Rutina disponible para expansión
35		Rutina disponible para expansión

La descripción del modo de operación de las rutinas se hará tomando en consideración que el sistema está diseñado para permitir la operación de bombas pertenecientes a tres categorías: bombas de ventas, bombas de sumidero y bombas de trasiego o transferencia. Se iniciará con las bombas de ventas debido a que son las que presentan mayor complejidad

Rutinas de control bombas de ventas

Para cada tipo de combustible que se distribuye en el plantel (diesel, gasolina regular y súper) hay disponible dos bombas de ventas. Existe una excepción en el caso del diesel: la bomba de transferencia de diesel puede alinearse para ventas de manera que pueden existir, en algún momento, tres bombas de ventas de diesel.

El funcionamiento de las rutina de control de las bombas de ventas (ladder 5) parte de la cantidad de brazos de ventas que están activos para cada tipo de combustible (existen 8 brazos por cada tipo) y pueden operar máximo dos bombas. La rutina de control (el extracto del código de programa para el caso del diesel se muestra en el apéndice A.3) inicia evaluando cuantos brazos de distribución (Petrocounts) están operando y según esto determina el requerimiento de bombas que deben operar.

La secuencia de ventas también debe considerar las condiciones de los equipos. Esto se logra por medio de la rutina 8, la cual permite determinar:

- Cuantos equipos están fallados
- Cuantos equipos están encendidos
- Cuantos equipos están en modo automático y encendidos
- Cuantos equipos están apagados
- Cuantos equipos están apagados y en modo automático

El modo de los equipo se determina a través de la rutina 30 y depende básicamente de la posición del selector local/remoto que posee cada uno (ver sección 3.1.1).

La rutina de índice permite asignar y rotar el orden en el que los equipos deben encender. De esta manera, cuando el primero de los brazos de carga entra en operación, el requerimiento de bombas toma un valor de uno y se ordena el arranque de la bomba que tiene índice uno. La segunda bomba entra en operación cuando la cantidad de brazos en operación es mayor o igual a cinco, el requerimiento de

bombas toma valor de dos. Cuando la cantidad de brazos activos toma el valor de cuatro, la bomba que encendió primero se apaga y se hace un rotación de índices de manera que la bomba que se apaga se le asigna índice 2 (o 3, en el caso del diesel, cuando la bomba BVTDI está alineada para ventas) y la bomba que se mantiene encendida se le asigna índice 1.

Tabla 5.5 Secuencia rotación bombas de ventas: 2 bombas

Cañas	Motor 1	Motor 2
4	X	
5	X	X
4		X
5	X	X
4	X	
5	X	X
4		X
5	X	X
4	X	
5	X	X
4		X
5	X	X
4		X
5	X	X
4	X	
5	X	X

Tabla 5.6 Secuencia rotación bombas de ventas: 3 bombas

Cañas	Motor 1	Motor 2	Motor 3
4	X		
5	X	X	
4		X	
5		X	X
4			X
5	X		X
4	X		
5	X	X	
4		X	
5		X	X
4			X
5	X		X
4	X		
5	X	X	

Las tablas 5.4 y 5.5 muestran el comportamiento que presenta el funcionamiento de los motores gracias a la rutina de control de las bombas de ventas. La figura 5.3 muestra el diagrama de funcionamiento de las bombas de ventas.

Manejo de fallas

A través de los dispositivos E3, encargados de permitir el arranque de las bombas de ventas, es posible monitorear condiciones de operación de la bomba y detener su funcionamiento en caso de ser requerido. El E3 permite monitorear condiciones de:

- Sobrecarga
- Baja carga
- Pérdida de fase
- Desbalance de corriente

Además, para cada bomba, está disponible la protección de bajo caudal la cual detiene la operación del equipo.

Cuando la rutina de control de las bombas de ventas está en operación y se presenta alguna condición de operación no deseada de algún motor este se detiene. El reintegro del equipo que se detuvo y la normalización del sistema de ventas se realiza según este operando una o dos bombas.

Normalización del sistema con una bomba operando

Cuando el sistema de ventas funcionaba con solo una bomba y esta se detiene por alguna de las condiciones mencionadas anteriormente, la rutina de control ejecuta una rotación de índices y le asigna a la bomba fallada un índice 4 y si existe otra bomba en automático, apagada y sin falla le asigna índice 1. La normalización del sistema se realiza por medio de un comando de reestablecimiento presente en la pantalla del operador. Cuando se da el comando, la bomba con índice 1 entra en operación.

Normalización del sistema con dos bombas operando

Cuando el sistema de ventas funcionaba con las dos bombas y una de estas se detiene por alguna de las condiciones mencionadas anteriormente, el sistema queda funcionando con una sola bomba y cuando la condición de falla ha sido solucionada la bomba se reintegra al sistema por medio del comando de reestablecimiento.

En el caso del diesel, cuando la bomba BVTDI esta alineada para ventas, la rutina de control espera un tiempo y manda a encender la bomba BVTDI. La bomba fallada se reintegra al sistema por medio del comando de reestablecimiento.

En todos los casos, la aplicación de monitoreo le indica al operador que alguna bomba de la secuencia esta en falla. También muestra cual fue la condición que disparo el equipo.

Rutinas de control de las bombas de sumidero

La operación de las bombas de sumidero es totalmente manual, ya sea desde campo o desde la aplicación de monitoreo. Las condiciones que limitan su funcionamiento son el nivel y el caudal.

La aplicación de control informa al usuario del nivel presente en el tanque. El usuario decide el momento que da un comando de arranque a la bomba para vaciar el producto en el tanque. Cuando el nivel alcanza el valor establecido como nivel bajo la bomba se detiene.

La operación siguiente, si así se desea, es el secado del sumidero en la cual el usuario da el comando de secado y puede habilitar la operación de la bomba. La operación de la bomba se ve interrumpida por la operación del interruptor de caudal o por el temporizado de protección programado.

Las condiciones de nivel que generan alarma se manejan por medio de la rutina 6, su comportamiento se refleja por medio de la rutina 32 activando la programación de alarmas que contiene la rutina 17.

Rutinas de control de las bombas de trasiego

La operación de las bombas de trasiego es similar a las bombas de sumidero. El control es totalmente manual y esta condicionado al interruptor de caudal y protecciones que ofrece el arrancador en el CCM.

5.3.3 Configuración de la red DeviceNet

La comunicación entre el panel de control, las interfaces modulares y el CCM se realiza por medio de redes DeviceNet. La figura 5.4 muestra el esquema de red.

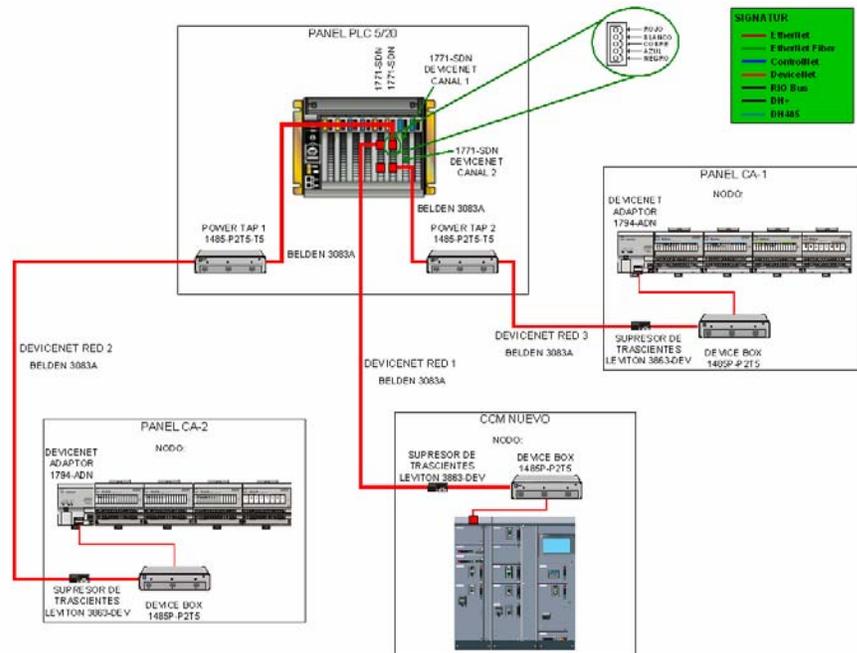


Figura 5.3 Diagrama de la red DeviceNet

La configuración de la red se hace por medio del RSNetworkx. Para cada red se debe configurar la cantidad de bytes que se leerán y se escribirán; el resumen de la configuración de muestra en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Configuración de las redes DeviceNet

Red	Nodos	Bytes entrada	Bytes salida	Velocidad (kbps)
DN 1	16	104	16	500
DN 2	1	8	6	125
DN 3	1	28	20	250

La rutina 3 permite, mediante la lectura y escritura de bloques de datos, transmitir al PLC la información que se genera en campo y que se recolecta por medio de las interfaces modulares y el CCM. De igual forma, el PLC transmite información por la red (por ejemplo configuración de los módulos de entrada y comandos de arranque de las bombas).

El detalle de la información que transmite cada módulo presente en la red se explica en el manual respectivo (referirse a la bibliografía del módulo E3, DSA y ADN).

Capítulo 6: Análisis de resultados

6.1 Resultados

Se presentan en esta sección los resultados obtenidos del desarrollo de la programación del PLC y la interfaz HMI. Además, se incluyen resultados de pruebas realizadas en conjunto con el personal de RECOPE, principalmente para el combustible diesel (debido a la similitud de ambos sistemas: diesel y gasolina).

6.1.1 Resultados de interfaz de usuario

Tabla 6.1 Representación gráfica de condiciones de operación en las bombas de ventas

Condición de operación	Animación
Encendida	
Detenida	
En falla/Alarma	

La tabla 6.1 muestra las animaciones utilizadas en la aplicación HMI para la representación de las condiciones de operación de los equipos asociados a ventas. La representación en color verde, rojo o parpadeante amarillo con negro se utiliza en todos los equipos involucrados en el proyecto para indicar su operación.

La figura 6.1 muestra la representación gráfica del sistema de distribución de diesel empleada en el plantel de La Garita. Se muestra básicamente los tanques de combustible, el múltiple de válvulas, bombas de ventas y transferencia y las ocho unidades de carga (Petrocount).

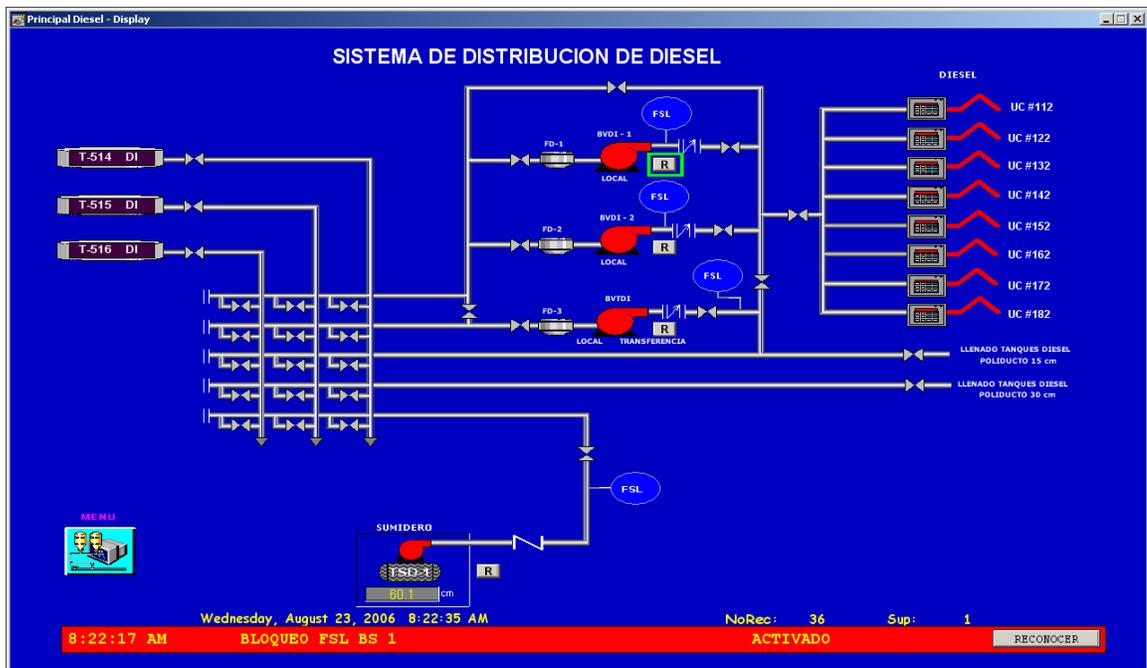


Figura 6.1 Pantalla principal de control y monitoreo para el sistema de diesel

El control del interruptor de caudal se hace por medio del recuadro de control mostrado en la figura 6.2. Básicamente permite bloquear o desbloquear su funcionamiento e indicar, mediante el color amarillo, el estado de operación.

