



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE – LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO EN INSTRUMENTACIÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE INTERFASE
PERSONA MAQUINA (HMI) DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA
UNIDAD GENERADORA Nº 1 DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA
PUCARÁ”**

BALSECA ACOSTA JUAN FERNANDO

LATACUNGA-ECUADOR

AÑO 2007

AGRADECIMIENTO

Detrás del cumplimiento de esta meta profesional en mi vida se encuentran muchas personas que me han ayudado a lograr avanzar este peldaño de entre los varios que me esperan en la vida. Especialmente quiero mencionar entre esas personas primeramente a mis padres, Juan y Cecilia, que movidos por su indescriptible amor y su abnegado trabajo han sido mi principal apoyo no solo en el cumplimiento de esta meta importante sino también al guiarme por el camino del bien, a mis hermanos que han estado dispuestos a hacer los sacrificios necesarios por mí, y a mis tías Carmita y Fabiola junto con sus esposos por su mano generosa en gran manera pese a la distancia que nos separa. Y de manera muy especial le estoy profundamente agradecido a la empresa HIDROAGOYÁN, a los ingenieros Hernán Aguiar y Carlos Mora y a los compañeros de la Central Hidroeléctrica Pucará, quienes supieron confiar en mí al darme la oportunidad y apoyo para llevar a cabo el presente proyecto.

Juan Fernando.

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a las dos personas más especiales en mi vida, primero al Dios y Padre Celestial Jehová que con su sabia enseñanza de su palabra es una lámpara para mi pie y una luz para mi vereda, y a mi amada esposa Carmita que ha abierto su corazón puro a todo el amor que desde siempre le tenía y seguirá habiendo. Ambos son la razón de mí vivir y la fuerza que me motiva para seguir adelante cada día de valiosa vida.

Juan Fernando.

CERTIFICACION

Certificamos que el presente Proyecto de Grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE INTERFASE PERSONA MÁQUINA (HMI) DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD GENERADORA N° 1 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”, ha sido desarrollado en su totalidad por el señor Juan Fernando Balseca Acosta, bajo nuestra dirección.

Ing. Franklin Silva
DIRECTOR

Ing. Washington Freire
CODIRECTOR

INDICE GENERAL

CAPITULO 1

GENERALIDADES.....	9
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	10
1.2.1. Definición.....	10
1.2.2. Tipos de Centrales Hidroeléctricas.....	10
1.2.2.1. Central Hidroeléctrica de Pasada.....	10
1.2.2.2. Central Hidroeléctrica con Embalse de Reserva.....	10
1.2.2.3. Central Hidroeléctrica de Bombeo.....	11
1.2.3. Componentes Principales de una Central Hidroeléctrica	12
1.2.3.1. Almacenamiento de agua.....	12
1.2.3.2. Cortinas.....	12
1.2.3.3. Conducto de agua	12
1.2.3.4. La Casa de Máquinas y el Equipo.....	12
1.2.3.5. Canal de Descarga.....	14
1.2.4. Características principales de la Unidad Generadora de la Central Hidroeléctrica Pucará.....	14
1.2.5. Funcionamiento de un Generador Hidráulico.....	15
1.2.6. Partes principales del Generador de la Central Pucará.....	19
1.2.6.1. Excitatriz.....	19
1.2.6.2. Bobina de Excitación o de Campo.....	20
1.2.6.3. Devanado del Estator.....	21
1.2.6.4. Cojinetes o Chumaceras	21
1.2.6.5. Sistema de Frenado y Levantamiento.....	22
1.2.6.6. Sistema de Enfriamiento	22
1.2.6.7. Sistema Oleodinámico.....	23
1.2.6.8. Válvula Esférica.....	23

1.3. SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD GENERADORA DE LA CENTRAL PUCARÁ.....	24
1.3.1. Protección de corrientes en el eje.....	24
1.3.2. Detección y monitoreo de temperatura.....	24
1.3.3. Detección de flujo, nivel de agua y monitoreo de caudal	25
1.3.4. Medición de nivel y presión de aceite.....	26
1.3.5. Indicación de apertura de inyectores.....	27
1.3.6. Medición de presión de aire.....	28
1.3.7. Detección falla de engrase.....	28
1.4. INTERFASE PERSONA MÁQUINA HMI.....	28
1.5. FAMILIA DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES SLC 500.....	30
1.5.1. Definición de Controlador Lógico Programable (PLC).....	30
1.5.2. Componentes Básicos de un Sistema SLC 500.....	32
1.5.3. Pasos para especificar un sistema SLC 500	32
1.5.3.1. Selección de módulos I/O.....	33
1.5.3.2. Selección de módulos y dispositivos de Comunicación.....	34
1.5.3.3. Selección del Procesador SLC 500.....	38
1.5.3.4. Selección del Chasis SLC 500.....	40
1.5.3.5. Selección de Fuentes de Poder SLC 500.....	42
1.5.3.6. Selección del Software de Programación del SLC 500.....	42
1.6. DISPOSITIVOS DE INTERFASE PANELVIEW.....	43

CAPITULO 2

ANÁLISIS Y DISEÑO.....	46
2.1. DELIMITACIONES Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	46
2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN.....	47
2.2.1. Detección de Flujo de agua de Enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector.....	47
2.2.2. Medición de Caudal de Bombas de Enfriamiento.....	51
2.2.2.1. Conexión del Transmisor de Caudal PMD75.....	53
2.2.2.2. Pasos preparatorios.....	55
2.2.2.3. Selección de modo de medición.....	56
2.2.3. Medición de Nivel de Aceite en Tanque Acumulador.....	61

2.2.4. Medición de Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador.....	64
2.2.5. Medición de Temperatura de la Unidad Generadora.....	69
2.3. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS.....	72

CAPITULO 3

RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	75
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	75
3.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	75
3.2.1. Pruebas del sistema “Flujo de agua de enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector”.....	76
3.2.2. Pruebas del sistema “Nivel de Aceite en Tanque Acumulador”	76
3.2.3. Pruebas del sistema “Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador”.....	77
3.2.4. Pruebas del sistema “Medición de Caudal Bombas de Enfriamiento”.....	78
3.2.5. Pruebas del sistema “Medición de Temperatura de la Unidad Generadora”.....	78
3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	79
3.3.1. Análisis del sistema “Flujo de agua de enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector”.....	80
3.3.2. Análisis del sistema “Nivel de Aceite en Tanque Acumulador”	81
3.3.3 Análisis del sistema “Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador”.....	82
3.3.4. Análisis del sistema “Medición de Caudal Bombas de Enfriamiento”.....	85
3.3.5. Análisis del sistema “Medición de Temperatura de la Unidad Generadora”.....	86
3.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	87
3.5. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	88
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94

ANEXO 1: TABLAS DE ESPECIFICACIONES DE MÓDULOS I/O.....	96
ANEXO 2: PRINCIPALES VARIABLES FÍSICAS DE U1.....	99
ANEXO 3: LÓGICA DE PROGRAMACIÓN DEL SLC500.....	103
ANEXO 4: MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO HMI U1	156
ANEXO 5: PLANOS ELÉCTRICOS DEL PROYECTO.....	176
ANEXO 6: GLOSARIO.....	184
ANEXO 7: DIAGRAMA Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ.....	186
BIBLIOGRAFIA.....	191

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

En la Central Hidroeléctrica Pucará las variables físicas importantes que intervienen en el proceso de generación hidroeléctrica de la Unidad Generadora Nº 1 son supervisadas y controladas desde el sitio llamado “Sala de Control” por parte del personal de operación. Para realizar dicha supervisión el personal de operación necesita que los datos de campo del proceso sean adquiridos, enviados y presentados en Sala de Control. Sin embargo existe el inconveniente que no se dispone de algunas de las mediciones de las variables importantes del proceso en la “Sala de Control” debido a dos causas, siendo la primera el hecho de no existir ningún instrumento que se encargue del procesamiento de la información de campo y la segunda causa es que algunos de los instrumentos existentes han dejado de funcionar. Por lo tanto el operador necesita salir hacia los distintos sitios de la planta donde están ubicadas las variables de las que no se dispone de información en sala de control y proceder a tomar las lecturas de las mismas ya sea mediante instrumentos de medición locales analógicos de tipo indicador y/o utilizar el multímetro para realizar las mediciones. Lo anterior indica que no se posee una información continua de los datos de campo por lo que en caso de producirse una falla, como por ejemplo el aumento o disminución indebido del valor de la variable, no se puede saber de su ocurrencia en sala de control para tomar las debidas acciones correctivas sino hasta que el operador vaya a tomar la lectura local.

1.2. CENTRALES HIDROELECTRICAS.

1.2.1. Definición¹.

La energía de una Central Hidroeléctrica se obtiene aprovechando la energía potencial que adquiere el caudal al final de una caída de agua, la cuál es transformada por una turbina en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica por el generador, tratando de reducir al mínimo las pérdidas de energía. Una de las formas de aprovechar el recurso hidroenergético consiste en construir una presa que crea a su vez un embalse, aprovechable en generación, regadío y control de crecientes.

1.2.2. Tipos de Centrales Hidroeléctricas

1.2.2.1. Central Hidroeléctrica de Pasada

Una central de pasada es aquella en que no existe una acumulación apreciable de agua "corriente arriba" de las turbinas. En una central de este tipo las turbinas deben aceptar el caudal disponible del río que disponga al momento, con sus variaciones de estación en estación, o si ello es imposible el agua sobrante se pierde por rebosamiento. En ocasiones un embalse relativamente pequeño bastará para impedir esa pérdida por rebosamiento.

También entre sus características tenemos que el desnivel entre "aguas arriba" y "aguas abajo", es reducido, y si bien se forma un remanso de agua a causa del azud, no es demasiado grande. Este tipo de central, requiere un caudal suficientemente constante para asegurar a lo largo del año una potencia determinada.

1.2.2.2. Central Hidroeléctrica con Embalse de Reserva

En este tipo de proyecto se embalsa un volumen considerable de líquido "aguas arriba" de las turbinas mediante la construcción de una o más presas que

¹ O. RAMIRO, "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas", Mc. Graw Hill Interamericana, 1^{ra} edición. <http://www.eeq.com.ec/generacion/CentralesHidroelectricas.php> (Empresa Eléctrica Quito). <http://www.monografias.com/trabajos13/micro/micro.shtml>

forman lagos artificiales. El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Del volumen embalsado depende la cantidad que puede hacerse pasar por las turbinas. Con embalse de reserva puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque por completo durante algunos meses, cosa que sería imposible en un proyecto de pasada.

Las centrales con almacenamiento de reserva exigen por lo general una inversión de capital mayor que las de pasada, pero en la mayoría de los casos permiten usar toda la energía posible y producir kilovatios-hora más baratos. Pueden existir dos variantes de estas centrales hidroeléctricas:

- Con Casa de Máquinas al pie de la presa, en donde el desnivel entre “aguas arriba” y “agua abajo” obtenido es de carácter mediano.
- La de aprovechamiento por derivación del agua, que presenta desniveles mayores entre “aguas arriba” y “agua abajo” en comparación con los otros tipos de centrales.

1.2.2.3. Central Hidroeléctrica de Bombeo

Las centrales de bombeo son un tipo especial de centrales hidroeléctricas que posibilitan un empleo más racional de los recursos hidráulicos de un país. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía. Al caer el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al embalse superior para que pueda hacer el ciclo productivo nuevamente. Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

1.2.3. Componentes Principales de una Central Hidroeléctrica

Los elementos principales que constituyen una central hidráulica son los siguientes:

1.2.3.1. Almacenamiento de agua

Este constituye el requerimiento básico de una central hidroeléctrica, se usa para almacenar el agua que puede ser utilizada para accionar las turbinas que producen potencia eléctrica en los generadores. El almacenamiento debe ser natural de preferencia, como es el caso de los lagos. Los almacenamientos artificiales se pueden lograr mediante la construcción de cortinas para presas.

1.2.3.2. Cortinas

Una cortina es una estructura de concreto o de cualquier otro material que se construyen en un lugar adecuado sobre la trayectoria de los ríos, siendo la función primaria de una cortina el almacenar y dar altura al agua. Su diseño debe ser económico y confiable.

1.2.3.3. Conducto de agua

El conducto de agua o tubería de conducción, se usa para transportar el agua desde el almacenamiento hasta las turbinas, en el sitio llamado casa de máquinas. El sistema de conducción de agua incluye también a las válvulas de admisión, compuertas y en general el sistema de control de flujo del agua.

1.2.3.4. La Casa de Máquinas y el Equipo

La casa de máquinas consiste del edificio principal de un desarrollo hidroeléctrico, en donde tiene lugar la conversión de la energía del agua en energía eléctrica. Algunos de los elementos más importantes que se encuentran en la casa de máquinas son los siguientes:

- Turbinas
- Generadores eléctricos
- Gobernadores

- Válvulas de admisión y alivio
- Válvulas de compuerta
- Equipo de medición de flujo
- Ductos de aire
- Bombas de circulación de agua
- Transformadores eléctricos
- Tableros e instrumentos
- Barras de baja y alta tensión
- Interruptores de potencia
- Sala de baterías
- Grúas viajeras
- Oficinas y talleres

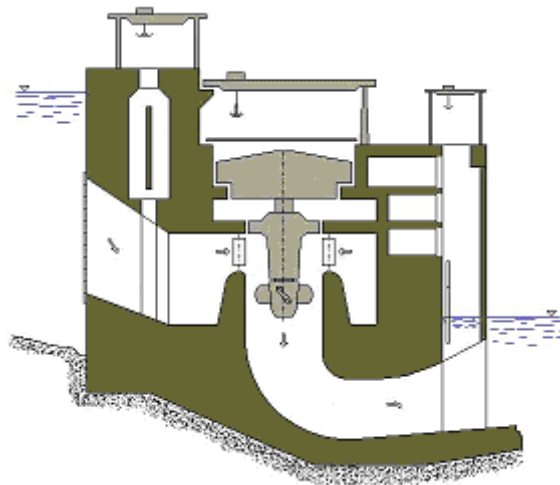


Figura 1.1. Esquema de la Casa de Máquinas

Las turbinas, cabe indicar que pueden ser de dos tipos principalmente:

- *Turbinas de Impulso.* En estas el agua que entra por las boquillas de inyección se inyecta directamente a una serie de álabes localizados en la periferia de la rueda polar, de manera que la energía de la presión del agua se convierte totalmente en energía cinética. La mayoría de las turbinas de impulso son de eje horizontal y se utilizan en grandes alturas mayores a

400 metros. La turbina PELTON es de este tipo y su velocidad nominal está entre 600 a 1500 RPMs.

- *Turbinas de Reacción.* En este tipo el agua entra alrededor de toda la periferia de la rueda polar, permaneciendo esta todo el tiempo llena de agua, que actúa sobre la rueda y que se encuentra a una presión mayor que la atmosférica. Las turbinas de reacción pueden ser de eje horizontal o vertical, correspondiendo este último caso a los de mayor potencia. Por lo general se usan para caídas de agua medias y bajas. Dentro de las turbinas de reacción se tienen a las turbinas FRANCIS, KAPLAN y de impulsor, y su velocidad nominal está entre 75 a 300 RPMs.

El arreglo o disposición en la casa de máquinas debe ser de tal forma que proporcione suficiente espacio alrededor de algunos equipos como turbinas, generadores, gobernadores, válvulas, bombas, etc., para facilitar de esta manera su montaje, desmantelamiento y reparación.

1.2.3.5. Canal de Descarga

El canal de descarga es un conducto para transportar el agua descargada de la turbina al río, el agua después de accionar la turbina pasa a través del canal de desfogue hacia el canal de descarga.

1.2.4. Características principales de la Unidad Generadora de la Central Hidroeléctrica Pucará

En el caso de la Central Pucará se aprovecha el agua de los afluentes que se almacena en la laguna de Pisayambo, desde la cual mediante el túnel de conducción se lleva el agua hacia Chimenea de Equilibrio. A partir de este sitio mediante el túnel de carga se produce la caída del agua de 444 metros hacia casa de máquinas, en la cual se encuentran las turbinas de las unidades generadoras U1 y U2. La potencia generada por cada unidad generadora es de 36.5 MW, 40 MVA y factor de potencia de 0.98. Algunas características principales del generador y turbina son:

Características del generador

- Fabricante: Alstom
- Conexión Y
- Potencia generada: 36.5 MW y 40 MVA
- Frecuencia: 60 Hz
- Voltaje de salida: 13.8 KVAC $\pm 5\%$
- Corriente de salida: 1673 A
- Factor de potencia: 0,98
- Voltaje y corriente de excitación de la excitatriz: 190 VCD y 800 A
- Temperatura máxima: Rotor= 90°C, Estator= 80°C
- Enfriamiento por caudal de agua: 4550 LPM - 25°C

Características de la Turbina

- Caída neta: 444 metros
- Potencia: 49600 CV
- Turbina tipo Pelton de eje vertical
- Seis inyectoros
- Caudal nominal en cada unidad generadora: 9.3 m³/seg.
- Velocidad nominal: 514 RPMs
- Angulo de inclinación de la pendiente: 56°

1.2.5. Funcionamiento de un Generador Hidráulico²

Uno de los principales elementos dentro de una central hidroeléctrica es el Generador Hidráulico, el cual pertenece al grupo de dispositivos llamados máquinas eléctricas rotativas. Dichas máquinas se encargan en convertir la energía mecánica en eléctrica (Generador) o energía eléctrica en energía mecánica (Motor), utilizando ya sea corriente alterna o corriente continua y basando su funcionamiento en el *principio de inducción electromagnética*.

² Generadores Hidráulicos – Presentaciones de Reciclaje de Información de la Central Pucará 2004

El principio de Inducción Electromagnética indica que al mover rápidamente un conductor eléctrico de tal manera que corte las líneas de fuerza de un campo magnético, en el conductor se inducirá o aparecerá una tensión eléctrica. La magnitud de esa tensión eléctrica inducida es directamente proporcional a la longitud del conductor comprendida dentro del campo magnético, la velocidad relativa entre el conductor y el campo, y también depende de la intensidad del campo. La tensión eléctrica que se induce es llamada Fuerza Electro Motriz (f.e.m.)

La Ley de Lenz nos dice que las fuerzas electromotrices o las corrientes inducidas en el conductor que se mueve dentro del campo, serán de un sentido tal que se opongan a la variación del flujo magnético que las produjeron. Para entender como se produce la f.e.m. analicemos el funcionamiento de un generador elemental, el cual consiste en una bobina de alambre que gira en un campo magnético.

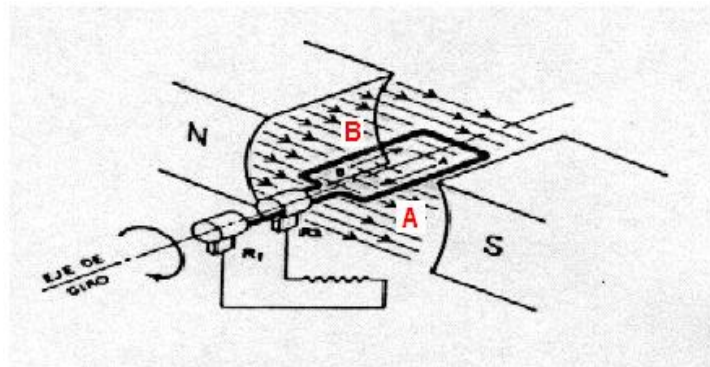


Figura 1.2. Esquema de Generador Elemental

Tal como se aprecia en la Figura 1.2, los lados A y B de la espira se moverán siempre en sentido opuesto con relación al campo magnético y por lo tanto la f.e.m. inducida en A y B estará también en sentido opuesto. Las f.e.m. inducidas se sumarán debido a que los lados A y B se encuentran conectados uno a continuación del otro formando la espira. A cada uno de estos lados A y B del conductor se les llama polos, por lo que para este ejemplo el generador es de 2 polos.

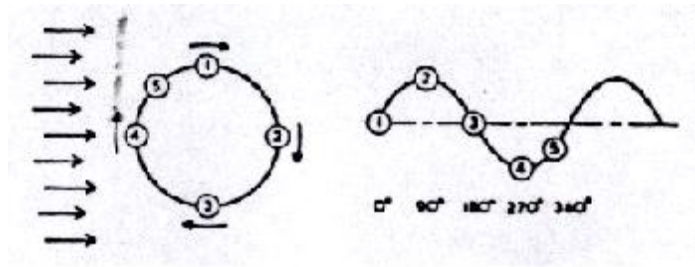


Figura 1.3. Generación de la f.e.m.

Cuando el lado A del conductor se encuentra en la posición 1 (Figura 1.3), se está moviendo en el mismo sentido que el campo magnético y no existe corte de las líneas de fuerza del mismo, por lo que no se induce ninguna f.e.m. Una vez que la espira ha girado 90° a la posición 2, se mueve en ángulo recto al campo y se inducirá una f.e.m. que produce una circulación de corriente en sentido hacia al observador como lo indica las flechas en la Figura 1.4, y el anillo rozante A1 tendrá una polaridad positiva respecto al anillo A2. Después a los 180° de giro se encontrará en la posición 3 el conductor y se moverá nuevamente en la misma dirección que el campo, es decir paralelamente, por lo que no se inducirá ninguna f.e.m. A los 270° de giro se encontrará en la posición 4 girando perpendicularmente al campo e induciéndose una f.e.m. de sentido de movimiento opuesto, resultando en una corriente en sentido opuesto al observador y dando una polaridad negativa al anillo rozante A1 con respecto al anillo A2. En posiciones intermedias como la 5 que se muestra, la dirección del movimiento del conductor forma un ángulo menor a 90° con el campo por lo que la cantidad de f.e.m. inducida será menor que la producida al formar los ángulos de 90° y 270° . En vista de lo anterior la f.e.m. inducida varía en forma sinusoidal cada vez que el conductor completa una revolución.

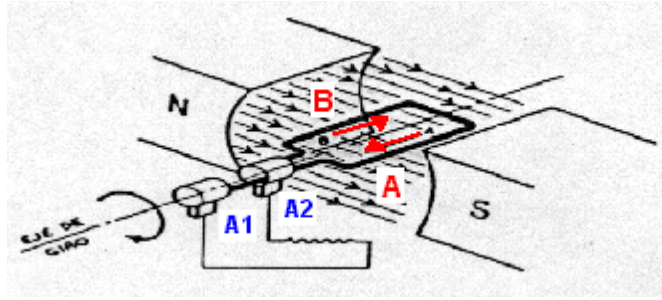


Figura 1.4. Circulación de corriente en el generador

Para que el f.e.m. inducido sea de mayor magnitud, en vez de un solo conductor debe haber varias espiras conectadas en serie formando una bobina que se debe arrollar en un núcleo de hierro que gire junto con ella para reducir el entrehierro y concentrar el flujo magnético en la misma. Además al existir mayor cantidad de espiras se aumentará el número de polos lo que reducirá la velocidad a la que debe girar el bobinado giratorio. En vista de esto último la frecuencia de la f.e.m. está relacionada con el número de polos y la velocidad de giro, siendo así que si el número de polos es par, la frecuencia se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$frecuencia = \frac{\#Polos * Velocidad \text{ (RPMs)}}{60}$$

Ahora bien puesto que la f.e.m. se induce debido al movimiento relativo entre el conductor y el campo, esto significa que la bobina puede girar en un campo magnético estacionario ó también que sea el campo magnético el que gire y la bobina permanezca estática. Y es esto último lo que justamente ocurre generalmente en los grandes generadores como los de una central hidroeléctrica, en donde el rotor o parte móvil produce un campo magnético giratorio dentro de un estator que contiene los devanados de armadura. El propósito de esto es simplificar el problema de los aislamientos de los devanados de alta tensión y a la vez proteger el generador de los esfuerzos mecánicos. Además en este tipo de generadores el estator tiene tres diferentes grupos de bobinas espaciadas 120° eléctricos entre sí enrolladas en el núcleo del estator (Figura 1.5), formando de esa manera un sistema de tres fases o trifásico, alcanzando cada una de estas

fases su valor máximo de tensión en diferentes momentos de acuerdo a su posición relativa al campo magnético giratorio y los finales de estas tres bobinas están conectadas entre sí formando una conexión estrella. La tensión que aparece entre los terminales libres de cualquiera de dos devanados es de 1,73 veces la tensión que existe en uno de ellos.

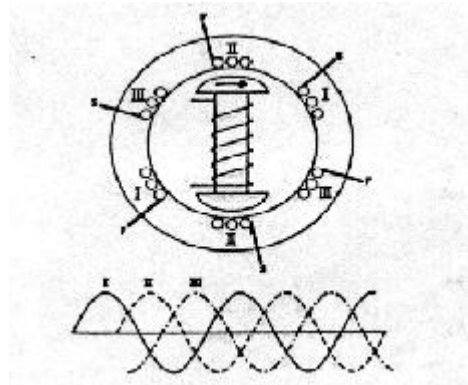


Figura 1.5. Generador Trifásico y su tensión generada

1.2.6. Partes principales del Generador de la Central Pucará

A continuación se procede a describir las principales partes del generador y la función que desempeñan:

1.2.6.1. Excitatriz

Se encarga de suministrar la energía para generar el campo magnético rotativo en el rotor. Prácticamente llega a ser un pequeño generador con una bobina girando en un campo magnético estático. Inicialmente la excitatriz recibe la alimentación eléctrica de un banco de baterías de 125 VCD para producir el campo magnético, que inducirá un voltaje en el bobinado rotativo de la excitatriz que se encuentra en movimiento gracias a la inyección de agua en la turbina de la Unidad Generadora. Adicionalmente en el rotor de la excitatriz se encuentra un conjunto de diodos que rectifican el voltaje AC inducido y lo convierten en CD para suministrarlo a la bobina de excitación o de campo del generador principal. Una vez que el generador principal produce su voltaje de salida, este es convertido a DC para alimentar a la excitatriz y reemplazar al banco de baterías. El conjunto de diodos es llamado “Diodos Rotativos” y mediante este sistema se

invierte el campo excitador y la armadura eliminando el uso de anillos rozantes, y permitiendo controlar el voltaje de salida del generador principal por medio del campo excitador que provee al estator.



Figura 1.6. Bobinado rotativo de la excitatriz con sus diodos rotativos

1.2.1. Bobina de Excitación o de Campo

Produce el campo magnético giratorio para el generador principal, para lo cual recibe la alimentación de voltaje DC desde la excitatriz. Se encuentra en el eje giratorio que está acoplado a la turbina del generador y su bobinado forma un conjunto de polos.



Figura 1.7. Bobina de Campo del generador principal

1.2.6.3. Devanado del Estator

Es el conjunto de bobinados donde se induce el voltaje de salida del generador principal debido al efecto del campo magnético giratorio producido por la bobina de campo del rotor.



Figura 1.8. Devanados del estator del generador principal

1.2.6.4. Cojinetes o Chumaceras

En general la finalidad básica del cojinete es transmitir el peso y esfuerzo de las partes giratorias a las losas, esto es a la estructura de la casa de máquinas. Por consiguiente la chumacera guía no permite oscilaciones a las partes giratorias, es decir sirve para guiar al eje. Los cojinetes trabajan en conjunto con la “Araña de Soporte” que está dimensionada para dar al cojinete la máxima estabilidad y permitir el menor movimiento radial posible. Para desempeñar su función los cojinetes, poseen aceite lubricante en su interior en donde se encuentra sumergido el eje principal del generador, con lo que se reduce la fricción entre los elementos. En la unidad generadora existen tres cojinetes principales: Guía Turbina, Inferior Generador y Combinado, teniendo este último dentro de sí el cojinete Guía Superior y el cojinete de Empuje.

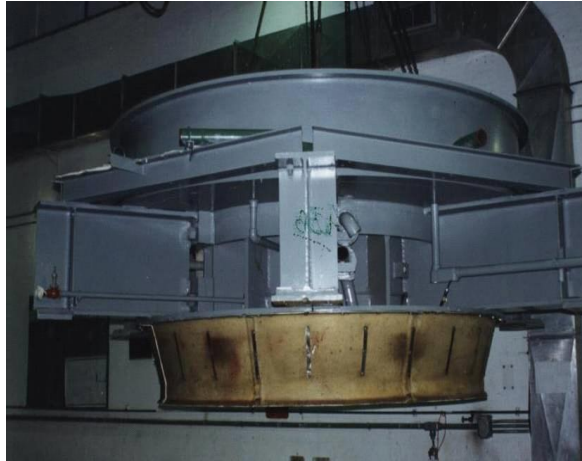


Figura 1.9. Cojinete Superior

1.2.6.5. Sistema de Frenado y Levantamiento

El sistema de frenado está conformado por la pista y gatos de frenado, siendo su función el detener la máquina en el menor tiempo posible. La operación de los gatos de frenado se produce cuando la velocidad de rotación desciende del 20% de su velocidad nominal, momento en que los gatos de frenado se friccionan con la pista de frenado.

El sistema de levantamiento se encarga de levantar al eje principal de la unidad generadora, para que se produzca la película de aceite lubricante entre las partes móviles y fijas, y de esa forma permitir el movimiento rotativo de la unidad.

1.2.6.6. Sistema de Enfriamiento

Su función es reducir y mantener la temperatura dentro del rango aceptable de trabajo de los componentes de la unidad generadora, tales como los cojinetes y el tanque colector de aceite en los cuales interiormente existe una tubería intercambiadora de calor; y los bobinados y chapas del estator que son refrigerados por medio de radiadores que enfrían el aire circundante al generador. El elemento refrigerante que se utiliza en este sistema es el agua turbinada que se impulsa por un conjunto de bombas y distribuido mediante las respectivas tuberías.



Figura 1.10. Radiador para enfriamiento

1.2.6.7. Sistema Oleodinámico

El objetivo fundamental que cumple el sistema oleodinámico en combinación con los circuitos electrónicos, es realizar la regulación de velocidad con el propósito de mantener durante la generación una frecuencia constante, pese a cualquier variación de carga que se produzca. La regulación de la velocidad de la unidad está asegurada por un regulador electrónico, aire y aceite comprimidos, y equipado de un distribuidor para mando de las agujas de los inyectores y de los deflectores. Los inyectores son los que aplican el chorro de agua a gran presión sobre el rodete de la turbina para hacerla girar, mientras que los deflectores interrumpen el chorro de agua de forma súbita en caso de un paro de emergencia de la unidad, aún antes que se cierren los inyectores.

1.2.6.8. Válvula Esférica

Su función es abrir o cerrar el paso del agua que viene con potencial de caída mediante el túnel de carga hacia los inyectores de la turbina.

1.3. SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD GENERADORA DE LA CENTRAL PUCARA³

Las partes principales de la unidad generadora de la central se encuentran protegidas y supervisadas por dispositivos dedicados con este propósito; específicamente pueden actuar en tres formas: Alarma, Bloqueo y Disparo. En estado de alarma su propósito es advertir de una situación anormal en el proceso al operador para que el mismo pueda tomar las acciones correctivas del caso. Además de la activación de alarma, si la situación anormal del proceso ocurre mientras la unidad está detenida o estado estático, el sistema de control puede activar las acciones de bloqueo que impiden el arranque de la unidad hasta que se solucione el problema presente; mientras que si la situación anormal ocurre durante el estado de rotación o dinámico de la unidad, se produce el disparo o paro total de la unidad como medida de protección. Las variables primordiales que son supervisadas por el sistema de control son:

1.3.1. Protección de corrientes en el eje

Consiste en un juego de carbones de puesta a tierra montados en el eje, que cumplen la función de descargar cualquier tensión que se pueda inducir en el eje debido al efecto del campo magnético del rotor.

1.3.2. Detección y monitoreo de temperatura

Las temperaturas supervisadas de los elementos de la unidad generadora son:

- Temperatura de las bobinas (devanados) y chapas (núcleo) del estator
- Temperatura del metal y aceite de los cojinetes: guía superior generador, de empuje, guía inferior generador y guía turbina
- Temperatura del aire de enfriamiento producido por los radiadores

³ J. RODRÍGUEZ , "Instrumentación Industrial", Latacunga 1999

Los dispositivos utilizados para la medición de temperatura son:

- ✓ RTDs (Detectores Térmicos Resistivos). Están elaboradas de un material conductor metálico de cobre con una resistencia de 10Ω a 25°C . Las señales provenientes de las RTDs llegan hasta un registrador de temperatura que no está funcionando al momento, por lo que se procede a medir el valor óhmico mediante un multímetro, para luego calcular el valor de temperatura que está presentando el sensor.

- ✓ Teletermómetros. Son dispositivos medidores de temperatura que utilizan un bulbo conectado por medio de un capilar a un pistón retráctil en su extremo. Todo el dispositivo está lleno de vapor de mercurio. Su funcionamiento consiste en que cuando la temperatura del bulbo cambia, el vapor contenido se expande moviendo el pistón y éste a su vez desplaza el movimiento de una aguja indicadora sobre una escala graduada. Presentan la desventaja de entregar únicamente señales eléctricas discretas de salida tipo contacto a 125 VCD, cuando la temperatura llega a los valores seteados para alarma o disparo.