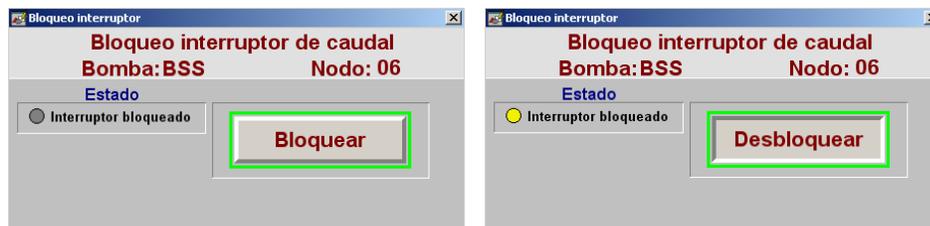


Figura 6.2 Recuadro de control para el bloqueo del interruptor de caudal

Además de la representación por medio de colores, las condiciones de alarma se muestran al operador por medio de la barra de alarmas (mostrado en la figura 6.3). Esta barra está presente en todas las pantallas de la aplicación de control y monitoreo.

Figura 6.3 Barra de mensajes de alarma

La figura 6.4 muestra la pantalla de control del sistema de sumidero de diesel. En la pantalla se muestra el estado de operación de la bomba y condiciones de operación (estado del selector de campo y registro continuo del nivel de sumidero).

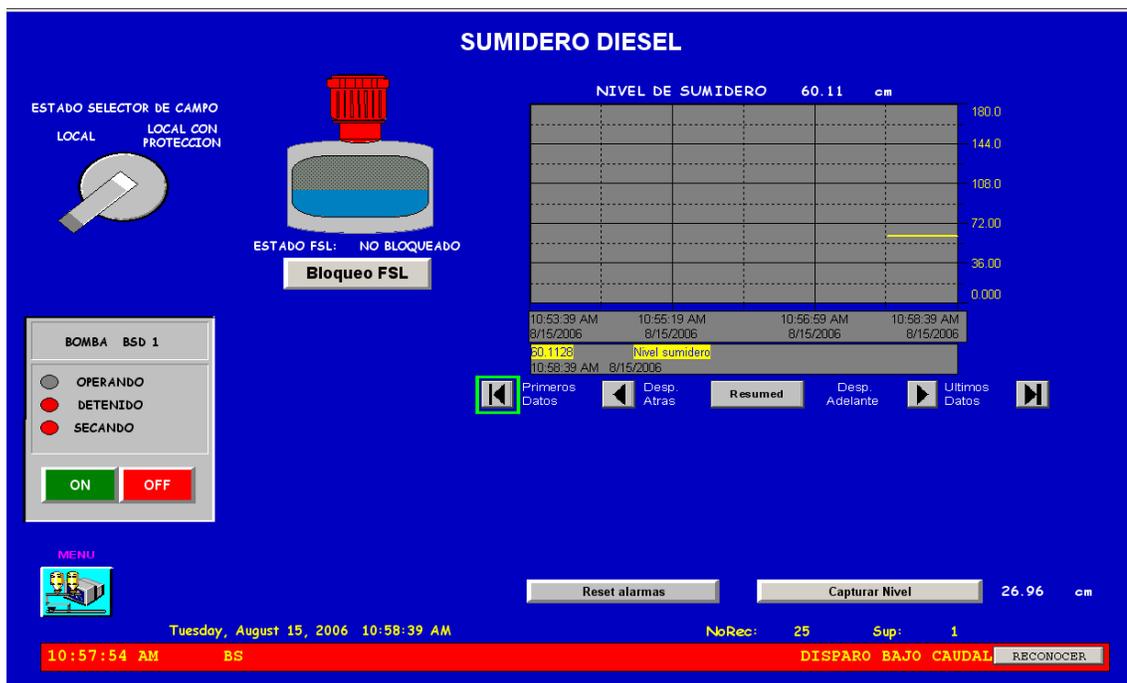


Figura 6.4 Pantalla de control de sumideros

Tabla 6.2 Niveles críticos en el manejo de los sumideros

Sumidero	Rango medición (cm)	Alarma LAL (cm)	Alarma LALL (cm)	Alarma LAH (cm)	Alarma LAHH (cm)
Gasolina	0-130	15	1	117	123
Diesel	0-130	15	1	117	123
Principal	0-130	15	1	117	123
Drenaje tuberías	0-130	15	1	117	123

La tabla 6.2 resume los niveles críticos de operación vinculados a los sumideros presentes en el plantel de La Garita. Se manejan los mismos niveles para todos los sumideros. La medición de niveles se hace con instrumentación tipo RADAR.

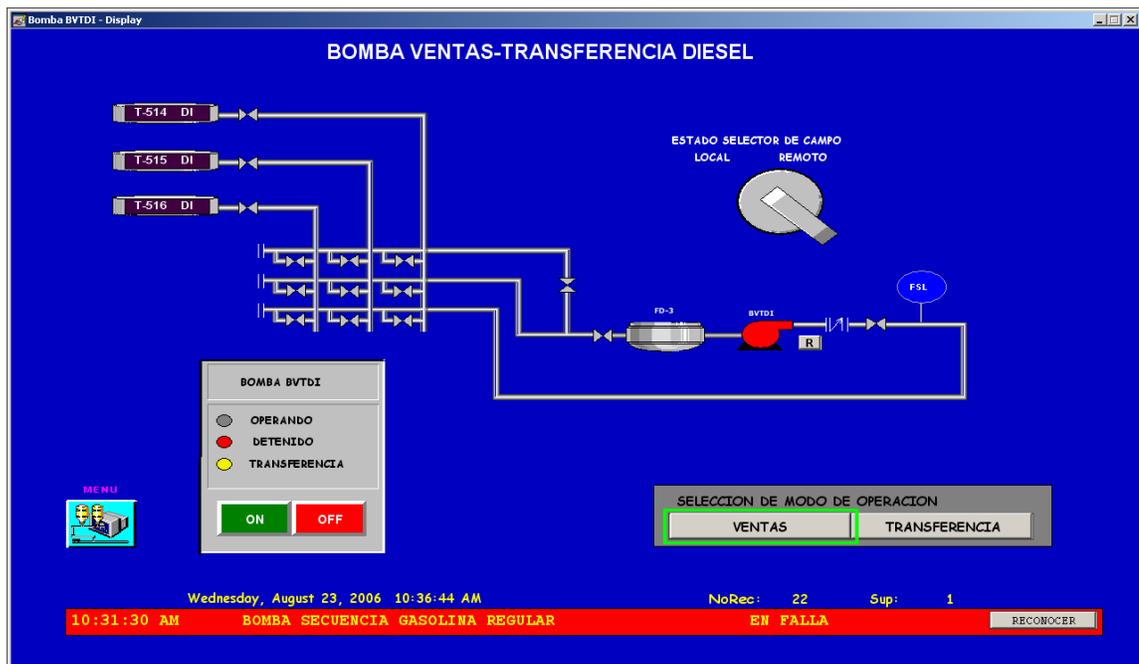


Figura 6.5 Pantalla de control para la bomba de ventas-transferencia de diesel

La figura 6.6 muestra la pantalla de mantenimiento para los equipos cuya interfaz es un dispositivo E3 o DSA. El propósito de la pantalla es la informar al personal de mantenimiento un resumen de las condiciones de operación del equipo.

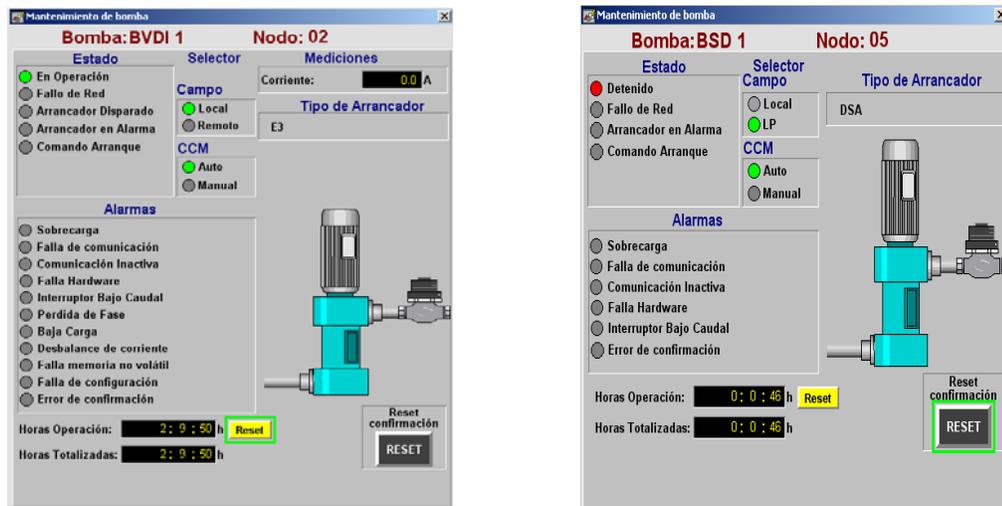


Figura 6.6 Pantallas de mantenimiento para las bombas con arrancador E3 y DSA

6.1.2 Pruebas de operación

Tabla 6.3 Verificación de condiciones de alarma: bombas de ventas

Condición de alarma	Si	No
Alarma por cambio del selector de campo	✓	
Alarma por cambio del selector del CCM	✓	
Alarma por disparo de bajo caudal	✓	
Alarma por bloque de operación del interruptor de caudal (FSL)	✓	
Alarma por no confirmación de encendido	✓	
Alarma por sobrecarga	✓	
Alarma por pérdida de fase	✓	
Alarma por baja carga	✓	
Alarma por desbalance de corriente	✓	
Alarma por falla de configuración	✓	
Alarma por falla de hardware	✓	
Alarma por falla de comunicación	✓	

Tabla 6.4 Verificación de condiciones de alarma: bombas de sumideros

Condición de alarma	Si	No
Alarma por cambio del selector de campo	✓	
Alarma por cambio del selector del CCM	✓	
Alarma por disparo de bajo caudal	✓	
Alarma por bloque de operación del interruptor de caudal (FSL)	✓	
Alarma por no confirmación de encendido	✓	
Alarma por sobrecarga	✓	
Alarma por falla de hardware	✓	
Alarma por falla de comunicación	✓	
Alarma por nivel muy alto	✓	
Alarma por nivel alto	✓	
Alarma por nivel bajo	✓	
Alarma por nivel muy bajo	✓	

Tabla 6.5 Verificación de condiciones de operación: bombas de ventas

Condición de operación	Si	No
Arranque local de bombas BVDI-1, BVDI-2, BVTDI, BVGR-1, BVGR-2	✓	
Paro local de bombas BVDI-1, BVDI-2, BVTDI, BVGR-1, BVGR-2	✓	
Comando de paro de bombas por acción del interruptor de caudal	✓	
Operación de bombas con el interruptor de caudal bloqueado	✓	
Alternado de equipo		
Cantidad de cañas		
4 cañas	X	
5 cañas	X	X
4 cañas		X
5 cañas	X	X
4 cañas	X	
5 cañas	X	X
4 cañas		X
Reestablecimiento de sistema de ventas cuando se produce el disparo de una bomba y se opera con 4 o menos brazos de carga	✓	
Integración de la bomba BVTDI en la secuencia de ventas de diesel	✓	
Alternado de equipo		
Cantidad de cañas		
4 cañas	X	
5 cañas	X	X
4 cañas		X
5 cañas		X
4 cañas	X	
5 cañas	X	
4 cañas		X
5 cañas		X
4 cañas	X	X
5 cañas		X
Normalización del sistema de ventas de diesel con la bomba BVTDI alineada para ventas	✓	

Tabla 6.6 Verificación de condiciones de operación: bombas de sumideros

Condición de operación	Si	No
Arranque local de bombas BSDI, BSGR/GS, BSS, BS-1	✓	
Paro local y remoto de bombas BSDI, BSGR/GS, BSS, BS-1 independientemente de la posición del selector de campo	✓	
Comando de paro de bombas por acción del interruptor de caudal	✓	
Operación de bombas con el interruptor de caudal bloqueado	✓	
Comando de paro por bajo nivel	✓	
Reestablecimiento del sistema bajo el comando de secado de sumidero	✓	
Comando de paro por vencimiento del tiempo de secado	✓	