- ✓ Termóstatos. Su función consiste en actuar sobre contactos de salida a 125 VCD cuando la temperatura del proceso llega al nivel seteado previamente para su operación

1.3.3. Detección de flujo, nivel de agua y monitoreo de caudal

La detección y medición de flujo y nivel de agua se realizan específicamente en los siguientes sitios:

- Detección de circulación de agua en cada uno de los seis radiadores de enfriamiento.
- Detección de circulación de agua en los intercambiadores de calor de los cojinetes: combinado, guía inferior generador y guía turbina.
- Medición de caudal de salida de las bombas de enfriamiento.

- Nivel de agua del pozo de alimentación para las bombas de enfriamiento.
- Porcentaje de apertura de la válvula esférica de ingreso de agua.

Los dispositivos utilizados para la detección y medición de flujo y nivel de agua son:

- ✓ Veletas. Son detectores de circulación de agua tipo lengüeta, que al paso del agua actúan sobre sus contactos de salida de 125 VCD. Por ser de tipo mecánico su operación, presentan problemas de reposición de estado o la ruptura de la lengüeta detectora.
- ✓ Flujómetro Diferencial. Este instrumento se vale de la diferencia de presión que produce un elemento tipo placa-orificio en la tubería de salida de agua de las bombas de enfriamiento para la medición del caudal. El diferencial de presión es traducido a caudal por un dispositivo mecánico y luego presentado en un indicador de aguja sobre escala graduada, con el inconveniente de no entregar ninguna señal eléctrica proporcional al caudal.
- ✓ Boyas de Nivel. Son elementos flotadores que en su interior tienen contactos de mercurio a 220 VCA, que actúan conforme el nivel de agua baje o suba de la posición a la que se encuentran colocados. Presentan la desventaja de dar el estado de nivel en pasos discretos y no en forma continua.
- ✓ Contactos Apertura V. Esférica. Indican el porcentaje de apertura de la válvula esférica en tres pasos: 0% (totalmente cerrada), 30% ó 100% (totalmente abierta)

1.3.4. Medición de nivel y presión de aceite

La supervisión del nivel y presión de aceite se realiza en los siguientes equipos de la unidad:

- Nivel de aceite en los cojinetes combinado y guía inferior generador
- Presión de aceite en el cojinete guía turbina
- Nivel y presión de aceite en el tanque acumulador y circuitos de regulación del sistema oleodinámico

Los dispositivos utilizados para la medición de estas variables son:

- ✓ Flotador Magnetrol. Es un equipo formado por dos vasos comunicantes conectados a los cojinetes, en cuyo interior existe un flotador que al desplazarse por efecto del cambio de nivel, actúa sobre contactos de tipo magnético a 125 VCD. Uno de los vasos comunicantes detecta el nivel de aceite bajo en estado estático de la unidad generadora y el otro vaso detecta niveles alto y bajo en estado dinámico de la unidad. Presentan la desventaja e inclusive no se encuentran operando adecuadamente, debido a que al poseer elementos mecánicos se traba el flotador al momento que tiene que desplazarse.
- ✓ Manómetro Terrice. Mide que el nivel de aceite en el cojinete guía turbina sea el adecuado, basándose en que la presión del aceite que se produce al girar la unidad generadora sea la adecuada. Su indicación es tipo visual y de acción sobre contactos a 125 VCD.
- ✓ Flotadores de Nivel. Se utilizan en el tanque acumulador para determinar si el nivel de aceite es Alto-Alto, Alto, Normal, Bajo y Muy-Bajo. Entregan señales de discretas tipo contacto a 125 VCD.
- ✓ Presóstatos. Indican si la presión dentro del tanque acumulador es Baja o Muy-Baja, mediante contactos a 125 VCD

1.3.5. Indicación de apertura de inyectores

Mediante servomotores que actúan sobre contactos a 125 VCD, se indica el porcentaje de apertura de los inyectores de agua que mueven a la turbina.

1.3.6. Medición de presión de aire

Se utiliza manómetros de indicación visual y presóstatos de contactos a 125 VCD, para el monitoreo de la presión del aire comprimido del grupo Moto-Compresor.

1.3.7. Detección falla de engrase

Una serie de contactos a 125 VCD indican si existen las condiciones de engrasamiento adecuadas para la unidad generadora.

1.4. INTERFASE PERSONA MAQUINA HMI

Un sistema de Interfase Persona Máquina permite al operador humano realizar la supervisión del funcionamiento adecuado de un proceso de producción de manera gráfica mediante un dispositivo de interfase con el operador, de tal forma que él pueda tomar decisiones y acciones oportunas sobre el proceso aún sin la necesidad de estar presente en forma física.

Para lograr todo lo anteriormente mencionado, el HMI debe proporcionar información confiable y a tiempo tanto desde el proceso hacia el operador, y viceversa. Entre la información que recibe y suministra el operador desde y hacia el proceso tenemos: los valores de las variables físicas más críticas que intervienen tales como temperatura, presión, nivel, caudal, velocidad, voltaje, corriente, etc., y el estado operativo de los elementos de control final como por ejemplo electroválvulas, motores, bombas, contactores, inyectores, etc. Al disponer de todos estos datos el HMI puede proporcionar al operador de lo siguiente:

- Seguir de forma gráfica la secuencia de los pasos necesarios para poner en marcha o detener el proceso. Puede ser que aquellos pasos sean realizados manualmente por el operador, de manera automática por controladores lógicos, o una mezcla de ambos métodos.

- Accionar manualmente mediante el HMI algún elemento de control final, cambiar los valores o rangos de: setpoints, activación de alarmas, bloqueos o disparos del proceso, etc.; tanto si el proceso está o no en marcha.
- Hacer modificaciones en la lógica de funcionamiento del proceso, especialmente en caso de disponer de sistemas de automatización avanzados que permiten cambiar su programación vía software, como ocurre con los PLCs y RTUs⁴.
- Advertir de anomalías en el proceso por medio de la activación de alarmas visuales y/o audibles, por ejemplo cuando alguna de las variables físicas excede su rango de operación normal. Su propósito es que el operador puede tomar acciones preventivas antes que la anomalía se agudice y tratar en lo posible que el proceso continúe en marcha, ó caso contrario detenerlo, claro sino a ocurrido esto último de manera automática por acción de los sistemas de control y protección.
- Llevar un registro histórico de la ocurrencia de las alarmas con el objetivo de determinar las causas reales del problema que las originó. Esto es de suma utilidad en especial para el personal de mantenimiento que deberá realizar las acciones correctivas del caso.
- Tener un acceso por jerarquías o niveles de autorización al proceso, para limitar la intervención de los usuarios del HMI según su función de trabajo, conocimientos y experiencia

Como es puede apreciar en la Figura 1.11, un sistema HMI está conformado por un dispositivo *Controlador* que se encarga de la adquisición de datos del proceso recibiendo las señales provenientes de los *Sensores* o *Transmisores* de instrumentación, también del envío de órdenes hacia los *Elementos de Control*

⁴ RTU: Remote Terminal Unit (Unidad Terminal Remota)

Final, y finalmente que se encargue de intercambiar la información del proceso con un dispositivo *Terminal Visual* en donde se presente el HMI para el respectivo monitoreo.

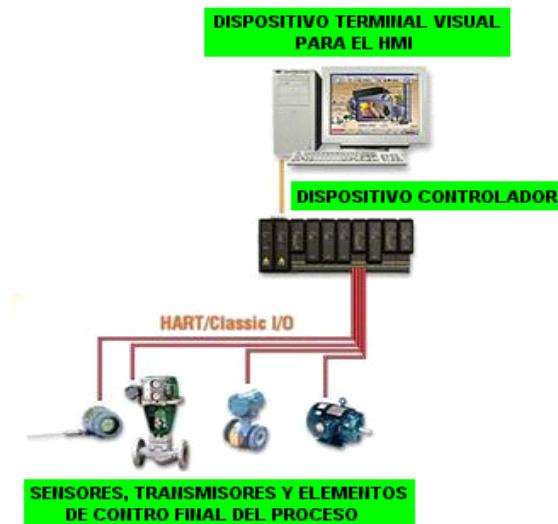


Figura 1.11. Componentes principales de un HMI

1.5. FAMILIA DE CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES SLC 500⁵

1.5.1. Definición de Controlador Lógico Programable (PLC)

Un Controlador Lógico Programable o PLC (Figura 1.12), es un dispositivo electrónico programable que recibe señales eléctricas en sus terminales de *Entradas*, realiza mediante su *CPU*⁶ el procesamiento de los estados de esas entradas en base a una lógica de programación almacenada previamente en la *Memoria* del PLC, para finalmente actuar sobre sus terminales de *Salidas*. Las señales de entrada al PLC generalmente provienen de transductores o transmisores de instrumentación, como son los RTDs, flujómetros, tacómetros, etc., que se encargan de convertir una variable física como por ejemplo temperatura, caudal, etc. en una señal eléctrica analógica o digital estandarizada (4-20 mA, 1-5 Vcd, 24 Vcd, etc.) que pueda ser aceptada por el PLC. También las salidas del PLC entregan señales eléctricas estandarizadas, pero que son

⁵ ROCKWELL AUTOMATION, Folleto "SLC 500 Systems-Bulletin 1746 and 1747-Selection Guide"

⁶ CPU: Central Process Unit (Unidad de Procesamiento Central)

enviadas hacia elementos de control final tales como contactores, drivers de motores, actuadores de electroválvulas, etc. Además los PLCs suelen tener por lo menos un *Puerto de Comunicación* que sirve para su programación y para conectarse con dispositivos externos, ya sea a otros PLCs, terminales de interfase gráfico, módems, módulos de I/O⁷ remotos, etc. Y según si el PLC tiene sus componentes agrupados como uno solo ó en forma de módulos independientes, será de tipo *compacto* o *modular* respectivamente.

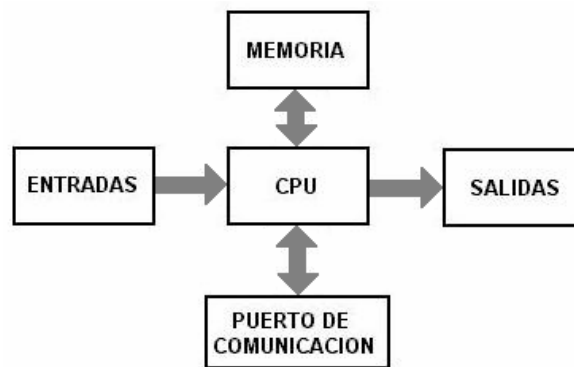


Figura 1.12. Componentes elementales de un PLC

Los productos SLC 500 de Allen Bradley constituyen una familia de Controladores Lógicos Programables (PLCs) de tipo modular los cuales en un chasis o rack se van colocando sus distintos elementos modulares como son: controladores programables o CPUs, módulos I/O digitales, módulos I/O analógicos, y módulos especiales para temperatura, conteo, control de procesos y lenguaje BASIC. También se dispone de módulos de comunicación para un amplio rango de configuraciones para distintos tipos de redes de comunicación industriales tales como RS-485, Ethernet, ControlNet, RIO, etc. Y para adquisición de datos desde sitio remoto se tiene los módulos llamados Flex I/O. Todos estos dispositivos de la familia SLC 500 son configurados y programados mediante el software de programación ladder RSLogix 500.

⁷ I/O: Input/Output (Entradas/Salidas)



Figura 1.13. Familia de PLCs SLC 500

1.5.2. Componentes Básicos de un Sistema SLC 500

Como mínimo, un sistema SLC 500 en sus componentes de hardware está conformado por un módulo procesador, un módulo I/O, un rack o chasis de montaje de los módulos, y una fuente de poder, como se puede apreciar en la Figura 1.14.

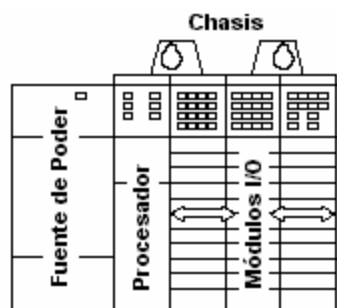


Figura 1.14. Componentes básicos de un Sistema SLC 500

1.5.3. Pasos para especificar un sistema SLC 500

Para determinar los componentes de un sistema SLC 500 el fabricante Allen Bradley propone seguir los siguientes pasos:

1.5.3.1. Selección de módulos I/O

En base a la cantidad y tipo de señales de entrada y salida que van a ser procesadas por el SLC 500 para la aplicación, se escogerá los respectivos módulos. Sírvase ver el “Anexo 1: Tablas de Especificaciones de Módulos I/O” para seleccionar el módulo adecuado. Dentro de este grupo tenemos:

- *Módulos I/O digitales* de 4, 8, 16 o 32 canales de entradas y con una gran variedad de voltajes permitidos (incluidos AC, DC y TTL). Módulos combinados de 2 entradas/2 salidas, 4 entradas/4 salidas, y 6 entradas/6 salidas. Para los módulos de salidas existen del tipo estado-sólido AC y DC, y de salida a relé.
- *Módulos I/O analógicas* de 4, 8 o 16 canales de entradas, seleccionables por el usuario que permiten configurar cada canal de entrada para una señal de voltaje o corriente procedente del transductor, filtro de entrada en los módulos para eliminar el ruido eléctrico, resolución de conversión de 12 a 16 bits según el módulo.
- *Módulos para entradas de temperatura* de interfase con termocuplas tipo J, K, T, E, R, S, B y N; interfase con RTDs de platino, cobre, níquel, y níquel-hierro, e interfase con resistencias variables como potenciómetros de hasta 3 K Ω . Los módulos para RTDs pueden presentar los valores de las mismas en temperatura en grados Centígrados ó Fahrenheit, y también los valores en ohmios.
- *Módulos I/O contadores* de canal simple bidireccional, soporte de cuadratura, pulso/dirección, o conteo ascendente/descendente.
- *Módulos para control de procesos* tipo PID, para control de movimiento y posición, y para lenguaje BASIC.

1.5.3.2. Selección de módulos y dispositivos de Comunicación

Este paso se debe realizar principalmente cuando el PLC va a trabajar en red con otros PLCs o equipos. Según los requerimientos de comunicación de la red se debe seleccionar el módulo o dispositivo y el cableado necesario. Entre los tipos de red que soporta la familia SLC 500 están:

- *Red Ethernet TCP/IP* (Figura 1.15). Es una red de área local diseñada para el intercambio de alta velocidad de información entre computadores y dispositivos relacionados. Con su gran ancho de banda de 10 a 100 Mbps, este tipo de red permite que muchos computadores, controladores, y otros dispositivos se puedan comunicar a grandes distancias. Una red Ethernet provee un sistema que permite conectar a la parte administrativa de la empresa con la sección de planta.

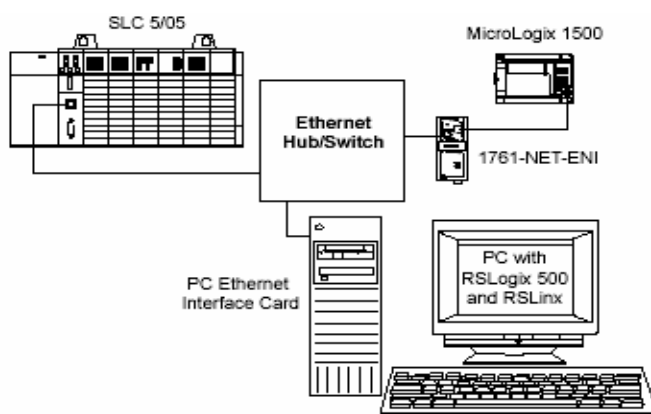


Figura 1.15. SLC 500 en red Ethernet TCP/IP

- *Red ControlNet* (Figura 1.16). Es una red abierta, de alta velocidad, determinística utilizada para la transmisión de información en tiempos críticos. Provee control en tiempo real y servicios de mensaje para comunicaciones peer-to-peer (igual-a-igual). Como una conexión de alta velocidad entre los controladores y los dispositivos I/O, una red ControlNet combina las capacidades de las redes I/O Remota Universal (Universal Remote I/O) y DH+. Se puede conectar una variedad de dispositivos a la red ControlNet, incluyendo computadores,

controladores, dispositivos de interfase con el operador, drives, I/O módulos. Por lo tanto este tipo de red proporciona el desempeño requerido para el control de datos críticos, como son la actualización de las I/O y la comunicación entre controladores. También soporta la transferencia de datos no-críticos, como recuperación (upload) y descargas (download) de programas, y mensajería.

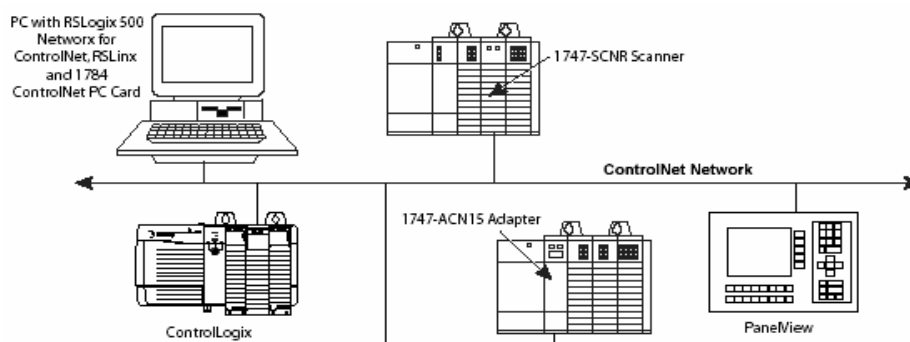


Figura 1.16. SLC 500 en red ControlNet

- *Red DeviceNet* (Figura 1.17). Es una red abierta, de bajo-nivel de comunicación que proporciona conexiones entre dispositivos industriales simples como sensores y actuadores hacia dispositivos de alto-nivel como son los controladores. Basada en la tecnología Red de Area Controlador CAN (Controller Area Network), esta red abierta ofrece interoperabilidad entre dispositivos de múltiples vendedores. Una red DeviceNet reduce los costos de: instalación, tiempo de inicio/comisionamiento (start-up/commissioning), y tiempo fuera de servicio del sistema o máquina. Además los costos de mantenimiento son bajos y también los de cableado, pues por el mismo conductor de fuente de 24 Vcd se realiza la comunicación.

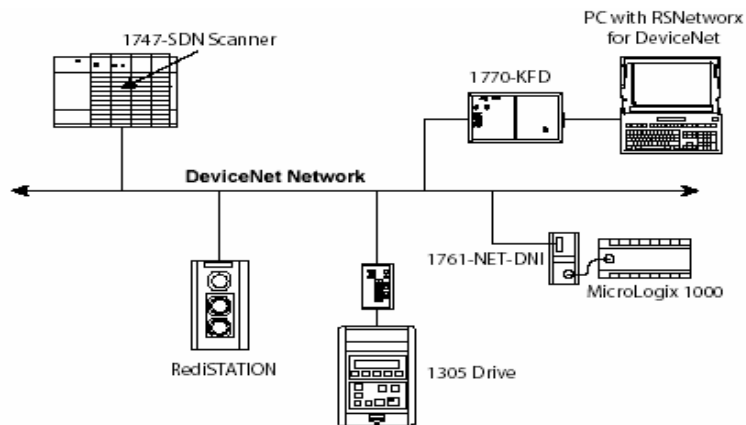


Figura 1.17. SLC 500 en red DeviceNet

- *Red Data High Way Plus [DH+]* (Figura 1.18). Es una red de área local diseñada para soportar programación remota y adquisición de datos para aplicaciones fábrica-piso (factory-floor). Se puede también utilizar los módulos de comunicación DH+ para implementar una red peer-to-peer. La red DH+ soporta configuraciones daisy-chain y trunkline-dropline. El número de dispositivos soportados a ser conectados en la red DH+ y la longitud máxima del cable depende de la tasa o velocidad de comunicación.

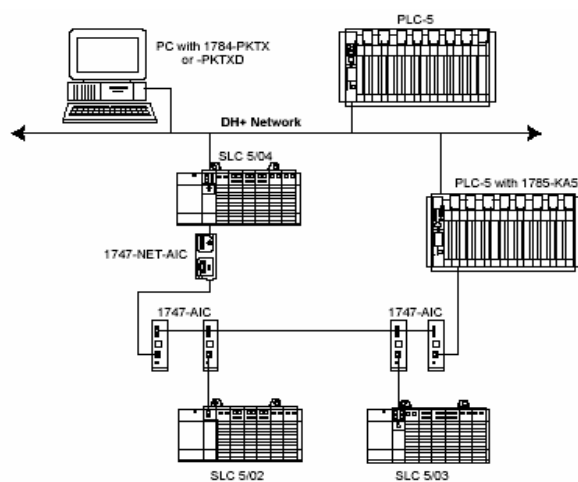


Figura 1.18. SLC 500 en red DH+

- *Red DH-485* (Figura 1.19). Esta red permite compartir información entre los dispositivos de piso de planta. Mediante la red los programas de aplicación pueden realizar las siguientes tareas: monitorear procesos, estados y parámetros de dispositivos, incluyendo detección de alarmas y fallas, adquisición de datos, funciones de control y supervisión, upload/download de programas del PLC sobre la red. Además permite una conexión de hasta 32 nodos, acceso de control de paso de marca (token passing access control), y la habilidad para añadir o remover nodos sin interrupción de la red. DH-485 soporta dispositivos esclavos y características de capacidad múltiplo-maestro.

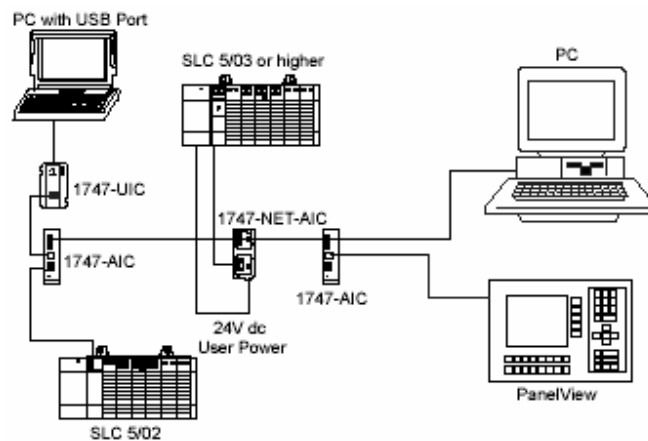


Figura 1.19. SLC 500 en red DH-485

- *Red Universal Remote I/O [RIO]* (Figura 1.20). La *fortaleza* y *versatilidad* de la red RIO se basa en la extensa gama de productos que soporta. Adicionalmente a los módulos 1746 I/O, la red RIO soporta muchos dispositivos Allen Bradley y de terceros. Los típicos rangos de aplicaciones van desde simples conexiones entre I/O y controladores, hasta conexiones entre una amplia variedad de otros tipos de dispositivos. Se basa en la conexión de los dispositivos a través de módulos adaptadores para las I/O remotas o I/O remotas con adaptadores incorporados en las mismas. Al utilizar la red RIO en vez de cableado directo a largas distancias desde los dispositivos hacia un chasis con I/O locales, permite reducir la instalación, puesta en marcha,

y costos de mantenimiento gracias a la ubicación de I/O cercanas a los sensores y actuadores del proceso. Los procesadores SLC 5/03, 5/04, y 5/05 soportan “pass-thru” lo cual permite configurar los dispositivos RIO remotamente desde redes Ethernet, DH+, o DH-485/DF1, así como instrucciones de transferencia de bloque para una rápida escritura y lectura de datos de las I/O.

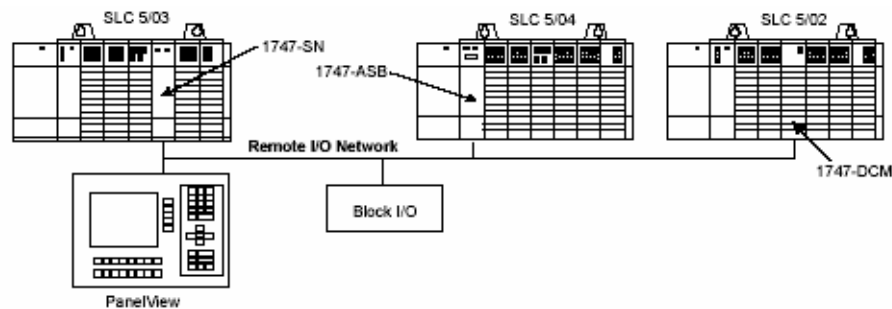


Figura 1.20. SLC 500 en red RIO

- *Red Serial.* Los procesadores SLC 5/03, SLC 5/04, y SLC 5/05 poseen un puerto serial, el cual es configurable para que sea compatible con la comunicación RS-232. Este puerto serial sirve para: conectarse a dispositivos que se comunican utilizando el protocolo DF1, como por ejemplo módems, módulos de comunicación, estaciones de trabajo para programación, o otros dispositivos asociados; también permite la comunicación mediante protocolo RS-485, enviar y recibir caracteres ASCII para dispositivos que utilizan este protocolo tal como terminales ASCII, lectores de barras, e impresoras. Cuando el puerto serial es configurado en “modo de sistema”, se puede seleccionar los siguientes modos DF1: Full-Duplex, Half-Duplex Maestro, Half-Duplex Esclavo, Radio Módem

1.5.3.3. Selección del Procesador SLC 500

El procesador para el sistema SLC 500 debe ser seleccionado en base a la capacidad de memoria, número de I/O que se va a manejar, desempeño,

requerimientos de programación, y opciones de comunicación. A continuación se da una breve descripción de los procesadores disponibles:

- *Procesador SLC 5/01.* Este procesador ofrece un set básico de instrucciones con la posibilidad de elegir entre 1K o 4K Words de memoria en una configuración de hardware modular. Los sistemas SLC 500 que incluyan un procesador SLC 5/01 pueden ser configurados para un máximo de tres chasis (30 slots en total) y desde 4 puntos de I/O hasta un máximo de 3940 puntos de I/O.
- *Procesador SLC 5/02.* Este procesador ofrece instrucciones complejas adicionales, comunicaciones mejoradas, tiempos de escaneo más rápidos que el SLC 5/01, y diagnósticos extensivos que le permiten funcionar en aplicaciones más complejas. Los sistemas que lo utilicen pueden ser configurados para un máximo de tres chasis (30 slots en total) y desde 4 puntos de I/O hasta un máximo de 4096 puntos de I/O.
- *Procesador SLC 5/03.* Este procesador proporciona 8K a 16K Words de memoria. Posee un puerto estándar DH-485 y un canal RS-232 incorporado que permite la posibilidad de conectarse a dispositivos inteligentes externos sin la necesidad de módulos de comunicación adicionales. Los sistemas modulares I/O que lo utilizan pueden ser configurados para un máximo de tres chasis (30 slots en total) y desde 4 puntos de I/O hasta un máximo de 4096 puntos de I/O.
- *Procesador SLC 5/04.* En este procesador el puerto estándar DH-485 ha sido reemplazado con un puerto DH+, proporcionando alta-velocidad de comunicación de SLC 5/04-a-SLC 5/04 y conexión directa a los controladores PLC-5. Los sistemas modulares I/O que lo utilizan pueden ser configurados con un máximo de 3 chasis (30 slots en total) y desde 4 puntos de I/O hasta un máximo de 4096 puntos de I/O. Las opciones de memoria disponibles son 16K, 32 K, o 64K Words.

Adicionalmente, existe una opción SLC 5/04P, la cual es diseñada específicamente para la Industria de Plásticos y contiene algoritmos ERC2 para Control de Maquinaria de Plásticos.

- *Procesador SLC 5/05.* Este procesador proporciona la misma funcionalidad que el SLC 5/04 con comunicación estándar Ethernet en lugar de la comunicación DH+. La comunicación Ethernet tiene una velocidad de 10 Mbps, proporcionando un alto rendimiento de la red para el upload/download de programas, edición en línea, y mensajería peer-to-peer. Los sistemas modulares I/O que utilizan este procesador, pueden ser configurados para un máximo de tres chasis (30 slots en total) y desde 4 puntos de I/O hasta un máximo de 4096 puntos de I/O.



Figura 1.21. Procesador SLC 5/05

1.5.3.4. Selección del Chasis SLC 500

Para la selección del o los chasis se debe determinar el número de chasis necesarios en base a la cantidad de slots que se necesita para la aplicación y considerando las futuras expansiones, y también los cables de interconexión entre los chasis.

Los chasis modular SLC 500 proporcionan flexibilidad en la configuración de los sistemas. Existen cuatro tamaños de chasis disponibles: 4-slots, 7-slots, 10-slots, y 13-slots para ajustarse a las necesidades de la aplicación. Entonces el chasis modular SLC 1746 albergará el procesador o adaptador I/O, y los módulos I/O. Adicionalmente cada chasis requiere su propia fuente de alimentación, la cual

se monta en el extremo izquierdo del chasis. En la siguiente tabla se muestran los chasis y cables disponibles con sus números de catálogo:

N° Catálogo	Descripción
1746-A4	Chasis 4-Slots
1746-A7	Chasis 7-Slots
1746-A10	Chasis 10-Slots
1746-A13	Chasis 13-Slots
1746-C7	Cable de Interconexión Chasis. Tira de cable utilizada para interconexión de chasis hasta 152.4mm (6")
1746-C9	Cable de Interconexión Chasis. Tira de cable utilizada para interconexión de chasis desde 152.4mm (6") hasta 914.4mm (36")
1746-C16	Cable de Interconexión Chasis. Tira de cable utilizada para interconexión de chasis desde 914.4mm (36") hasta 1.27m (50")

Tabla 1.1. Descripción de chasis y cables de interconexión



Figura 1.22. Chasis 7-Slots



Figura 1.23. Chasis 13-Slots

1.5.3.5. Selección de Fuentes de Poder SLC 500

La fuente de poder para cada chasis debe ser seleccionada en base a la demanda de carga del sistema y considerando las posibles futuras expansiones de módulos que se adicionen en los slots libres. La selección de la fuente de poder para el sistema debe ser cuidadosamente seleccionada para conseguir un rendimiento óptimo y evitar una excesiva carga de la fuente, lo que puede causar un apagado súbito de la misma o fallas prematuras.

Las fuentes de poder para los sistemas SLC 500 pueden ser alimentadas con varios rangos de voltaje AC o DC. Adicionalmente estas fuentes de poder tienen la capacidad de soportar pérdidas del suministro de alimentación sin afectar el funcionamiento del sistema por un período de 20 msec. hasta 3 seg., dependiendo de la carga.

1.5.3.6. Selección del Software de Programación del SLC 500

Conforme a la aplicación que se va a dar al sistema SLC 500 se debe seleccionar el paquete apropiado del software de programación *RSLogix 500*. Este software permite programar desde un computador la lógica de funcionamiento del controlador en base al modo de programación tipo Ladder o Escalera. Es compatible con los sistemas operativos Windows 98, Windows NT 4.0, Windows 2000, o Windows XP. Entre algunas de sus características el RSLogix 500 tiene:

- *Flexibilidad y fácil edición.* Posee una opción de *Verificador de Proyecto* que genera un listado navegable de los errores presentes en el programa. Permite la edición *Online* del programa aún mientras el proceso controlado permanece en marcha. Se puede copiar o mover instrucciones de un escalón (rung) a otro, y copiar o mover todo el escalón.
- *Fácil configuración de módulos I/O.* Se puede realizar la configuración de forma manual de los módulos I/O seleccionándolos de un listado, ó permitir que el software realice la configuración automáticamente de los módulos que detecta en el chasis. Además la configuración avanzada que se

necesita para los módulos analógicos o especiales, no presenta ninguna complicación.

- *Editor de Base de Datos.* Su principal característica es el permitir asignar nombres o símbolos particulares a las instrucciones para una fácil identificación de su propósito y ubicación en la aplicación.
- *Monitoreo del programa.* Mediante la edición del programa Online, se puede monitorear la ejecución del programa ladder, como van funcionando cada una de las instrucciones y el estado de las entradas de los módulos I/O, lo que nos permite ir depurando la lógica de programación.

Adicionalmente al software RSLogix 500 también se necesita del software *RSLinx*, el cual es un paquete servidor de comunicación que provee la conectividad de los dispositivos de piso-planta (plant-floor) para una amplia variedad de aplicaciones. RSLinx puede soportar a múltiples aplicaciones de software comunicándose simultáneamente a una variedad de dispositivos en muchas redes diferentes, así por ejemplo el RSLinx permite la comunicación entre el RSLogix 500 y el procesador SLC 500 que se esté programando. El funcionamiento del RSLinx es muy semejante a un navegador gráfico de directorio de archivos y PCs como por ejemplo el *Windows Explorer*.

1.6. DISPOSITIVOS DE INTERFASE PANELVIEW⁸

Los dispositivos de la familia PanelView son terminales visuales de interfase con el operador que se utilizan en aplicaciones en las que se necesita monitorear, controlar y desplegar información de un proceso o máquina de forma gráfica, permitiendo al operador comprender rápidamente el estado en el que se encuentra la aplicación o proceso. En vista de esto, los dispositivos PanelView son utilizados en la implementación de HMIs.