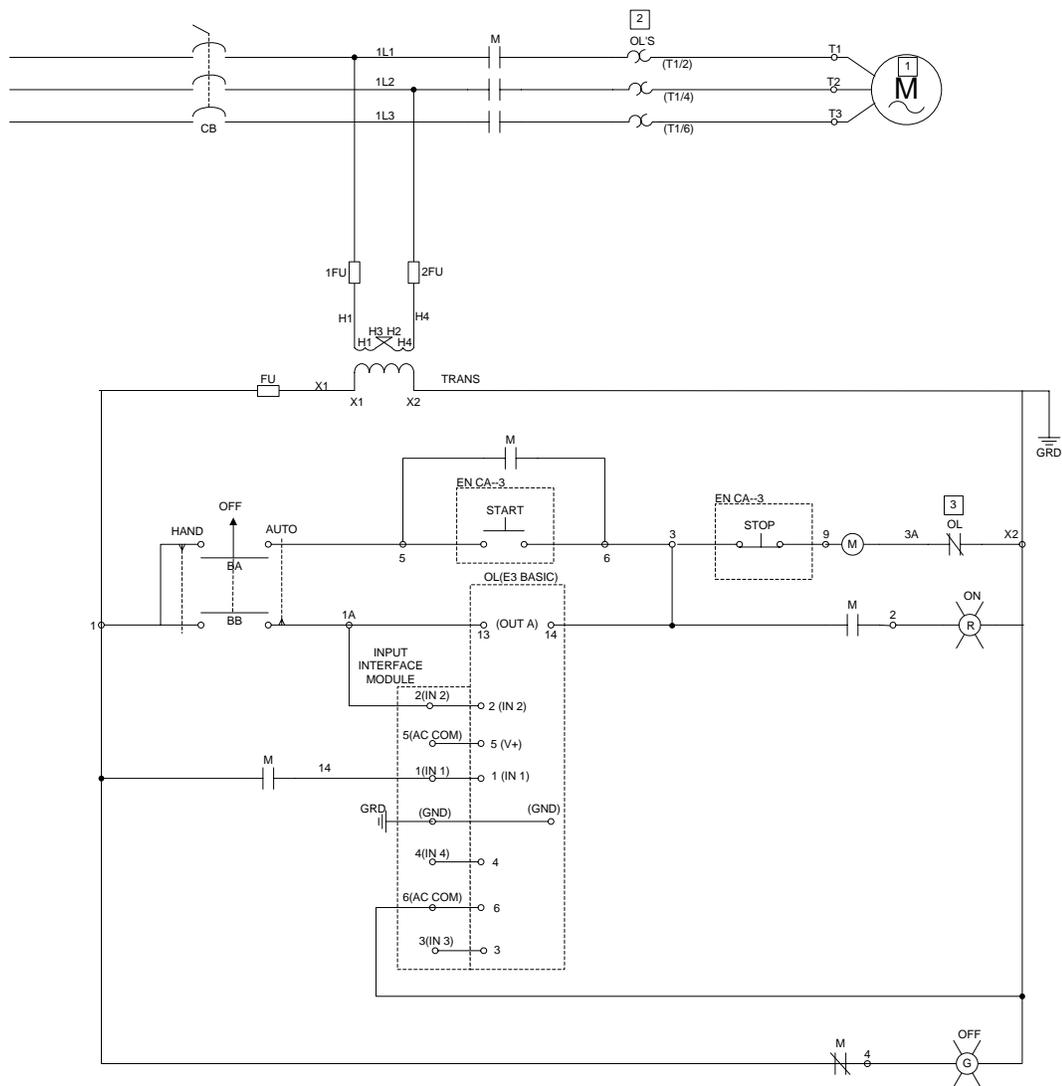


Figura 6.7 Modificación de planos eléctricos en el CCM

6.2 Análisis

Esta sección se inicia justificando cambios realizados a los planos eléctricos del hardware dimensionado por la empresa Sistemas IQ. Los cambios aplicados por el estudiante son evidentes en los planos de los concentradores de señales CA-1 y CA-2, también en los planos de las gavetas del CCM de aquellos motores que cuentan con interfaz E3 (los mismos no se incluyen como parte de este informe por razones de confidencialidad).

En el panel CA-1 se integraron nuevas señales digitales, a solicitud del personal de RECOPE, como mecanismo para monitorear la operación de un sistema de espuma contra incendios y de niveles en los tanques de almacenamiento 521, 522, 514 y 515. La inclusión de estas señales no permitió cumplir el requerimiento un 50% de reserva física para ampliación, no obstante cuenta con el aval del cliente (RECOPE).

En CA-2 fue necesario incluir reles de interposición entres los módulos de entrada y las unidades de carga Petrocount. Lo anterior debido a que los módulos de entradas soportan entradas digitales de 24VDC y la confirmación de operación de las unidades de carga (requerida para las rutinas de control del sistema de ventas) es a 120 VAC.

En ambos paneles, CA-1 y CA-2, se cambió el dispositivo de protección de trasientes, permitiendo que este cumpliera la norma ANSI/IEEE C62.41-1991. Esta norma ofrece protección contra trasientes para aquellos dispositivos cuya acometida esta expuesta a descargas atmosféricas (Categoría C de la norma).

Con respecto al CCM, las gavetas de todos los motores permitían el arranque directo de los motores cuando se cambiaba a posición manual el selector del CCM. Esta operación no era conveniente en los motores asociados a las bombas de ventas porque no permitía tener control con visualización de los patios de carga.

Por esta razón se modificaron dichos planos para incluir botoneras de arranque y paro (panel CA-3). La modificación del plano eléctrico de estas gavetas se muestra en la figura 6.7.

El desarrollo de las pantallas de la aplicación de control y monitoreo tomó como referencia la simbología, colores y animaciones que el HMI del plantel de la Garita empleaba. La aplicación de monitoreo es la herramienta por la cual es posible evidenciar el adecuado funcionamiento del programa de control.

La representación de tanques, filtros y válvulas del sistema de tuberías y de almacenamiento es la misma emplea la aplicación antigua que utilizaban los operadores del plantel de la Garita (se debe recordar que el trabajo del estudiante en la aplicación de control debe ser vista como una ampliación y no como el desarrollo de una nueva aplicación). Los colores empleados para representar condiciones de operación son los siguientes: verde para indicar que el equipo esta en operación, rojo para indicar que el equipo esta detenido y amarillo-negro (parpadeante) para indicar una condición de alarma o falla del equipo. La tabla 6.1 resume esta representación para el caso de las bombas utilizadas en las pantallas de control del sistema de ventas de diesel (figura 6.1) y gasolina; así como de las pantallas de control de las bombas de ventas-transferencia de diesel (figura 6.5) y la bomba de transferencia de gasolina. La representación de las bombas de sumidero es distinta (ver figura 6.4) pero aun así, la simbología de colores mencionada anteriormente se aplica.

Los colores empleados en conjunto con la barra de alarmas (ver figura 6.3) son los medios encargados de notificar al operador de condiciones inadecuadas de operación del sistema.

Con respecto a la operación del sistema, los resultados se muestran desde la tabla 6.3 hasta la tabla 6.6. Estas pruebas se llevaron a cabo en conjunto con el personal de RECOPE con el propósito de aprobar, desde el punto de vista operacional, el sistema.

La tabla 6.3 muestra la verificación de las alarmas del sistema de las bombas de ventas. Los resultados acá mostrados van de la mano a los resultados expuestos en la tabla 6.5, donde se verifican las condiciones de operación del sistema de ventas.

En el programa de control, la lógica de las alarmas hace uso de un temporizador con el propósito de filtrar falsas condiciones de alarma. Particularmente, la generación de alarmas por cambios en la posición de los selectores (selector de campo y CCM) es necesaria debido a la distancia de los equipos con respecto a la ubicación del cuarto de control. Las restantes condiciones de alarma tienen por finalidad proteger los equipos (principalmente motores) de condiciones riesgosas de operación que eventualmente podrían ocasionar daños a los mismos.

De las tablas se desprende que en los casos de las bombas de sumideros y transferencia, la operación del sistema es manual y el programa de control desarrollado ofrece un control remoto de los equipos y protecciones a los mismos.

El control de las bombas de ventas está desarrollado pensando en una operación automática tomando en consideración la cantidad de brazos de carga (Petrocount) que estén activos (tal y como se describió en la sección 5.3.2 de este informe).

El alternado de los equipos (ver tabla 6.5) según la cantidad de brazos de carga que estén en operación se logró por medio del uso de bloques de programación para cada motor. Para cada bloque de motor se define una palabra en la que se indica, por medio de un número, cuyo valor puede tomar el valor de 1, 2, 3 o 4, el motor que debe arrancarse de primero (número uno) y cual debe arrancarse de segundo

(número dos). El índice tres y cuatro se utilizan, respectivamente, cuando la bomba BVTDI esta alineada para ventas y para indicar al programa de control que la bomba en cuestión (cualquiera de las bombas) se encuentra con falla o bien su selector de campo esta en posición local. El índice cuatro también se usa con la bomba BVTDI cuando no está alineada para ventas.

Cada vez que el requerimiento de bombas activas del sistema cambia, el programa de control ordena el arranque de la(s) bombas respectivas. En caso de que el requerimiento de bombas tenga el valor de uno (una y hasta cuatro cañas están activas) se ordena el arranque de la bomba cuyo índice es uno; cuando el requerimiento tiene valor de dos (más de cinco cañas están activas) se ordena el arranque de las bombas con índice uno y dos.

Cuando el requerimiento de bombas vuelve a tomar el valor de uno, el programa de control por medio de la rutina de índices, intercambia índices permitiendo que la bomba con índice dos tenga ahora índice uno y se mantenga encendida. La bomba con índice uno se le asigna índice dos o tres dependiendo de si la bomba BVTDI este o no alineada para ventas. Esta rotación de índices también se realiza cuando el requerimiento de bombas activas tomas el valor de cero, es decir cuando no hay brazos de carga activos (la bomba con índice uno pasa a dos, la que tiene índice dos pasa a uno o tres y si corresponde, la bomba con índice tres para a dos).

La normalización del sistema de ventas en caso de presentarse alguna falla con la o las bombas que estén operando también depende del número de brazos que estén activos. Cuando están activos uno y hasta cuatro brazos (lo que implica solo una bomba operando) una falla del equipo se normaliza de la siguiente forma: el programa de control le asigna a la palabra índice del motor el valor de cuatro y el operador por medio del botón de reestablecimiento de la bomba (etiquetado con una "R", referirse a la figura 6.1) ordena al programa de control ejecutar la rutina de intercambio de índices y de esta manera encender la bomba cuyo índice era dos

(resultado del cambio de índices su índice cambia a uno y en caso de existir bomba con índice tres pasa a dos). Este reestableciendo se ejecuta en un periodo de seis segundos.

Cuando están operando más de cinco cañas (dos bombas están encendidas) el reestablecimiento del sistema de ventas sólo es posible en el caso del diesel, teniendo la bomba BVTDI alineada para ventas, caso contrario el sistema queda operando con sólo una bomba. En caso de que la bomba BVTDI este alineada para ventas, el programa de control asigna índice cuatro a la bomba fallada y automáticamente ejecuta el intercambio de índices ordenando el arranque, después de seis segundos, de la bomba BVTDI o de la bomba cuyo índice tenga valor de tres (resultado del cambio de índices su valor se actualiza a dos).

De igual forma opera el sistema cuando se cambia de posición el selector de campo de alguna de las bombas de ventas. Cuando se hace el cambio a local del selector el programa de control lo asimila como un fallo del equipo y le asigna índice cuatro. El reestablecimiento se hace de la forma descrita anteriormente.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- La protección contra transientes para los paneles concentradores CA-1 y CA-2 debe cumplir la categoría C de la norma ANSI/IEEE C62.41-1991 dada la ubicación y condiciones a las cuales están expuestos dichos concentradores.
- Un desgaste mecánico más equitativo de los motores en el plantel se logra mediante una rutina de alternado basada en la cantidad de horas de operación y no en la demanda de los Petrocount.
- No es posible, en el programa de control, ejecutar acciones de control en los sumideros ante eventos de alto y muy alto nivel debido a la operación manual de las válvulas existentes en el plantel.
- El cableado de las botoneras de arranque y paro del panel CA-3 no permite ejecutar un comando de paro desde CA-3 cuando el sistema de ventas opera en modo automático.
- El desempeño de la instrumentación de nivel tipo RADAR puede afectarse por el valor de la constante dieléctrica del líquido a medir.
- La limitante de emplear direccionamiento indexado en el controlador PLC-5 impidió una programación más eficiente y ordenada de las rutinas de índice y respaldo del programa de control.

7.2 Recomendaciones

- Es recomendable instalar un paro de emergencia en el panel CA-1 para el sistema de ventas de diesel y gasolina.
- Es recomendable instalar un paro de emergencia general del sistema de ventas en el panel CA-3.