⁸ ROCKWELL AUTOMATION, Folleto "Visualization Platforms Selection Guide"

La configuración de los terminales PanelView y el desarrollo de sus pantallas de interfase para cada aplicación, son desarrolladas mediante el software de programación *PanelBuilder32* en un computador y luego descargadas hacia el terminal PanelView. El PanelBuilder32 proporciona herramientas estándar, objetos, gráficos, bitmaps y edición de tags para configurar las pantallas de presentación del HMI y permitir el diálogo con el dispositivo controlador SLC 500 que se esté utilizando. De igual manera que sucede con los controladores SLC 500, se debe utilizar el software RSLinx para permitir la comunicación entre el PanelView y el PanelBuilder32.



Figura 1.24. Dispositivo de Interfase Gráfico PanelView 1000

Algunas de las características que ofrecen los dispositivos PanelView son:

- Preferible compatibilidad con los controladores y redes Allen Bradley.
- Diálogo con el usuario del PanelView mediante Teclado, Pantalla Táctil, o la combinación de las dos opciones.
- Presentación y almacenamiento de disparo de alarmas por medio de listados de alarmas y banners.
- Pantallas con seguridades para limitar el acceso a las mismas a operadores autorizados según niveles jerárquicos.

- Desarrollo de aplicaciones multilinguaje hasta en 5 idiomas.
- Puerto RS-232 de conexión a impresora para imprimir alarmas, listados de alarmas, mensajes y estados de indicadores-multiestado.
- Puertos y protocolos de comunicación para varios tipos de redes, tales como: Ethernet/IP, DeviceNet, ControlNet, DH+, RIO, DH-485, RS-232 (con protocolo DH-485), RS-232 (con protocolo DF1), Profibus y Modbus.

CAPITULO 2

ANÁLISIS Y DISEÑO

2.1. DELIMITACIONES Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

En vista de que el presente proyecto es un prototipo es necesario especificar el campo de acción y limitaciones del mismo. Para esto se ha procedido a realizar un análisis de las principales variables físicas que intervienen en el proceso de generación hidroeléctrica por parte de la Unidad Generadora N°1, y se ha procedido a escoger cuales variables serán monitoreadas por el HMI que se pretende desarrollar con este proyecto. De esta manera el proyecto se podrá desarrollar en base al presupuesto de dinero disponible por la empresa y también a un tiempo de duración razonable.

En el “*Anexo 2: Principales Variables Físicas de U1*” se encuentra el listado de las principales variables de la Unidad Generadora U1 de la Central Pucará, sus transductores de medición y cuales señales han sido seleccionadas para ser monitoreadas en este proyecto. A manera de resumen se puede mencionar que las señales monitoreadas serán las siguientes:

- Detección de Flujo de agua de Enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector
- Medición de Caudal de Bombas de Enfriamiento
- Medición de Nivel de Aceite en Tanque Acumulador
- Medición de Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador
- Medición de Temperatura de la Unidad Generadora

2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISION

A continuación se procede a realizar el diseño y selección de los elementos y equipos que se necesitan para monitorear las señales seleccionadas de la U1, tratando en lo posible de utilizar los dispositivos que actualmente posee la empresa Hidroagoyán, como son el PLC modular SLC500 y el dispositivo de interfase para HMIs PanelView 1000. Adicionalmente se explica la lógica de programación implementada en el SLC500 que se utilizó para el procesamiento de las señales de la U1 monitoreadas, la misma que se encuentra impresa en su totalidad en el “*Anexo 3: Lógica de Programación del SLC500*”. En cuanto al interfase de las pantallas desarrolladas para el PanelView, su programación y lógica de funcionamiento se puede hallar en el “*Anexo 4: Manual de Operación del Prototipo HMI U1*”.

2.2.1. Detección de Flujo de agua de Enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector

Para monitorear la circulación de flujo de enfriamiento en los seis radiadores del generador, del tanque colector y de los cojinetes: combinado, inferior generador y turbina, se ha procedido a tomar las señales de los detectores tipo veleta (Figura 2.1). En estos detectores se está utilizando su contacto normalmente cerrado (NC) el cual cambia a estado normalmente abierto (NA) cuando detecta la circulación de flujo. Dicho contacto se encuentra conectado en serie con el contacto NA 65SDX-2 que cambia de estado y suministra el voltaje de trabajo a la veleta una vez que la U1 ha empezado a girar, pues el sistema de enfriamiento solo opera cuando el generador está funcionando. Por lo anterior, cada veleta nos entrega una señal de 0 VCD cuando existe flujo y 125 VCD cuando no hay flujo, señal que actualmente ingresa al cuadro de alarmas respectivo. Entonces para monitorear a las veletas necesitamos módulos de entradas digitales para el PLC e Hidroagoyán dispone de los módulos Allen Bradley 1746-IB16 que poseen 16 entradas digitales a 24 VCD. Por tanto para poder utilizar estos módulos necesitamos realizar un acoplamiento entre la señal de 125 VCD de la veleta y la entrada a 24 VCD. Se ha procedido a utilizar entonces como elemento acoplador un relé de bobina a 125 VCD para que reciba la señal de la veleta y un contacto NA del mismo relé conectado a 24 VCD para

que envíe la señal a la entrada digital del PLC cuando actúe la veleta. En la Figura 2.2 se aprecia un ejemplo de este diseño, el cual se utiliza también para las veletas restantes.



Figura 2.1. Detector de flujo tipo Veleta

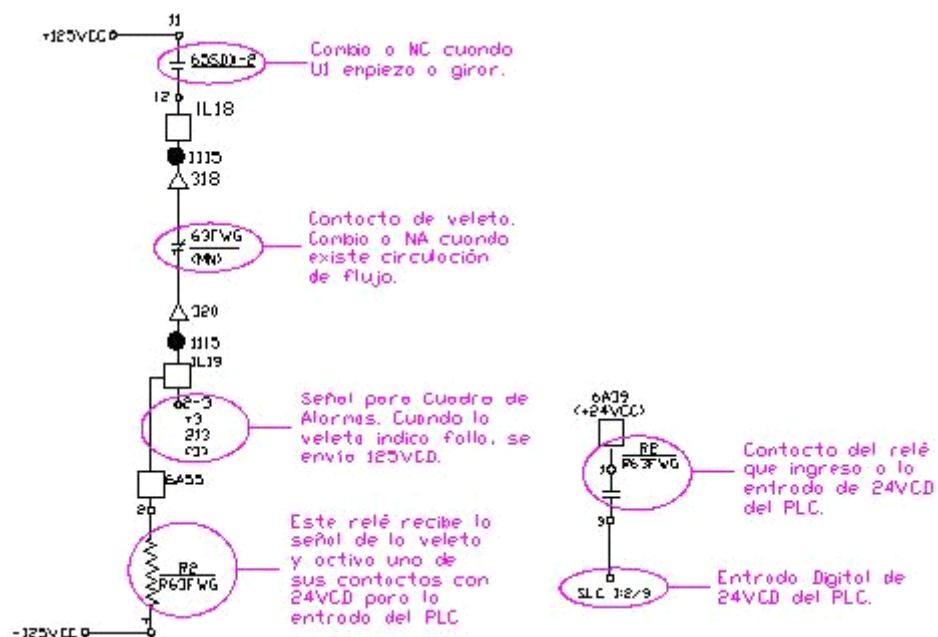


Figura 2.2. Acoplamiento de Veleta 125 VCD a Entrada Digital 24 VCD

En la mayoría de las veletas su señal ingresa individualmente al cuadro de alarmas de sala de control, siendo la excepción las veletas de los seis radiadores de la U1, las cuales en el circuito original se encontraban conectadas en paralelo y enviando una sola señal por todas ellas. Como para el presente proyecto nos

interesa individualizar la señal de cada veleta, se ha independizado las señales de las veletas de los radiadores para su ingreso al PLC; sin embargo en vista que se necesita tener una señal representativa para el cuadro de alarmas cuando cualquiera de las seis veletas actúe, nos valdremos de un contacto NA adicional que poseen los relés que reciben las señales de las veletas, los ponemos en paralelo y enviamos como una sola señal hacia el cuadro de alarmas, tal como originalmente funcionaba el circuito.

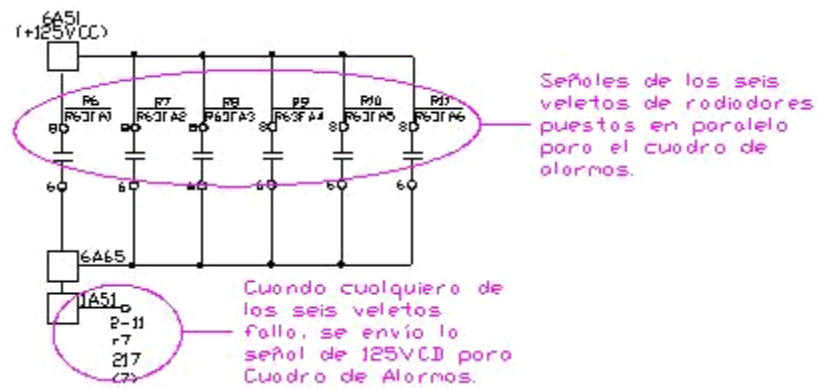


Figura 2.3. Señal de veletas de radiadores hacia cuadro de alarmas

En lo que respecta a la lógica implementada en el SLC500 para el monitoreo de las señales de las veletas se puede apreciar un ejemplo en la Figura 2.4. A través de la entrada I:2/0 se recibe la señal de la veleta la misma que está en serie con el contacto del temporizador T4:0/DN el cual permite el paso de la señal de estado de la veleta después que han pasado 3 minutos desde que arrancó la U1, que es el tiempo que necesita el personal de operación para activar el sistema de enfriamiento y de esa manera evitar el disparo de la alarma mientras se realiza dicha maniobra. Se ha implementado la instrucción OSR B3:2/1 junto con la salida interna B3:4/1 para activar una sirena indicadora de alarma que se piensa implementar a futuro. La salida interna B3:0/1 sirve para disparar la alarma en el PanelView, mientras que la instrucción MOV coloca el valor “2” en la variable entera N7:3 el cual equivale en el PanelView a la figura de la veleta con falla en el flujo. El tercer escalón sirve para colocar el valor de “1” en N7:3 el cual equivale en el PanelView a la figura de la veleta con flujo normal, y finalmente el cuarto escalón setea a valor “0” a N7:3 para representar en el

PanelView la figura de la veleta en estado inactivo o sin flujo debido a que la U1 no está operando y por tanto no hay razón para disparo de la alarma.

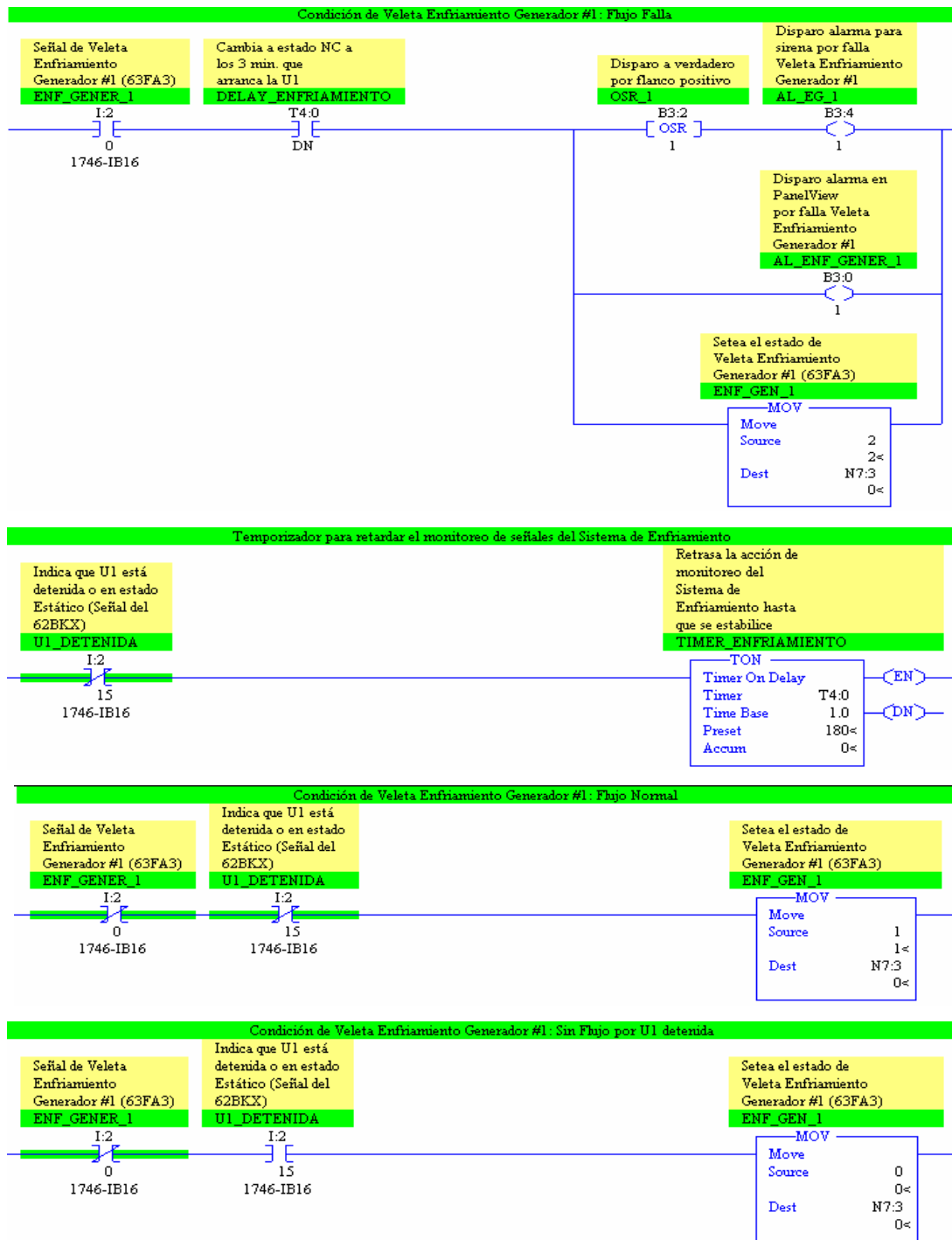
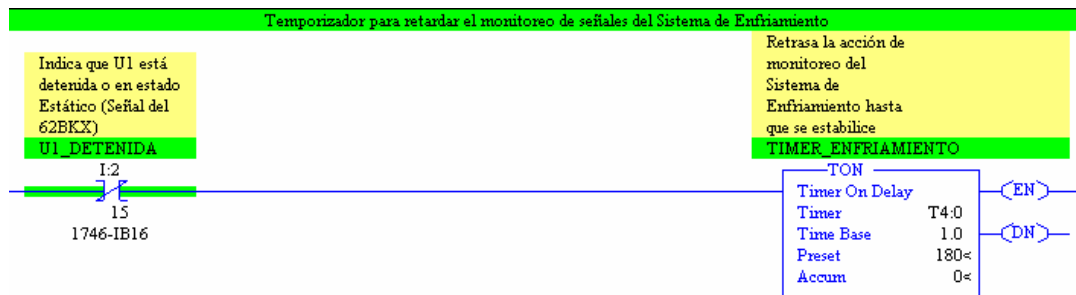


Figura 2.4. Ejemplo de Lógica implementada en SLC500 para monitorear una veleta



**Figura 2.4. Ejemplo de Lógica implementada en SLC500 para monitorear una veleta
(Continuación)**

2.2.2. Medición de Caudal de Bombas de Enfriamiento

En vista que el antiguo medidor de caudal de bombas de enfriamiento es de tipo analógico (Figura 2.5) y por lo tanto presenta solo una indicación visual de su valor, se ha procedido a seleccionar un transmisor de instrumentación de caudal de señal de salida de 4-20 mA para que pueda ser procesada por el PLC. Ya que en la tubería que circula el caudal de enfriamiento se encuentra instalado el elemento placa-orificio con el que operaba el antiguo medidor, se ha decidido seleccionar un transmisor de caudal que pueda trabajar con ese elemento con el objetivo de reducir al mínimo los cambios en la estructura mecánica del sistema de enfriamiento. Por lo anterior mencionado, se decidió adquirir del fabricante Endress+Hauser el transmisor de presión diferencial “Deltabar S PMD75” (Figura 2.6) que puede determinar el caudal en base a la diferencia de presiones que le entregue el elemento placa-orificio. Para seleccionar este transmisor fue necesario determinar los siguientes parámetros que requería el fabricante:



Figura 2.5. Antiguo medidor de Caudal de Bombas de Enfriamiento



Figura 2.6. Transmisor Deltabar S PMD75

Parámetro Solicitado	Parámetro Especificado
Ambiente de trabajo	No explosivo ni peligroso
Tipo de señal de salida del Transmisor e interfase	4-20 mA HART, con LCD de operación externo
Rango de presión nominal de trabajo	500 mbares
Unidades de calibración	mbares / bares
Conexión al proceso	1/4 – 18 NPT

Tabla 2.1. Parámetros solicitados para selección del Transmisor de Caudal

Para la determinación del rango de presión nominal de trabajo del transmisor se procedió a medir la presión del agua circulante en las tomas que están antes ($P1$) y después ($P2$) del elemento placa-orificio, teniendo que $P1 = 1750\text{mbares}$ y $P2 = 1535\text{mbares}$. Por lo tanto la diferencia de $P1$ y $P2$ nos da el rango de presión diferencial máximo:

$$\Delta P = P1 - P2 = 215\text{mbares}$$

En vista que el rango de presión diferencial obtenido se encuentra entre los rangos de 100 mbares y 500 mbares que ofrece el fabricante, procedemos a escoger el de mayor valor, 500 mbares. El parámetro de conexión al proceso se

refiere al tipo y tamaño de conectores que posee el transmisor para poder conectarse a las tuberías que vienen desde las tomas de la placa-orificio.