Bibliografía

- [1] Allen Bradley. *Analog Input Module: User Manual* [en línea]. Publicación 1771-6.5.115. Febrero 1999. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [2] Allen Bradley. *Flex I/O Digital Input Modules: Installation Instructions* [en línea]. Publicación 1794-IN093-EN-P. Mayo 2004. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [3] Allen Bradley. *DeviceNet Adapter Module: User Manual* [en línea]. Publicación 1794-6.5.5. Octubre 1996. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [4] Allen Bradley. *DC (10-30V) Input Module: Installation Instructions* [en línea]. Publicación 1771-IN028C-EN-P. Agosto 2002. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [5] Allen Bradley. *PLC-5 DeviceNet Scanner Module: User Manual* [en línea]. Publicación 1771-UM118C-EN-P. Junio 2003. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [6] Allen Bradley. *Flex I/O DC Power Supply Modules: Installation Instructions* [en línea]. Publicación 1794-IN069D-EN-P. Mayo 2004. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [7] Allen Bradley. *Flex I/O Analog Modules: User Manual* [en línea]. Publicación 1794-6.5.2. Mayo 1996. <<http://literature.rockwellautomation.com>> [Consulta 28 Abril 2006].
- [8] Sistemas de Integración Qualitativos. *Acerca de...* [en línea]. 2005. <<http://www.sistemas-iq.com>> [Consulta 20 Abril 2006].
- [9] Tecser Ltda. *Supresores de transientes*. <<http://www.tecser.cl>> [Consulta 20 Abril 2006].
- [10] Gómez, Patricio. *DeviceNet: un bus de campo* [en línea]. Noviembre 2003. <<http://www.emb.cl>> [Consulta 28 Abril 2006].

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

BVDI-1: Bomba de ventas diesel 1

BVDI-2: Bomba de ventas diesel 2

BVGR-1: Bomba de ventas gasolina regular 1

BVGR-2: Bomba de ventas gasolina regular 2

BVGS-1: Bomba de ventas gasolina súper 1

BVGS-2: Bomba de ventas gasolina súper 2

BVJF: Bomba de ventas Jet Fuel

BVTJF: Bomba de ventas-transferencia Jet Fuel

BVTDI: Bomba de ventas-transferencia diesel

BSS: Bomba de sumidero de slop, tuberías o puntos bajos

BSD-1: Bomba de sumidero de diesel

BS GR/GS: Bomba de sumidero gasolina regular y súper

BSJF: Bomba de sumidero de Jet Fuel

BS-1: Bomba de sumidero general o principal

BTGR: Bomba de transferencia de gasolina regular

BS: Bomba de trasiego de slop

Brazos de carga: Ver Petrocount

Cañas: ver Petrocount

CCM: Centro de Control de Motores

DeviceNet: bus de campo, basado en el protocolo de comunicaciones CAN

Flex I/O: módulos de interfaz entrada/salida y comunicación para aplicaciones distribuidas

FSL: transmisor de bajo caudal

HMI: Interfaz Hombre-Máquina

HP: Caballos de Fuerza

LT: transmisor de nivel

Petrocount: Dispositivo programable para expendio de combustible

PLC: Programable Logic Controller

PLC-5: Panel del controlador, Tipo de controlador construido por AB

RECOPE: Refinería Costarricense de Petróleo

SCADA: Supervisory Control And Data Adquisition

SIQ: Sistemas de Integración Qualitativos, Sistemas IQ

UPS: Fuente ininterrumpible de alimentación

UTR: Unidad Terminal Remota, interfaz de operador

A.2 Listado de alarmas del sistema

A continuación se listan todas las alarmas del sistema organizadas en las siguientes categorías: bombas con interfaz E3, bombas con interfaz DSA, concentrador CA-1, concentrador CA-2, panel del PLC-5, sistema de espuma y prevención de derrames.

Bombas con arrancador E3 (aplica para BVDI 1, BVDI 2, BVGR 1, BVGR 2, BVGS 1*, BVGS 2*, BVJF*, BVTJF⁴)

- Selector CCM en posición AUTO
- Selector CCM en posición NO AUTO
- Selector de campo posición local
- Selector de campo posición remota
- BVDI 1 disparo bajo caudal
- Bloqueo FSL BVDI 1 activado
- BVDI 1 confirmación no recibida
- Arrancador BVDI 1 falla configuración
- Arrancador BVDI 1 desbalance corriente
- Arrancador BVDI 1 falla comunicación
- Arrancador BVDI 1 comunicación inactiva
- Arrancador BVDI 1 falla hardware
- Arrancador BVDI 1 falla memoria
- Arrancador BVDI 1 sobrecarga
- Arrancador BVDI 1 pérdida de fase
- Arrancador BVDI 1 baja carga

Bombas con arrancador DSA

- Selector CCM en posición AUTO
- Selector CCM posición NO AUTO
- Selector campo posición local
- Selector campo posición remota
- Disparo bajo caudal
- Bloqueo FSL activado
- Confirmación no recibida
- Arrancador falla comunicación
- Arrancador comunicación inactiva
- Arrancador falla hardware
- Arrancador sobrecarga
- Sumidero general nivel alto
- Sumidero general nivel muy alto
- Sumidero general nivel bajo
- Sumidero general nivel muy bajo
- Sumidero general movimiento nivel
- TS 1 tiempo secado superado

⁴ Equipos no instalados no obstante la programación queda disponible

Secado TS 1 habilitado

Concentrador CA-1

CA-1 slot 0 en falla
CA-1 slot 1 en falla
CA-1 slot 2 en falla
CA-1 slot 3 en falla
CA-1 slot 4 en falla
Concentrador CA-1 falla supresor

Concentrador CA-2

CA-2 slot 0 en falla
CA-2 slot 1 en falla
CA-2 slot 2 en falla
Concentrador CA-2 falla supresor

Panel PLC-5

Fuente CD 1 en falla
Fuente CD 2 en falla
Panel PLC 5 falla supresor

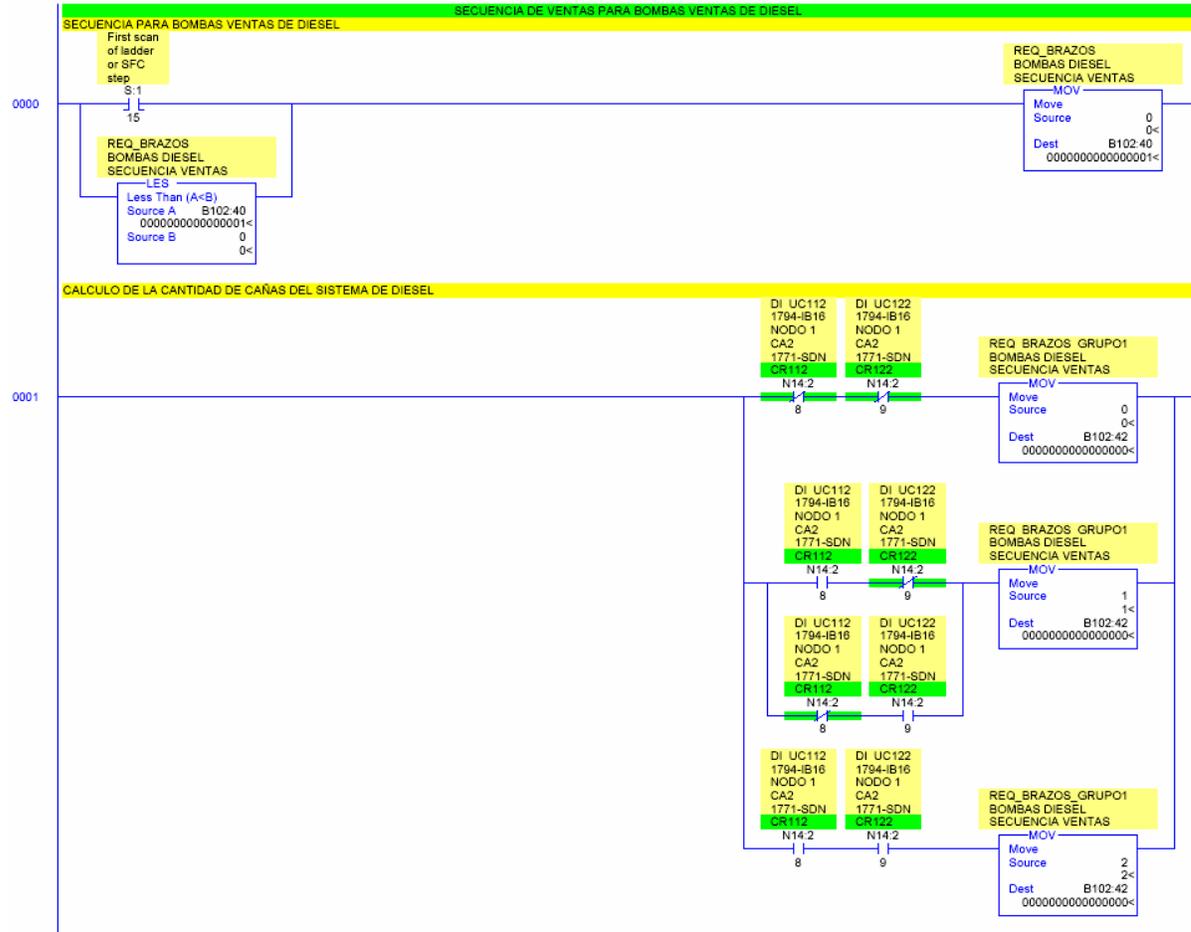
Sistema de espuma

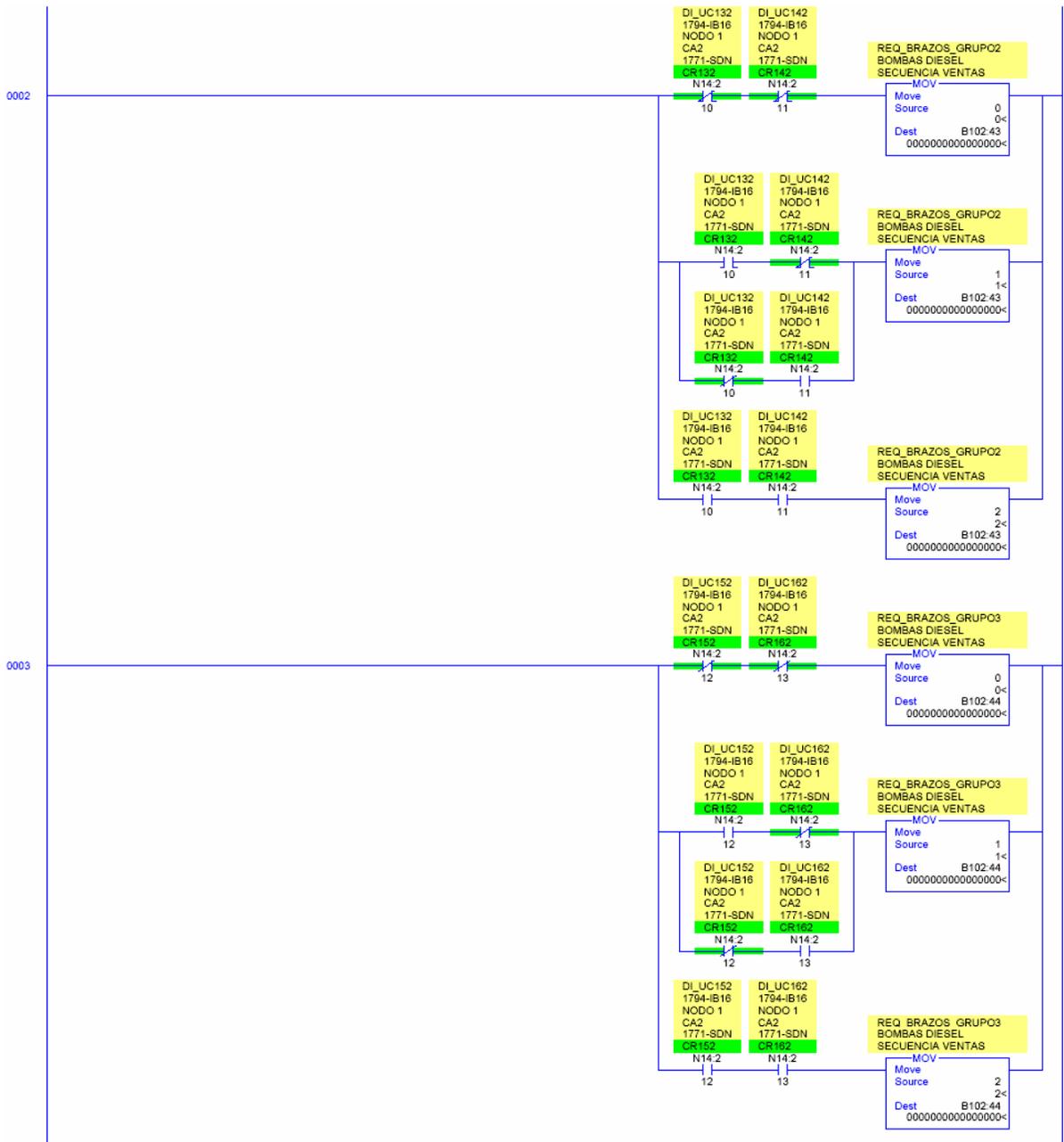
Bomba sistema espuma detenida
Bomba sistema espuma operando
Sistema espuma bajo nivel