Adicionalmente se ha seleccionado que el transmisor tenga una interfase LCD externa, el cual permite tener una medición local del valor de flujo, y también configurar el equipo para que en vez del valor de presión nos presente el valor de caudal calculado en base a la diferencia de presión.

2.2.2.1. Conexión del Transmisor de Caudal PMD75

El transmisor de caudal que se usa en este proyecto es de tipo 2 hilos, es decir posee dos conductores por los cuales recibe la señal de alimentación de 24 VCD y por los mismos envía la señal de 4 a 20 mA de información que representa el valor de caudal medido hacia el PLC.

En este proyecto se utilizan también módulos de Entradas/Salidas (I/O) remotas llamadas Flex I/O que pertenecen a la familia SLC500 de PLCs Allen Bradley, siendo el propósito de estos módulos el recibir señales del proceso lo más cerca posible con el objetivo de reducir la cantidad y extensión del cableado de las mismas. Estos módulos Flex I/O envían su información procesada a través del adaptador Flex I/O 1794-ASB y utilizando el cable Belden 129463 hacia el módulo escáner 1747-SN el que se encuentra en una de las ranuras del PLC modular SLC500 (ver Figura 2.7). Justamente para la medición de caudal de bombas de enfriamiento mediante el transmisor PMD75 se ha procedido a utilizar un módulo Flex I/O 1794-IE8 el mismo que posee 8 entradas analógicas que pueden ser configuradas para medir corrientes de 4 a 20 mA de transmisores de 2 hilos como es el caso de este proyecto. En la Figura 2.8 se aprecia la conexión del transmisor de caudal PMD75 hacia uno de los canales del módulo Flex I/O analógico. Para la conexión del transmisor se utilizó el cable para instrumentación Belden 8761, según lo recomienda el fabricante Allen Bradley para la conexión con el módulo Flex I/O 1794-IE8.

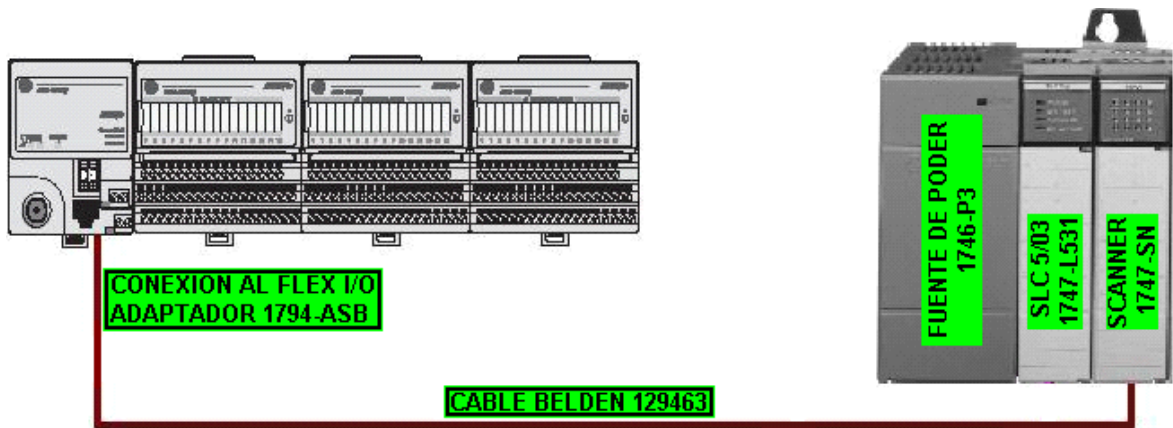


Figura 2.7. Conexión de Módulos Flex I/O hacia el Escáner

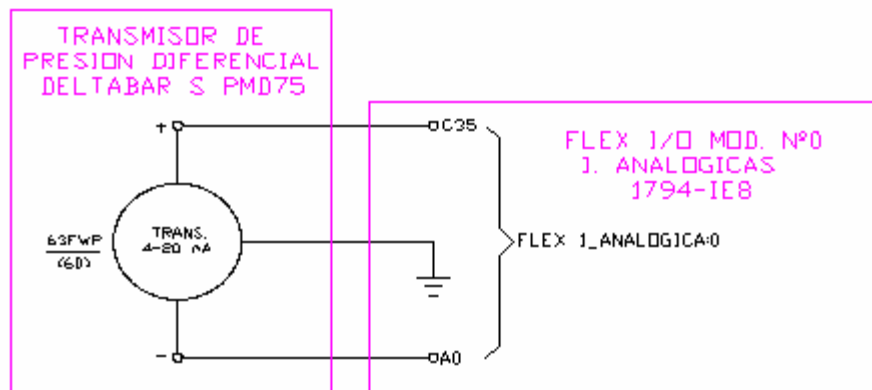
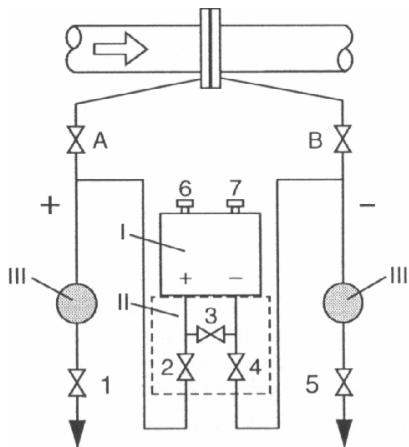


Figura 2.8. Conexión de Transmisor de Caudal PMD75

Para realizar la configuración y seteos del transmisor de caudal se siguió dos procesos especificados por el fabricante: *Pasos preparatorios* y *Selección de modo de medición*.

2.2.2.2. Pasos preparatorios



- I: Deltabar S PMD75
- II: Manifold o arreglo de tres válvulas
- III: Separador o filtro
- 1, 5: Válvulas de drenaje
- 2, 4: Válvulas de entrada
- 3: Válvula Equalizadora
- 6, 7: Válvulas de descarga del Deltabar S
- A, B: Válvulas de corte

Figura 2.9. Componentes del Sistema de Medición de Caudal

Antes de calibrar el medidor de caudal Deltabar S, las tuberías que vienen desde las tomas de la placa-orificio deben ser limpiadas y el dispositivo de medición debe ser llenado con fluido. En la Tabla 2.2 que se muestra a continuación se presentan las instrucciones a seguir para lograr lo anterior mencionado.

Nº	Estado de Válvulas	Propósito
1	Cerrar 3	
2	Llenar el sistema de medición con fluido:	
	Abrir A, B, 2, 4	Ingreso de fluido
3	Limpiar las tuberías si es necesario, haciendo circular el fluido hacia fuera:	
	Cerrar 2 y 4	Bloquear el dispositivo
	Abrir 1 y 5	Enjuagar las tuberías
	Cerrar 1 y 5	Cerrar las válvulas después del lavado
4	Descargar o desahogar el dispositivo:	
	Abrir 2 y 4	Introducir el fluido
	Cerrar 4	Cerrar el lado negativo

Tabla 2.2. Instrucciones a seguir para pasos preparatorios

4	Abrir 3	Balancear el lado positivo y negativo
	Abrir 6 y 7 brevemente, luego cerrarlas nuevamente	Llenar el dispositivo completamente con fluido y remover el aire
5	Setear el punto de medición en operación:	
	Cerrar 3	Aislar el lado positivo del lado negativo
	Abrir 4	Conectar el lado negativo
	Ahora se tiene que: <ul style="list-style-type: none"> • 1, 3, 5, 6 y 7 están cerrados • A, B, 2 y 4 están abiertos 	
6	Detener la circulación de fluido del sistema	
7	Configurar el dispositivo para medición de caudal (ver numeral 2.2.2.3)	

Tabla 2.2. Instrucciones a seguir para pasos preparatorios (Continuación)

2.2.2.3. Selección de modo de medición

En vista que el transmisor PMD75 originalmente es un medidor de presión diferencial, necesitamos configurarlo para que trabaje en modo de medición de caudal. Para lograr esto utilizamos el interfase LCD externo con sus tres teclas de operación, la misma que se muestra en la Figura 2.10.



Figura 2.10. Interfase LCD externo del Transmisor PMD75

La Tabla 2.3 muestra las funciones de las teclas de operación del LCD externo:

Teclas de Operación	Función
<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">+</div>	<p><i>Tecla “+”.</i> Sirve como tecla de selección, permitiendo desplazarse hacia arriba en las listas de opciones. También permite editar valores numéricos y caracteres dentro de una función.</p>
<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">-</div>	<p><i>Tecla “-”.</i> Sirve como tecla de selección, permitiendo desplazarse hacia abajo en las listas de opciones. También permite editar valores numéricos y caracteres dentro de una función.</p>
<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">E</div>	<p><i>Tecla “E”.</i> Permite ingresar al menú u opción seleccionada. Viene a ser el equivalente a la tecla ENTER que posee el teclado de un PC.</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">+</div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">-</div> </div>	<p>La combinación de estas teclas permite salir de la opción o menú actual. Equivale a la tecla ESC del teclado de un PC.</p>

Tabla 2.3. Teclas de operación del LCD externo del PMD75

Los pasos que se deben seguir para configurar el transmisor PMD75 en modo de medición de caudal son los siguientes:

- 1) El objetivo de este primer paso es seleccionar el idioma a español para facilitar la configuración. En la pantalla por defecto aparece el valor de presión medido, entonces pulsar “E” y escoger la opción “LANGUAGE”. Después seleccionar la opción “Español”.
- 2) Automáticamente aparece la pantalla del valor medido, entonces pasar a “SELECCIÓN GRUPO” pulsando “E”.

- 3) Seleccionar "*MODO DE SERVICIO*" (utilizando las teclas "+" o "-" para desplazarse y "E" para ingresar a dicha opción).
- 4) Seleccionar "*Caudal*".
- 5) Seleccionar "*MENU DE CONFIGURACION*".
- 6) Seleccionar "*CONFIGURACION*".
- 7) Seleccionar "*CONF. BASICA*".
- 8) Escoger como tipo de unidades de presión la opción "*mbar*".
- 9) Escoger como tipo de caudal la opción "*Volume p. cond.*".
- 10) Escoger como unidad de caudal "*L/min*".
- 11) Setear el valor de Caudal Máximo en 7000 L/min, que es el valor máximo según los datos de operación al que podría llegar el mismo. Para esto pulsar "+" o "-" lo que hace que automáticamente un cursor se posiciona en el primer dígito, entonces con esas mismas teclas incrementar o disminuir el valor del dígito hasta el número deseado y luego pulsar "E" para aceptar el valor; una vez hecho lo anterior el cursor se ubica en el siguiente dígito. Finalmente cuando todos los dígitos han sido seleccionados conforme al valor del caudal máximo, pulsar "E" para confirmar dicho valor. Este mismo procedimiento se utiliza para setear o cambiar el valor de los otros parámetros.
- 12) Setear el valor de Presión Máxima aunque por defecto es 500 mbar y es mejor dejar en ese valor que es la presión diferencial máxima que soporta el equipo.

- 13) Setear el Valor de Atenuación el cual es el tiempo en que se actualiza el valor de caudal medido. Por defecto es 2.0 s (segundos) y se lo ha dejado en ese valor.
- 14) Automáticamente después de realizar el paso anterior se regresa a “*Menu de Conf.*”. Una vez allí presionar “+” y “-” al mismo tiempo para salir al menú “*SELECCION GRUPO*”.
- 15) Escoger la opción “*CONF. RAPIDA*”, dejar “*MODO DE SERVICIO*” en “*Caudal*”
- 16) En la siguiente opción “*Ajuste cero*” vamos a calibrar el transmisor para el valor de caudal igual a cero. Antes de aceptar la opción “*Ajuste cero*” asegúrese que no existe circulación de flujo en el sistema de bombas de enfriamiento, lo que normalmente ocurre cuando la U1 no se encuentra generando, siendo esta la ocasión propicia para realizar este seteo.
- 17) A continuación dejar los parámetros de *Caudal Máximo*, *Presión Máxima* y *Valor de Atenuación* en los valores que ya fueron seteados anteriormente.
- 18) Dentro del menú “*SELECCIÓN GRUPO*” escoger la opción “*SALIR*”, lo que llevará hacia la presentación del valor de corriente de 4 mA que corresponde a los 0 L/min. de caudal medido. Entonces hay que esperar unos 4 minutos aproximadamente para que el valor de caudal medido se presente en unidades de L/min.

Con los pasos indicados el transmisor queda listo para su operación como medidor de caudal de las bombas de enfriamiento. Cabe indicar que cada cierto tiempo hay que chequear el ajuste cero del transmisor, es decir, que cuando no haya circulación de agua en las bombas el transmisor nos presente el valor de 0 a 1 L/min. aproximadamente, y en caso de existir una descalibración proceder con el ajuste como se explica en los pasos 15 a 18.

En lo que respecta a la lógica de programación para la medición de la señal proveniente del transmisor de caudal mediante el SLC500 y los módulos Flex I/O respectivo, esta se muestra en la Figura 2.11. En el primer escalón se configura al módulo Flex I/O 1794-IE8 para que sus canales de entrada trabajen en modo 4 a 20 mA utilizando la instrucción *Escribir Bloque de Transferencia* (BTW) para enviar el dato de configuración N10:0 = -256. El segundo escalón sirve para leer el dato de los canales de entrada del módulo Flex I/O 1794-IE8, el mismo que está en formato de 4 a 20 mA. Mediante el tercer escalón se convierte la señal de 4 a 20 mA en su equivalente de Litros/minuto (Lts./Min.). Finalmente el cuarto escalón permite mediante la instrucción *LEQ* (menor o igual que) realizar la comparación entre el valor medido del transmisor de caudal y el valor de alarma seteado que es de 4500 Lts./Min., dando un retardo de 3 minutos hasta que arranque el sistema de enfriamiento; las instrucciones *OSR* B3:3/2 y la salida interna B3:4/1 sirve para activar la sirena indicadora de alarma que se piensa implementar a futuro, la salida interna B3:1/2 sirve para disparar la alarma en el PanelView y la salida O:4/0 sirve para activar en el circuito de control de la U1 la señal para cuadro de alarmas.

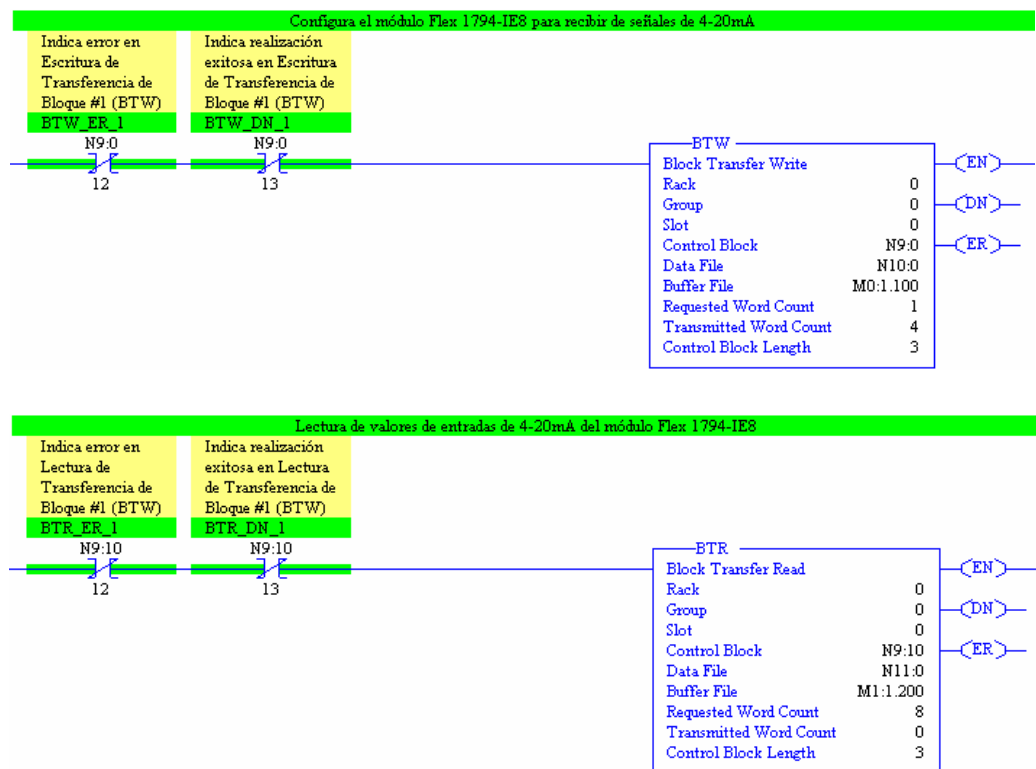


Figura 2.11. Lógica implementada en SLC500 para monitorear el Transmisor de Caudal

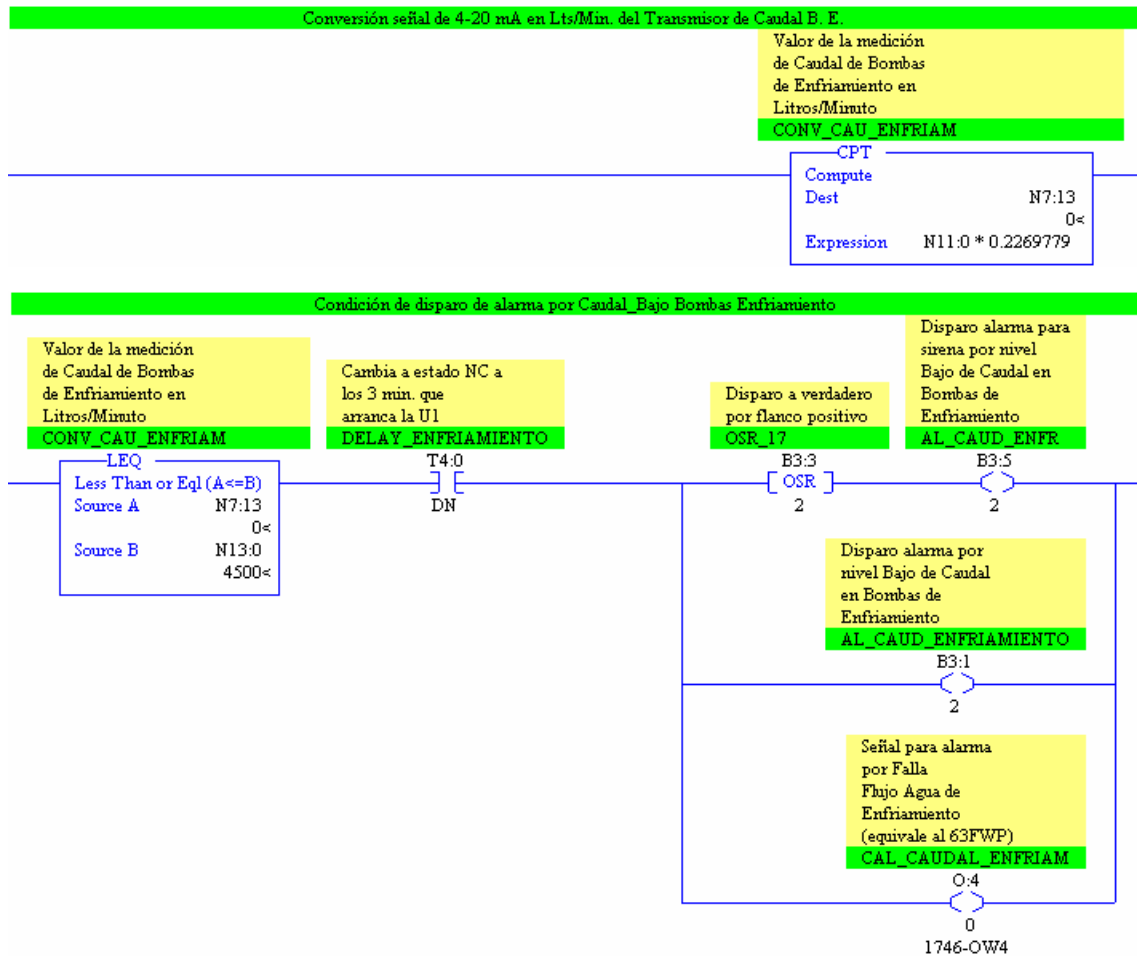


Figura 2.11. Lógica implementada en SLC500 para monitorear el Transmisor de Caudal (Continuación)

2.2.3. Medición de Nivel de Aceite en Tanque Acumulador

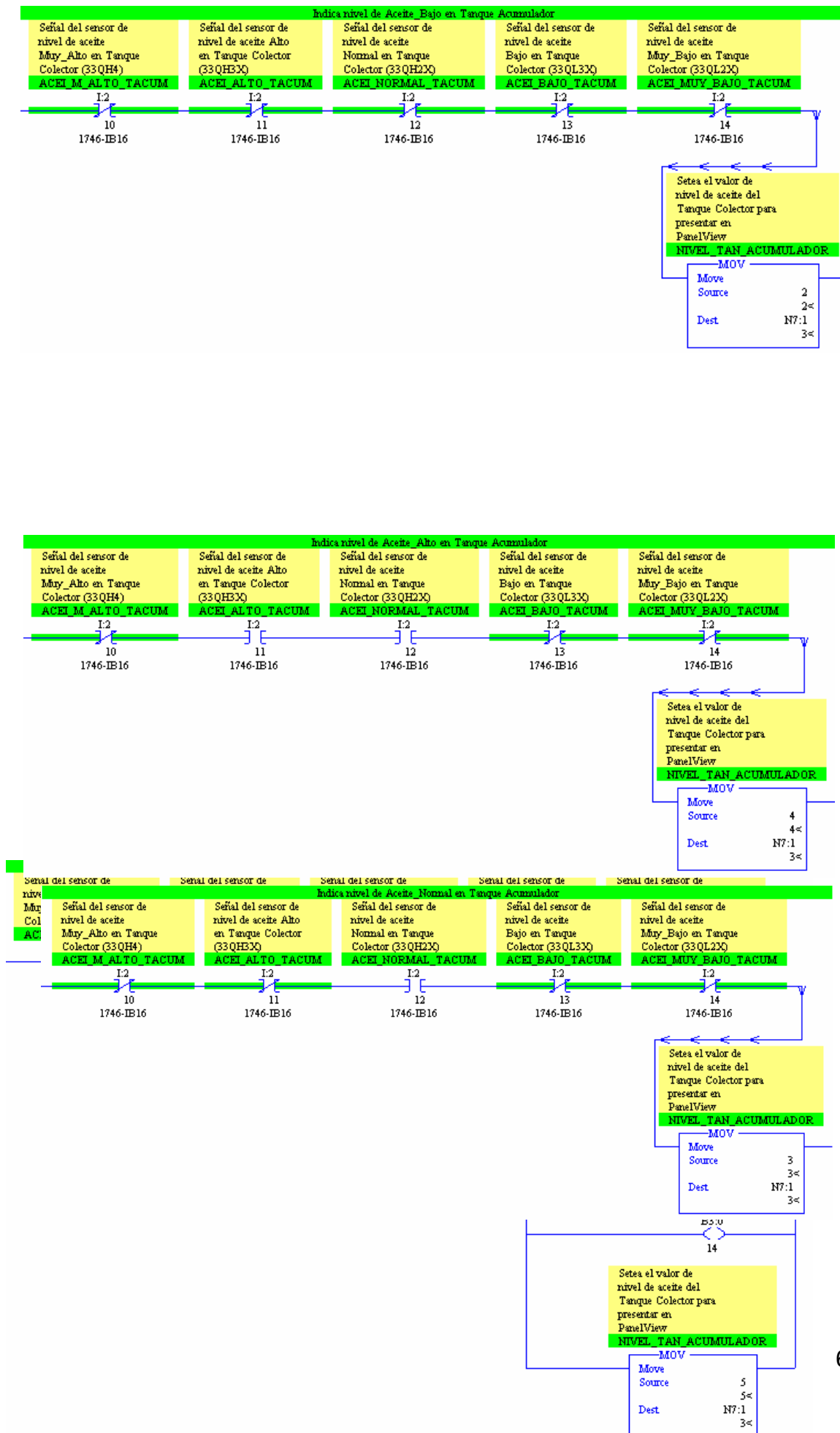
Para monitorear el nivel de aceite en el Tanque Acumulador se ha procedido a tomar en paralelo las señales de los 5 contactos del flotador que se encuentra dentro del mismo y nos indican los niveles: *Muy Bajo*, *Bajo*, *Normal*, *Alto* y *Muy Alto* (Figura 2.12). Las señales de estos contactos son a 125 VCD por lo que usamos la misma técnica que se diseñó para el monitoreo de las veletas, es decir, utilizar como interfase un relé de bobina a 125 VCD y uno de sus contactos conectados a 24 VCD, para entonces ingresar la señal hacia uno de los módulos Allen Bradley 1746-IB16 de entradas digitales a 24 VCD.



Figura 2.12. Tanque acumulador con su detector tipo flotador

La lógica de programación del SLC500 para monitorear el nivel de aceite se basa en detectar la combinación de los estados de los contactos del flotador del tanque acumulador. Cada uno de los escalones mostrados en la Figura 2.13 corresponden a la combinación de los contactos que ingresan mediante las entradas I:2/10 (Contacto o sensor nivel Muy_Alto), I:2/11 (Contacto o sensor nivel Alto) , I:2/12 (Contacto o sensor nivel Normal) , I:2/13 (Contacto o sensor nivel Bajo) e I:2/14 (Contacto o sensor nivel Muy_Bajo), y dependiendo de la combinación que se cumpla la variable N7:1 toma el valor correspondiente a su nivel para presentarlo en una barra gráfica del PanelView. Ya que solamente para el nivel de aceite muy alto se debe dar alerta de alarma, en el escalón correspondiente al mismo se han incluido los bits que manejen dicha alarma para la sirena que se colocará a futuro y para presentar la alarma en el PanelView.

Figura 2.13. Lógica implementada en SLC500 para monitorear el Nivel de Tanque Acumulador



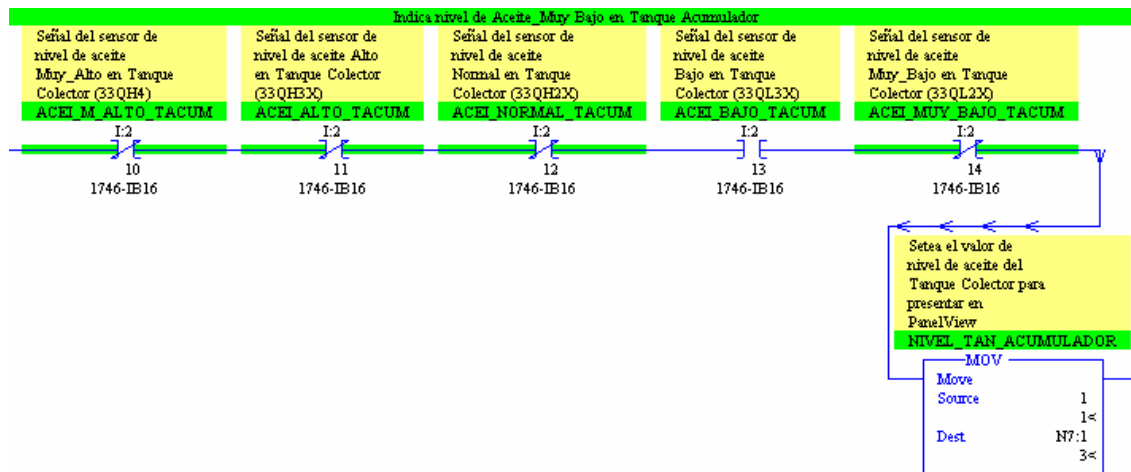


Figura 2.13. Lógica implementada en SLC500 para monitorear el Nivel de Tanque Acumulador (Continuación)

2.2.4. Medición de Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador

Como se indicó anteriormente, la medición del nivel de aceite del cojinete inferior generador se basa en el Flotador Magnetrol el cual presenta problemas en su funcionamiento tanto por poseer elementos mecánicos y magnéticos que se traban a la hora de operar (Figura 2.14). Por lo mencionado, fue necesario seleccionar otro sistema que permita realizar la medición del nivel de este cojinete. Tomando en cuenta que el líquido a medir no es conductor de electricidad, no se podía utilizar ningún sistema que se basara en la conducción eléctrica, como por ejemplo el uso de electrodos. En cuanto a la utilización de medidores ultrasónicos tampoco era factible pues estos sirven para mediciones de líquidos a partir de 1 metro, mientras que el nivel de aceite dentro del cojinete está en el rango de los 20 centímetros. Por tanto la alternativa que se optó fue utilizar sensores capacitivos que puedan detectar la presencia o ausencia de los niveles críticos de aceite del cojinete inferior generador: *Alto Dinámico (33Q2C)*, *Bajo Dinámico (33Q2B)* y *Bajo Estático (33Q2A)*, para lo cual se diseñó un sistema de medición basado en vasos comunicantes conectados a la cuba de aceite del cojinete y en los que externamente se coloca los sensores capacitivos (ver Figura 2.15).

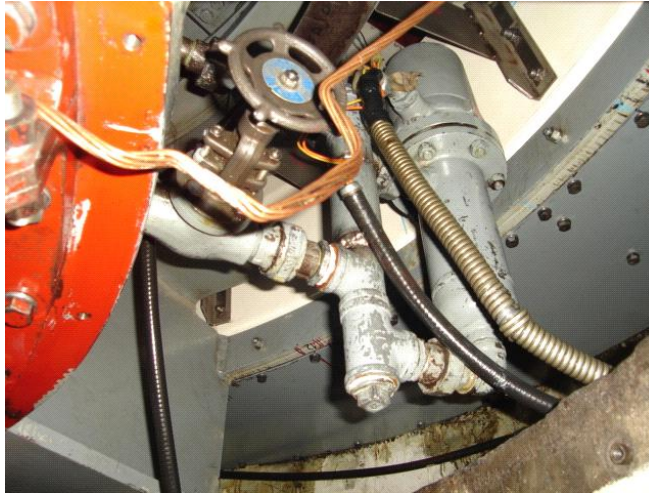


Figura 2.14. Antigo medidor de nivel de Aceite "Magnetrol"



Figura 2.15. Sistema de Medición de Nivel de Aceite Cojinete Inferior Generador

Los sensores capacitivos seleccionados fueron los de marca Allen Bradley 875C-M10NN30-A2 que son de tipo DC de salida NPN. Estos sensores actúan generando un campo eléctrico hacia su parte frontal el cual permite realizar la detección del material que para nuestro caso es el aceite que se halla en el vaso comunicante y que es proporcional al nivel que existe en la cuba del cojinete; mientras el nivel de aceite este a la altura a la que se encuentra el sensor el campo eléctrico se interrumpe y hace que el sensor tenga en su señal de salida a 0 VCD, pero si el nivel de aceite baja el sensor presenta una señal de

24 VCD lo que permite saber que se produjo una falla en el nivel. Las señales de salida que son entregadas por los sensores se ingresan hacia las entradas de uno de los módulos Allen Bradley 1746-IB16 de entradas digitales a 24 VCD.