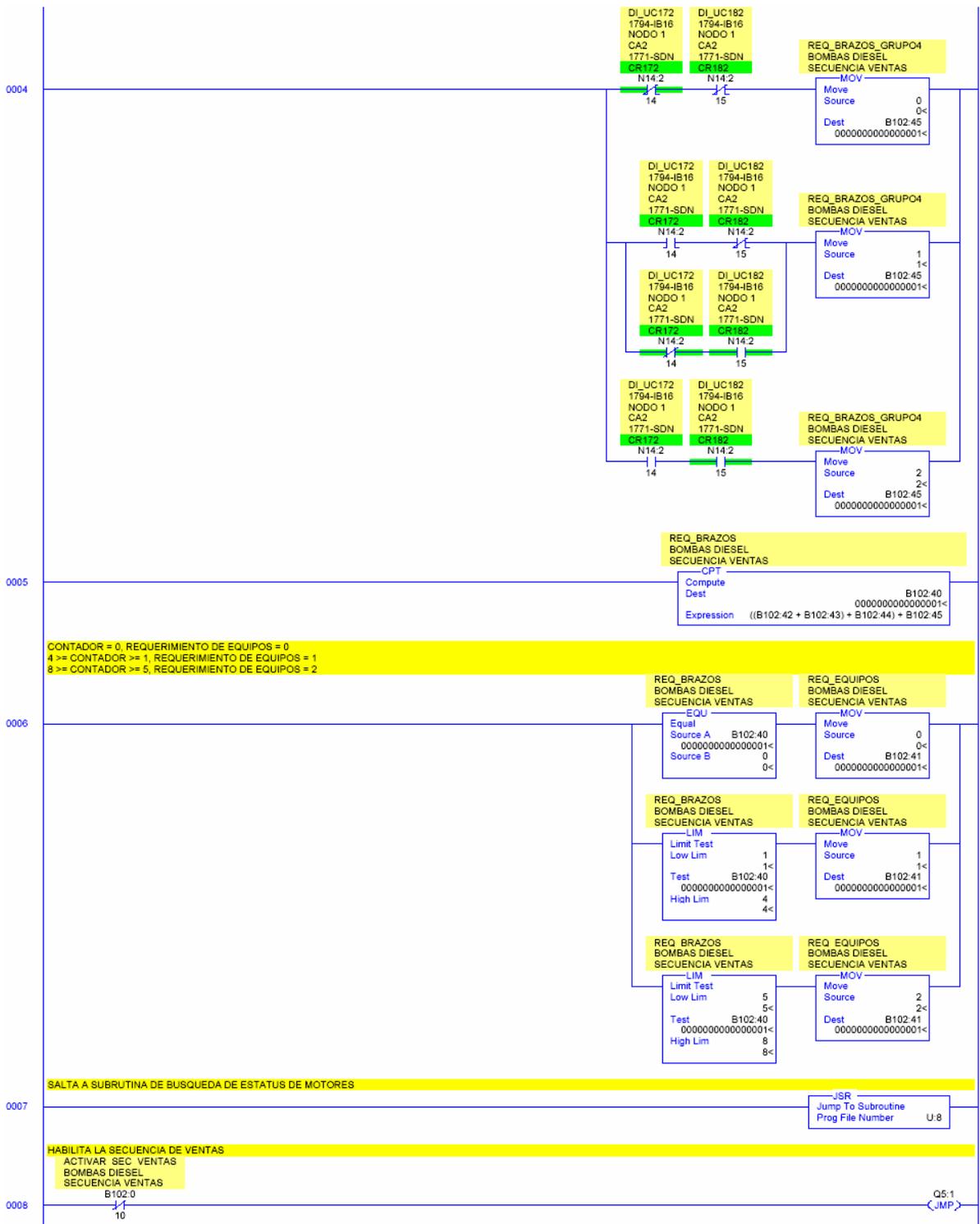
Prevención de derrames

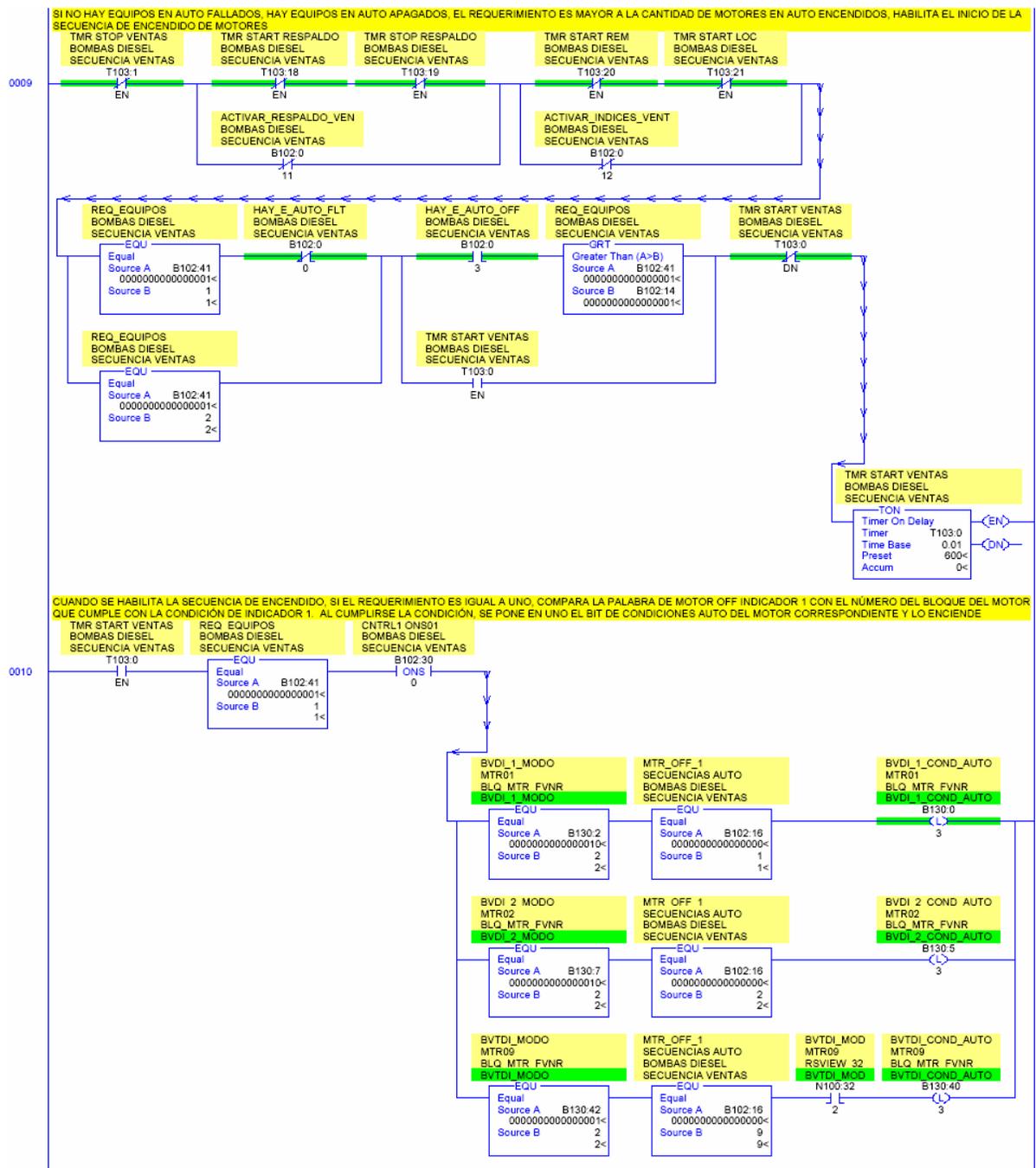
Tanque 515 muy alto nivel
Tanque 516 muy alto nivel
Tanque 521 muy alto nivel
Tanque 522 muy alto nivel

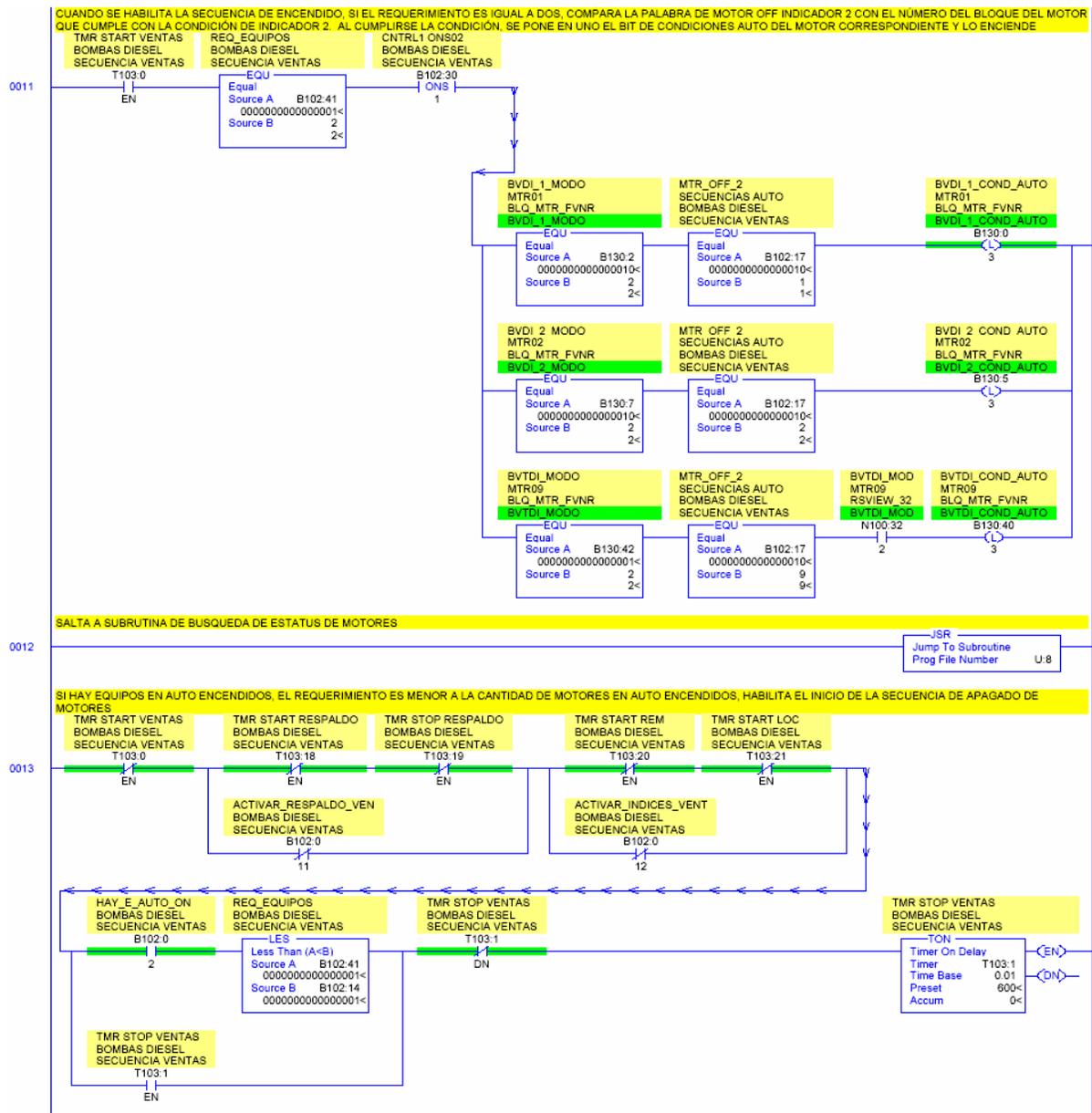
A.3 Extracto del programa de control: rutina de ventas diesel



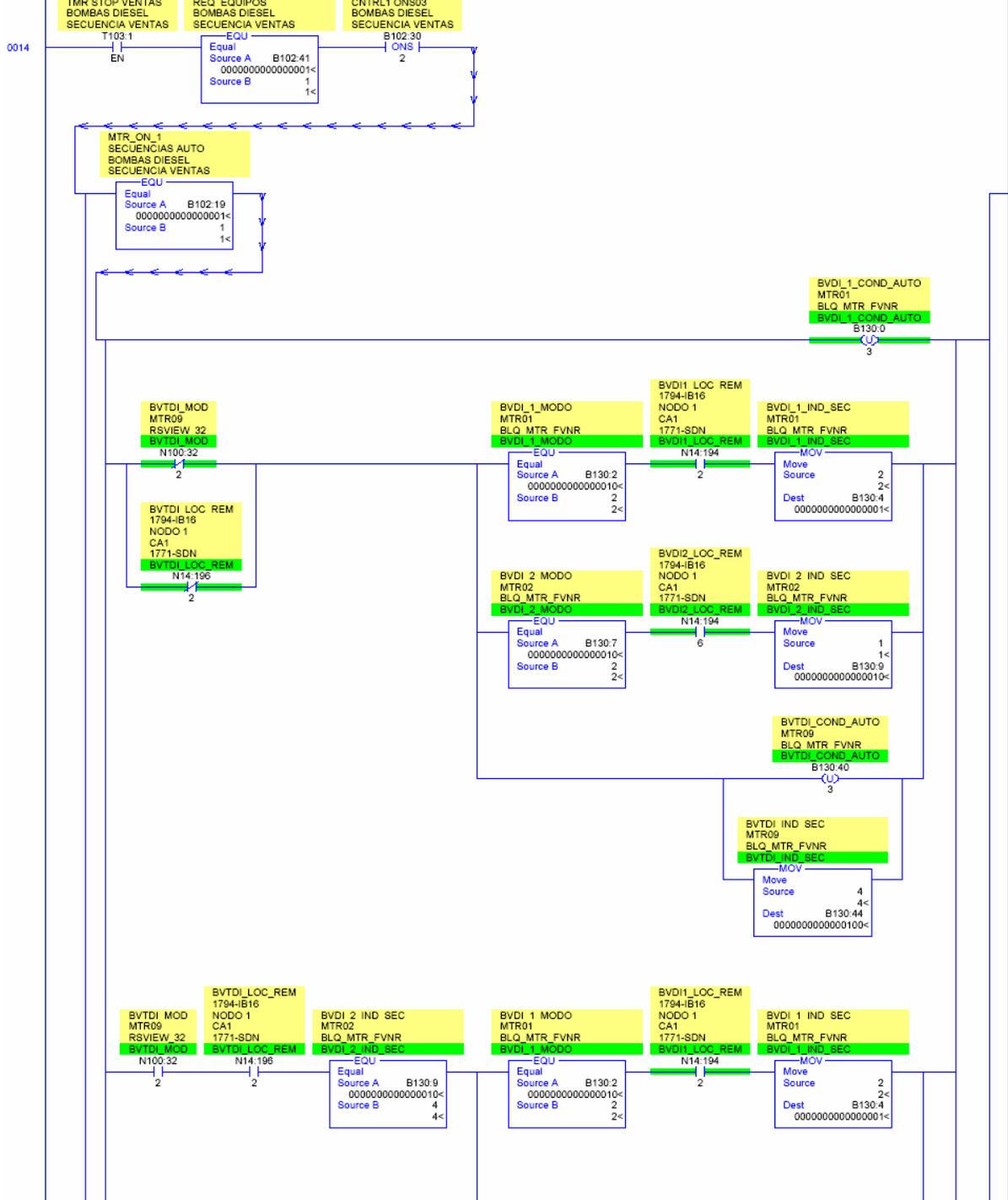


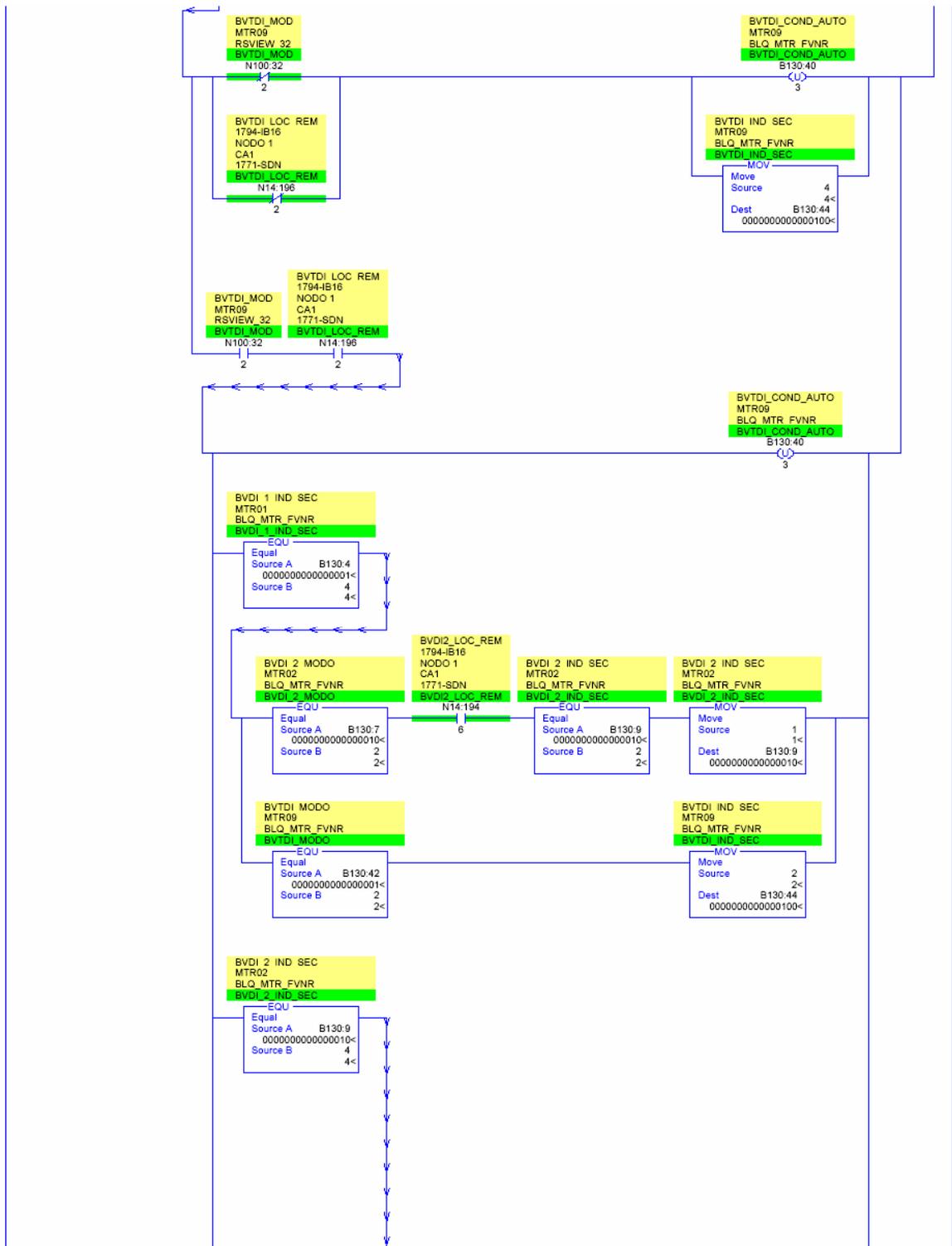


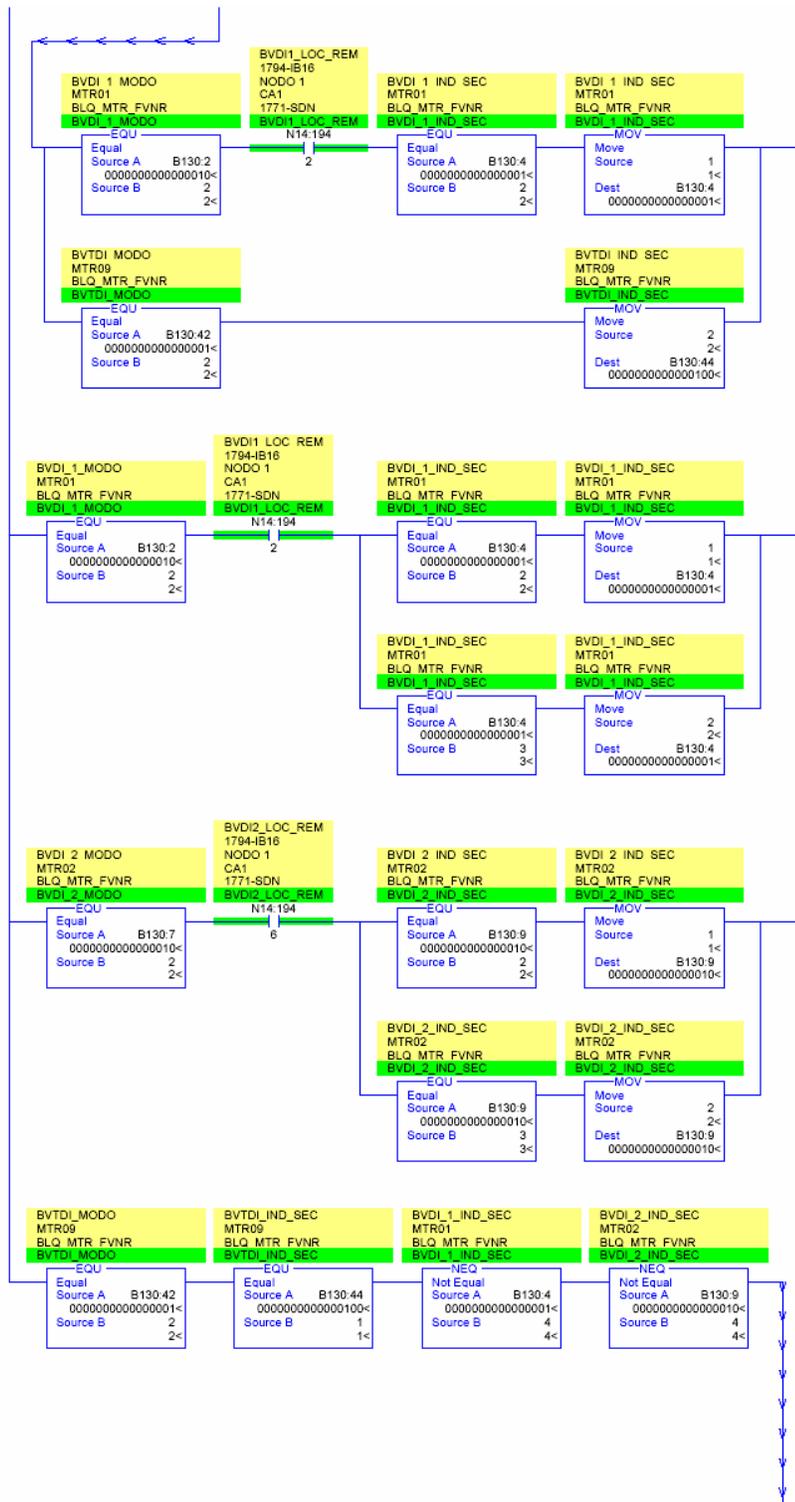


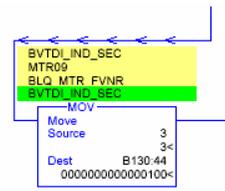


CUANDO SE HABILITA LA SECUENCIA DE APAGADO, SI EL REQUERIMIENTO ES IGUAL A UNO, COMPARA LA PALABRA DE MOTOR ON INDICADOR 1 CON EL NÚMERO DEL BLOQUE DE MOTOR QUE CUMPLE CON LA CONDICIÓN DE INDICADOR 1. AL CUMPLIRSE LA CONDICIÓN, SE PONE EN CERO EL BIT DE CONDICIONES AUTO DEL MOTOR CORRESPONDIENTE APAGÁNDOLO. EL INDICADOR LO COLOCA EN 2 SI NO ESTÁ ALINEADA LA BOMBA DE TRANSFERENCIA PARA VENTAS. SI ESTUVIERA ALINEADA, COLOCA EL INDICADOR A 3. EL MOTOR CON INDICADOR EN 2 LO PONE A 1. SI LA BOMBA DE TRANSFERENCIA ESTÁ ALINEADA PARA VENTAS, EL MOTOR CON INDICADOR 3 LO PASA A 2. EN ESTE PASO SÓLO SE APAGA EL MOTOR CON INDICADOR 1 Y SI HUBIERAN DOS MOTORES TRABAJANDO, MANTIENE ENCENDIDO EL SEGUNDO MOTOR.

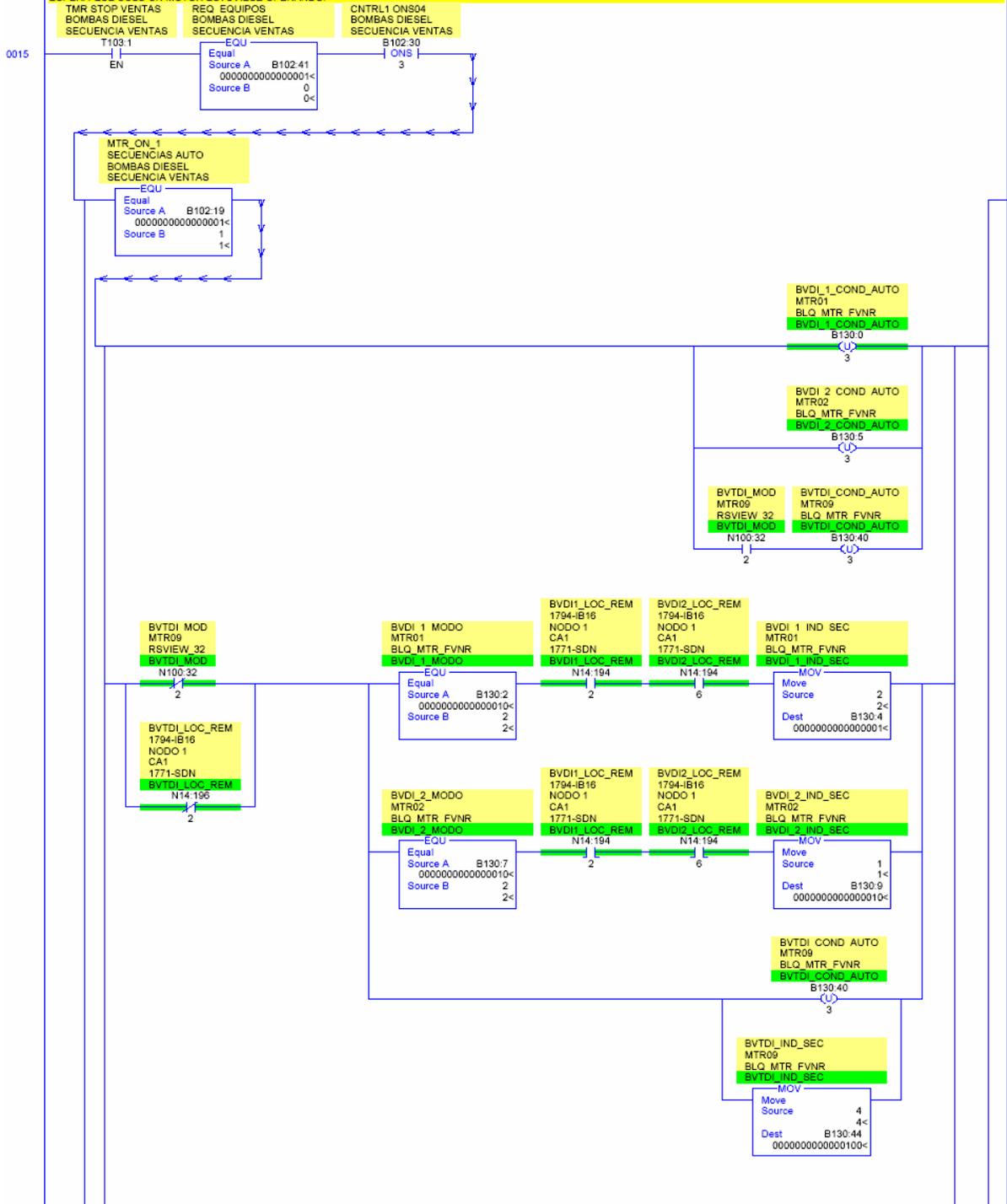


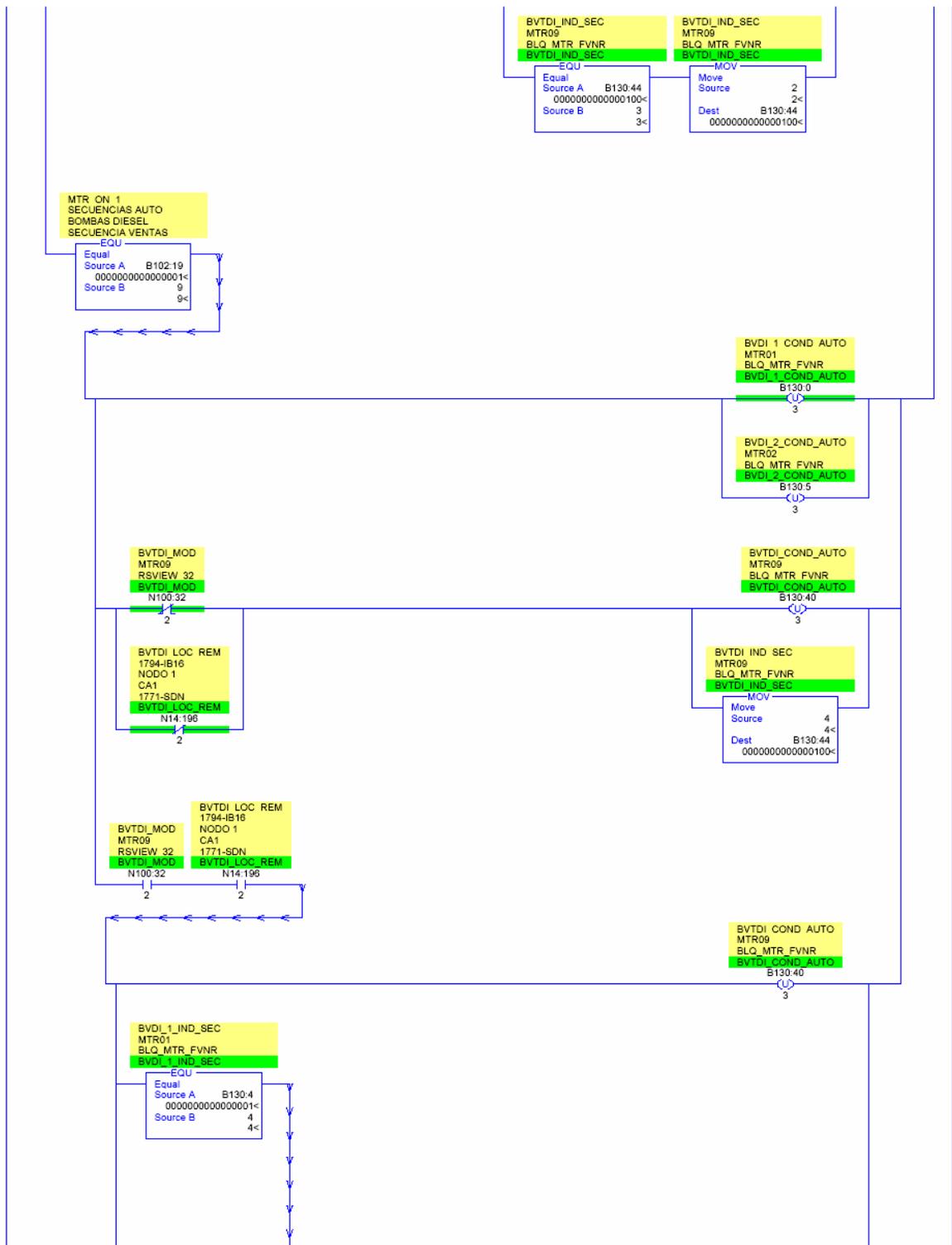


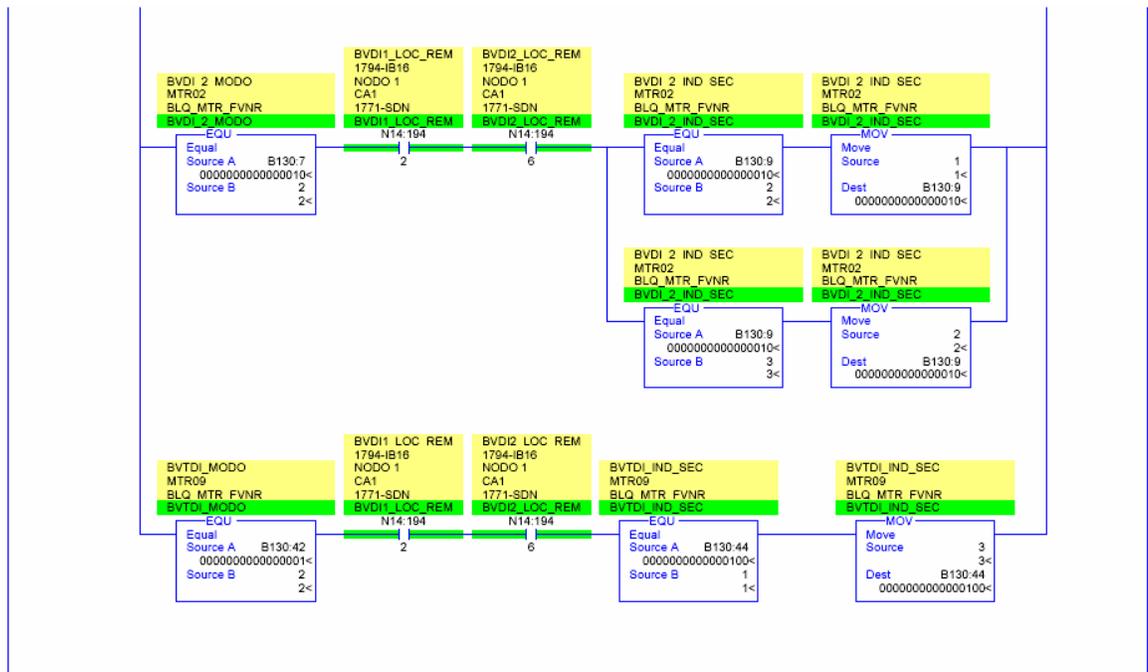




CUANDO SE HABILITA LA SECUENCIA DE APAGADO, SI EL REQUERIMIENTO ES IGUAL A CERO, COMPARA LA PALABRA DE MOTOR ON INDICADOR 1 CON EL NUMERO DEL BLOQUE DE MOTOR QUE CUMPLE CON LA CONDICIÓN DE INDICADOR 1. AL CUMPLIRSE LA CONDICIÓN, SE PONE EN CERO EL BIT DE CONDICIONES AUTO DE TODOS LOS MOTORES APAGÁNDOLOS. EL INDICADOR LO COLOCA EN 2 SI NO ESTÁ ALINEADA LA BOMBA DE TRANSFERENCIA PARA VENTAS. SI ESTUVIERA ALINEADA, COLOCA EL INDICADOR A 3. EL MOTOR CON INDICADOR EN 2 LO PONE A 1. SI LA BOMBA DE TRANSFERENCIA ESTÁ ALINEADA PARA VENTAS, EL MOTOR CON INDICADOR 3 LO PASA A 2. EN ESTE PASO APAGA TODOS LOS MOTORES ENCENDIDOS, PERO A ESTE PUNTO SE ESPERA QUE SÓLO UN MOTOR ESTUVIESE OPERANDO.







A.4 Información sobre la empresa



A lo largo de más de 12 años la División de Automatización de la empresa ELVATRON S.A desarrolló una variedad interesante de proyectos diferentes, uniendo para tal fin, tecnologías y marcas de clase mundial, con el aporte de ingeniería netamente nacional.

A partir de Octubre de 2004, todo este conocimiento, personal y metodología de trabajo está disponible bajo una nueva compañía denominada SISTEMAS IQ, S.A., cuya misión es el suministro de servicios de Ingeniería en el campo de la automatización, control y proyectos llave en mano.

Los datos de nuestra empresa, incluyendo los proyectos realizados bajo la razón social de Elvatron S.A. son:

Capital: Costarricense

Número de empleados: 20

Personal Técnico: 90%

Áreas operativas: Integración de sistemas, servicio técnico y entrenamiento

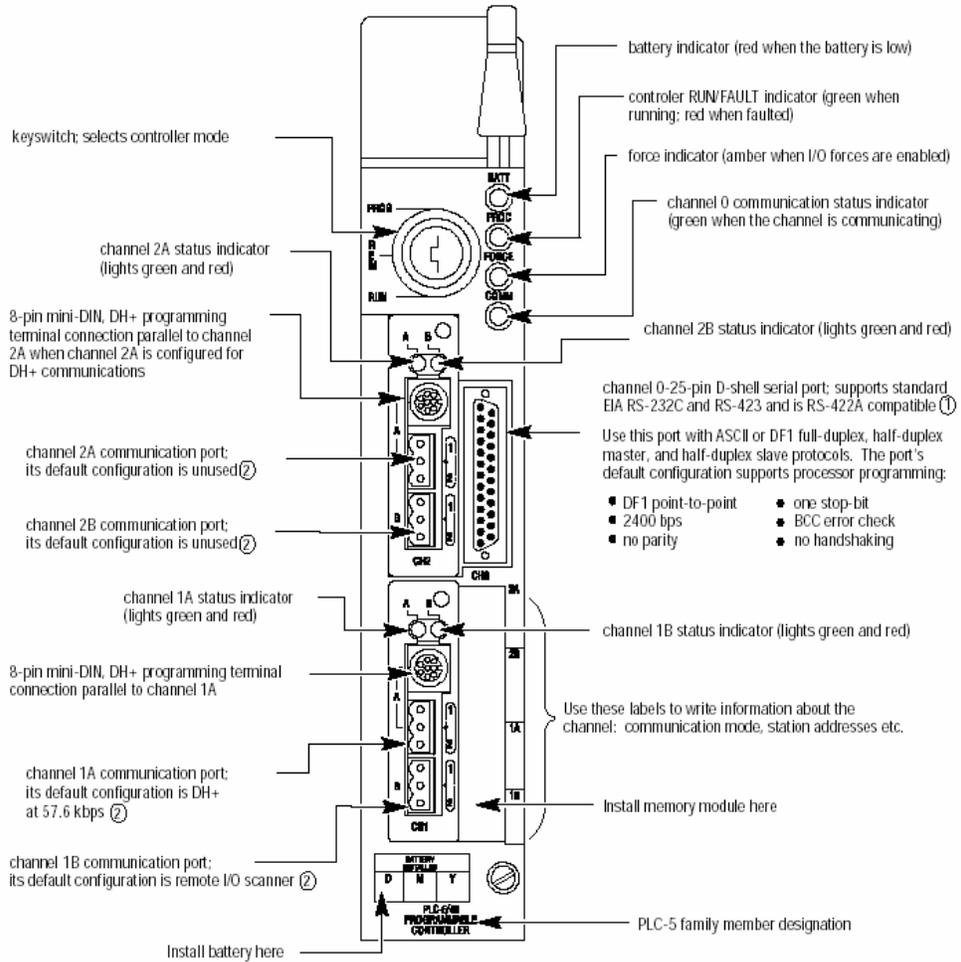
Especialidad: Integrar sistemas de control e instrumentación electrónicos en maquinaria de manufactura ó industria de proceso, utilizando tecnología de avanzada en el campo de automatización, con desarrollo de ingeniería a nivel local, respetando normas de calidad y seguridad internacionales, y desarrollando paquetes completos "llave en mano" con calidad mundial a costos razonables.

Mercado de trabajo: Industrias de manufactura y proceso como: Tabaco, Edificios Inteligentes, Llantas y Hule, Alimentos y Bebidas, Petróleo, Cemento y Generación Eléctrica.

Anexos

B.1 Controlador lógico programable PLC-5

PLC-5/40, -5/46, -5/60, -5/80, and -5/86 Controller Front Panel



① Channel 0 is optically-coupled (provides high electrical noise immunity) and can be used with most RS-422A equipment as long as:

- termination resistors are not used
- the distance and transmission rate are reduced to comply with RS-423 requirements

② Configure these 3-pin ports for:

- remote I/O scanner,
- remote I/O adapter,
- DH+ communication
- unused

B.2 Especificaciones modulo 1794-ADN

1794-ADN Specifications	
I/O Capacity	8 modules
Input Voltage Rating	24V dc nominal
Input Voltage Range	19.2V to 31.2V dc (includes 5% ac ripple)
Communication Rate	125KB 250KB 500KB
Indicators	Mod/Net Status - red/grn I/O Status - red/grn
Flexbus Output Current	640mA maximum @ 5V dc
Isolation Voltage	100% tested at 850V dc for 1s between user power and flexbus
Power Consumption	400mA maximum from external 24V supply
Power Dissipation	7.6W maximum @ 19.2V dc
Thermal Dissipation	26 BTU/hr @ 19.2V dc
DeviceNet Power Requirements	24V dc (+4%) @ 90mA maximum
Environmental Conditions	
Operational Temperature	0 to 55°C (32 to 131°F)
Storage Temperature	-40 to 85°C (-40 to 185°F)
Relative Humidity	5 to 95% noncondensing
Shock	30 g peak acceleration, 11 (+1)ms pulse width
Operating	50 g peak acceleration, 11 (-1)ms pulse width
Non-operating	Tested 5 g @ 10-500Hz per IEC 68-2-6
Vibration	
DeviceNet Cable	Belden YR-29832 or equivalent as specified in publication ICCG-2.2
Power Conductors	
Wire Size	12 gauge (4mm ²) stranded maximum 3/64 inch (1.2mm) insulation max.
Category	2 ¹

¹ Use this conductor category information for planning conductor routing. Refer to publication 1770-4.1, "Industrial Automation Wiring and Grounding Guidelines."

B.3 Módulo DSA

Device Description

The Bulletin 100 DeviceNet Starter Auxiliary provides a low-cost DeviceNet node for motor starters and general I/O communication applications. It includes inputs that can be connected to hard contacts (e.g., contactor or circuit breaker auxiliary contact, limit switch, 2-wire proximity switch, 3-wire photoswitch — external power may be required — consult factory) and outputs (with external power supply on solid-state output modules) that may be used to energize contactor(s), solenoids, lamps, etc.

The Bulletin 100 DeviceNet Starter Auxiliary also implements the Rockwell Automation “DeviceLogix” Smart Component Technology. This allows the user to program simple logic into the DSA.

Specifications

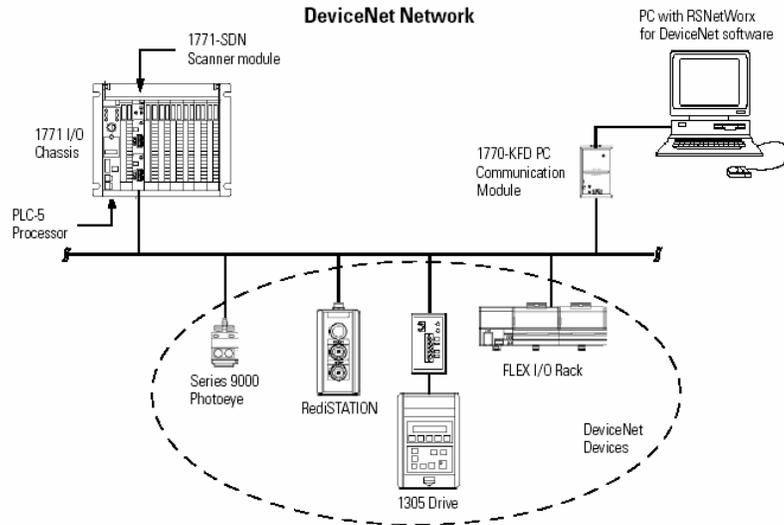
General

Electrical		
DeviceNet Supply Voltage		11...25V DC
DeviceNet Input Current		Maximum 270 mA
Surge Current at Powerup		Less than 3 A for 5 ms
DeviceNet Power Consumption		3 W maximum
Environmental		
Ambient Temperature	Operating Storage	-25...+60° C (-32...+140° F) -40...+85° C (-40...+185° F)
Relative Humidity		0...95% non-condensing
Vibration		2.5 g @ 10...500 Hz
Shock	Operating Storage	30 g peak acceleration 50 g peak acceleration
Communications		
DeviceNet Baud Rates		125, 250, 500 kbps
Distance Max.	125 kbps 250 kbps 500 kbps	500 m (1640 ft) 200 m (650 ft) 100 m (325 ft)
Approvals		
Agency Certification		CSA certified UL listed CE marked for all applicable directives

B.4 Escáner de DeviceNet para PLC-5

What Your 1771-SDN Module Does

In a typical configuration, the 1771-SDN module acts as an interface between DeviceNet devices and the PLC-5 processor.



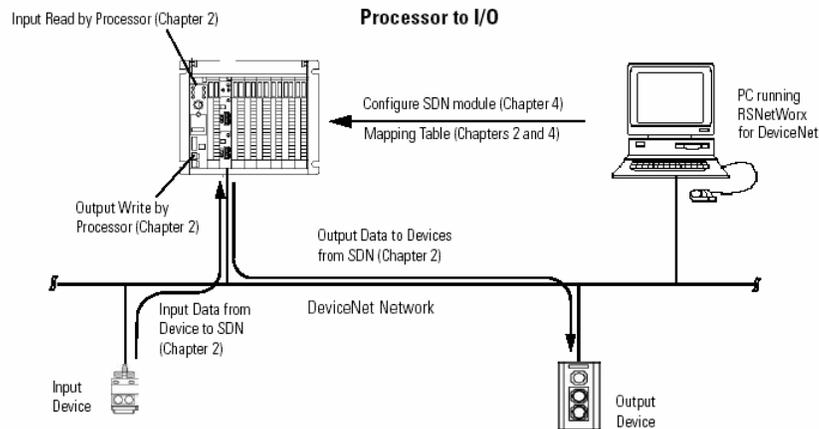
The 1771-SDN module communicates with DeviceNet devices over the network to:

- respond as a slave
- read inputs from a device
- write outputs to a device
- download configuration data
- monitor a device's operational status

The 1771-SDN module communicates with the processor in the form of Block Transfers (BT) and/or Discrete I/O (DIO). Information exchanged includes:

- device I/O data
- status information
- configuration data

A processor to I/O DeviceNet configuration is shown in the following figure. See the referenced chapters for more information.



B.5 1794-IE8 Módulo de entradas analógicas

Specifications - 1794-IE8/B Analog Input Module	
Number of Inputs	8 single-ended, non-isolated
Module Location	Cat. No. 1794-TB2, -TB3 Terminal Base Unit
Resolution	12 bits - unipolar; 11 bits plus sign - bipolar
Voltage	2.56mV/cnt unipolar; 5.13mV/cnt bipolar
Current	5.13 μ A/cnt
Data Format	left justified 16-bit 2's complement
Conversion Type	Successive approximation
Conversion Rate	256 μ s all channels
Input Current Terminal	4-20mA (user configurable) 0-20mA (user configurable)
Input Voltage Terminal	\pm 10V (user configurable) 0-10V (user configurable)
Normal Mode Rejection Ratio	
Voltage Terminal	-3db @ 17Hz; -20db/decade -10.0dB @ 50Hz; -11.4dB @ 60Hz
Current Terminal	-3db @ 9Hz; -20db/decade -15.3dB @ 50Hz; -16.8dB @ 60Hz
Step Response to 63%	
Voltage Terminal	9.4ms
Current Terminal	18.2ms
Input Impedance	
Voltage Terminal	100k ohms
Current Terminal	238 ohms
Input Resistance	
Voltage Terminal	200k ohms
Current Terminal	238 ohms
Absolute Accuracy ¹	
Voltage Terminal	0.29% Full Scale @ 25°C
Current Terminal	0.29% Full Scale @ 25°C
Accuracy Drift with Temperature	
Voltage Terminal	0.00428% Full Scale/ $^{\circ}$ C
Current Terminal	0.00407% Full Scale/ $^{\circ}$ C
Calibration	None Required
Maximum Overload	30V continuous or 32mA continuous, one channel at a time
Isolation Voltage	Tested at 850V dc for 1s between user and system No isolation between individual channels
Indicators	1 green power indicator
Flexbus Current	20mA
Power Dissipation	3W maximum @ 31.2V dc
Thermal Dissipation	Maximum 10.2 BTU/hr @ 31.2V dc
Keyswitch Position	3
Specifications continued on next page.	

Specifications - 1794-IE8/B Analog Input Module

General Specifications

External dc Power		
	Supply Voltage	24V dc nominal
	Voltage Range	19.2 to 31.2V dc (includes 5% ac ripple)
	Supply Current	60mA @ 24V dc
Dimensions	Inches (Millimeters)	1.8H x 3.7W x 2.1D (45.7 x 94.0 x 53.3)
Environmental Conditions		
	Operational Temperature	0 to 55°C (32 to 131°F)
	Storage Temperature	-40 to 85°C (-40 to 185°F)
	Relative Humidity	5 to 95% noncondensing (operating) 5 to 80% noncondensing (nonoperating)
Shock	Operating	30 g peak acceleration, 11 (+1)ms pulse width
	Non-operating	50 g peak acceleration, 11 (+1)ms pulse width
Vibration		Tested 5 g @ 10-500Hz per IEC 68-2-6
Conductors	Wire Size	12 gauge (4mm ²) stranded maximum
	Category	3/64 inch (1.2mm) insulation maximum 2 ²
Agency Certification (when product or packaging is marked)		<ul style="list-style-type: none"> • CSA certified • CSA Class 1, Division 2, Groups A, B, C, D certified • UL listed • CE marked for all applicable directives
Installation Instruction		Publication 1794-5.6

¹ Includes offset, gain, non-linearity and repeatability error terms.

² Use this conductor category information for planning conductor routing as described in publication 1770-4.1, "Wiring and Grounding Guidelines for Noise Immunity."