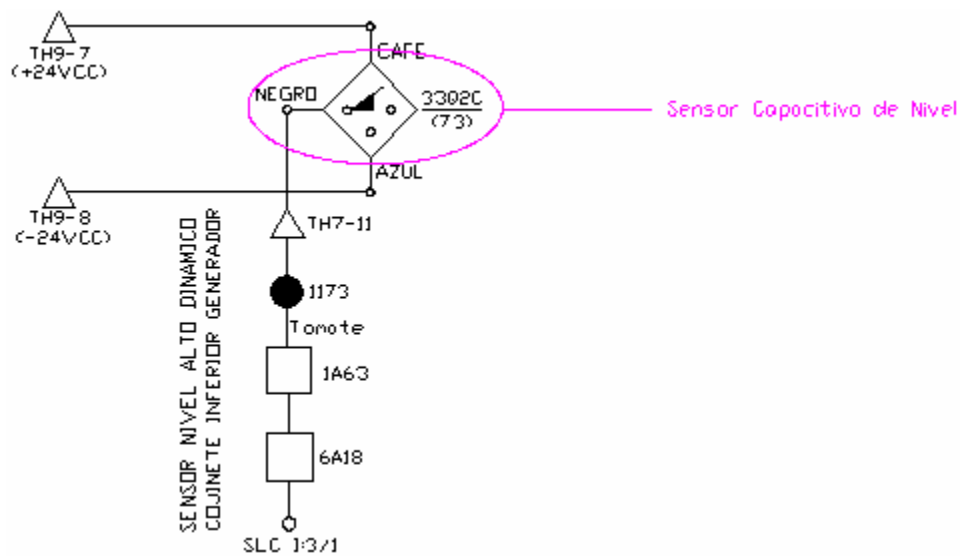


Figura 2.16. Conexión de la salida del Sensor Capacitivo hacia la entrada a 24 VCD

En el caso del sensor capacitivo para *nivel bajo estático* a más de ingresar su señal a una entrada del SLC500 también maneja el relé auxiliar *R0/R62BKX* y este a su vez con uno de sus contactos NA controla al contactor *33Q2AX* que permite bloquear la U1 en caso de presentarse el nivel bajo estático como medida de protección (ver Figura 2.17). Esto quiere decir que para realizar el bloqueo el sensor no necesita del SLC500, pues se ha decidido independizar esta acción de cualquier problema que pueda ocurrir con el PLC.

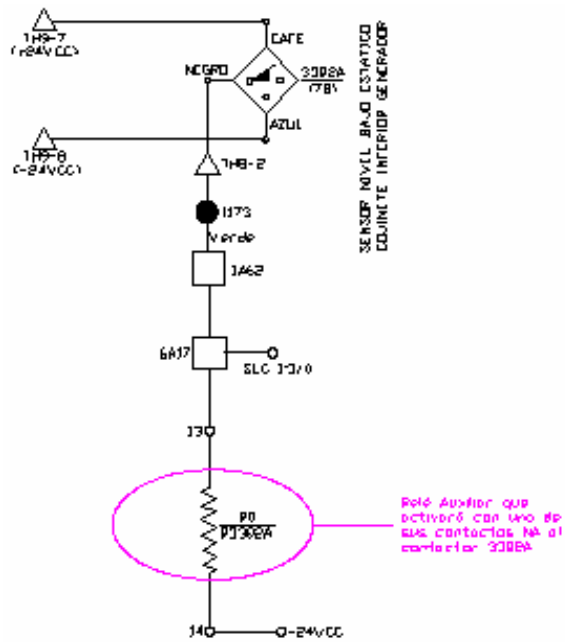


Figura 2.17. Conexión del Sensor para Nivel Bajo Estático del Cojinete Inferior

La lógica de programación implementada en el SLC500 para monitorear el nivel de aceite del cojinete inferior generador mediante la señal de los sensores capacitivos se indica en la Figura 2.18. En el primer escalón se recibe la señal del sensor capacitivo para nivel bajo estático mediante la entrada I:3/0 la misma que está en serie con la señal del contacto 62BXX que ingresa por la entrada I:2/15, con el propósito de monitorear la señal del sensor únicamente durante el estado estático o en paro de la U1, y en caso de que se cumpla la condición para este escalón se activarán los bits de salida B3:4/11 y B3:0/11 para activar la sirena y la alarma del PanelView respectivamente. El segundo escalón indica el ingreso de la señal del sensor capacitivo para nivel bajo dinámico mediante la entrada I:3/2 la misma que está en serie con la señal del contacto 13-90X que ingresa por la entrada I:3/3 para monitorear al sensor únicamente durante el estado dinámico o de trabajo de la U1, activando sus respectivos bits de salida para sirena y alarma del PanelView y la salida O:4/2 para la señalización en cuadro de alarmas. Finalmente el tercer escalón de programación monitorea la señal del sensor capacitivo para nivel alto dinámico mediante la entrada I:3/1 que está en serie con la señal del contacto 13-90X para monitorear al sensor solo durante el estado dinámico de U1, activando sus respectivos bits de salida para sirena y alarma del PanelView y la salida O:4/1 para la señalización en cuadro de alarmas.

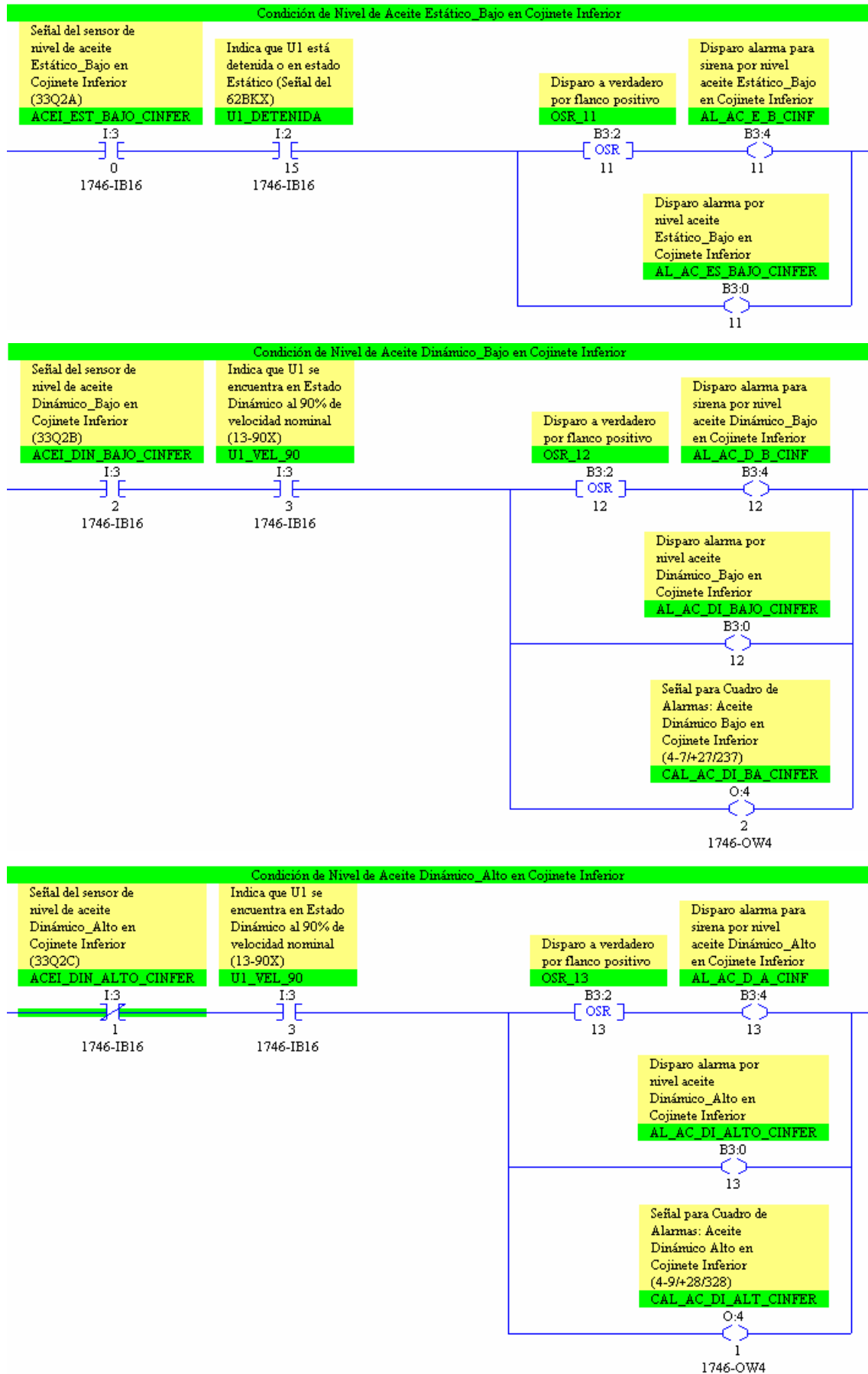


Figura 2.18. Lógica implementada en SLC500 para monitorear del Nivel de Cojinete Inferior

2.2.5. Medición de Temperatura de la Unidad Generadora

La medición de temperatura de las principales partes de la U1 se realizaron a través de las señales provenientes de sus RTDs y enviando esas señal hacia un módulo Flex I/O 1794-IR8 que posee 8 entradas analógicas que pueden ser configuradas para medir temperatura mediante distintos tipos de RTDs, que para nuestro caso son RTDs de Cobre (Cu) a 10Ω. Las señales de temperatura que se miden se han limitado al número de 8 por se un prototipo y las mismas son: RTD N°1 (Ranura 4-Fase 3), RTD N°4 (Ranura 37-Fase 2), RTD N°7 (Chapa 1), RTD N°8 (Chapa 2) , RTD N°9 (Chapa 3), RTD N°14 (Cojinete Superior) , RTD N°15 (Cojinete Empuje) y RTD N°16 (Cojinete Inferior). Un ejemplo de la conexión de una RTD al módulo Flex I/O se observa en la Figura 2.19.

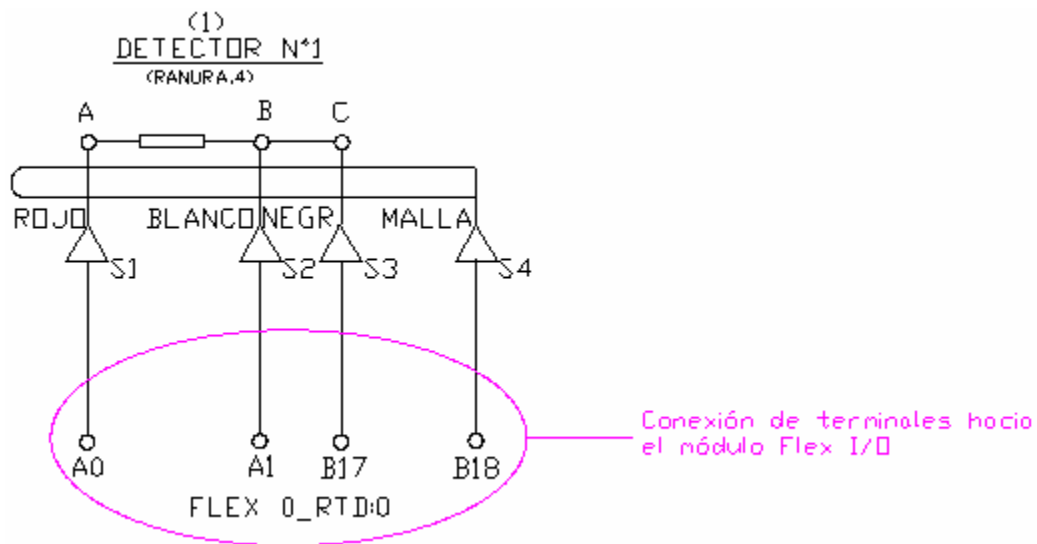


Figura 2.19. Conexión de RTD hacia módulo Flex I/O 1794-IR8

Se puede observar en la Figura 2.20 un ejemplo en lo que respecta a la lógica de programación del SLC500 y del módulo Flex I/O 1794-IR8 para la medición de temperatura de una de las RTDs de la U1. Tanto el primer escalón como el segundo sirven para configurar el módulo Flex I/O y leer los datos de temperatura de todas las RTDs. La configuración del módulo se realiza utilizando la instrucción BTW para el envío de los datos N10:1= 0, N10:2 = 30583 y N10:3 = 30583 (ver Figura 2.21), de manera que trabaje con las RTDs de Cu a 10 Ω, y la lectura de los datos de temperatura usando la instrucción BTR que los coloca en

las variables N12:1 hasta la N12:8 (ver Figura 2.22). El tercer escalón sirve para multiplicar por un factor de 10 a la variable N14:1 que contiene el valor de alarma seteado en el PanelView para temperaturas del generador (que por defecto es 80) y colocar el resultado en la variable N7:14, esto con el propósito de poder hacer la comparación con el valor medido (N12:1) que se realiza en el cuarto escalón de programación utilizando la instrucción *GEQ* (mayor o igual que), y que en caso de ser verdadero el resultado proceder a activar los bits de salida para la futura sirena (B3:5/3) y el de alarma para el PanelView (B3:1/3). Finalmente el último escalón nos muestra como un contacto del bit de salida para alarma B3:1/3 comanda a la salida O:4/3, la misma que actúa sobre el relé 49GX que sirve para la señalización en cuadro de alarmas.

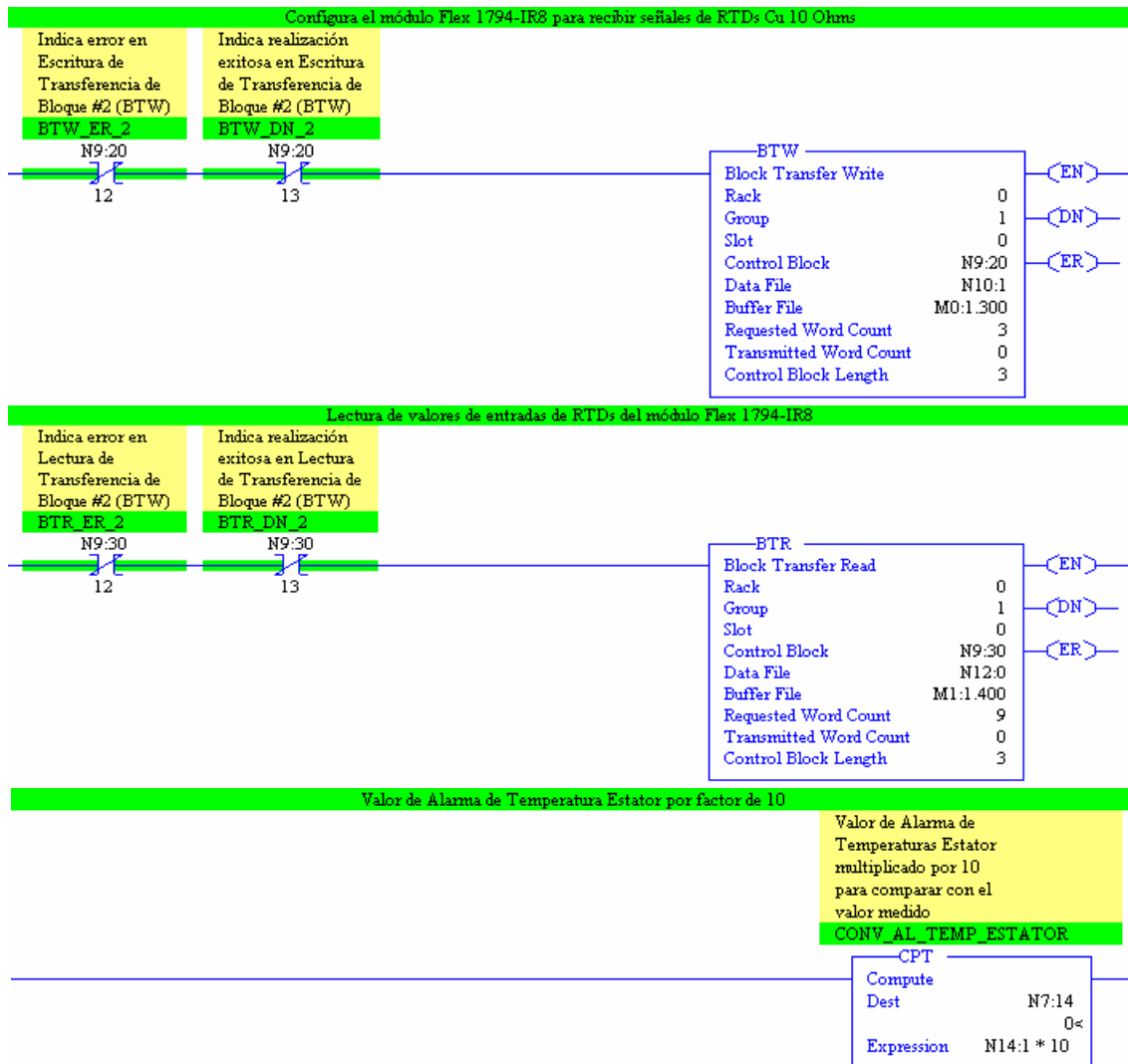


Figura 2.20. Lógica implementada en SLC500 para monitorear la Temperatura de una RTD

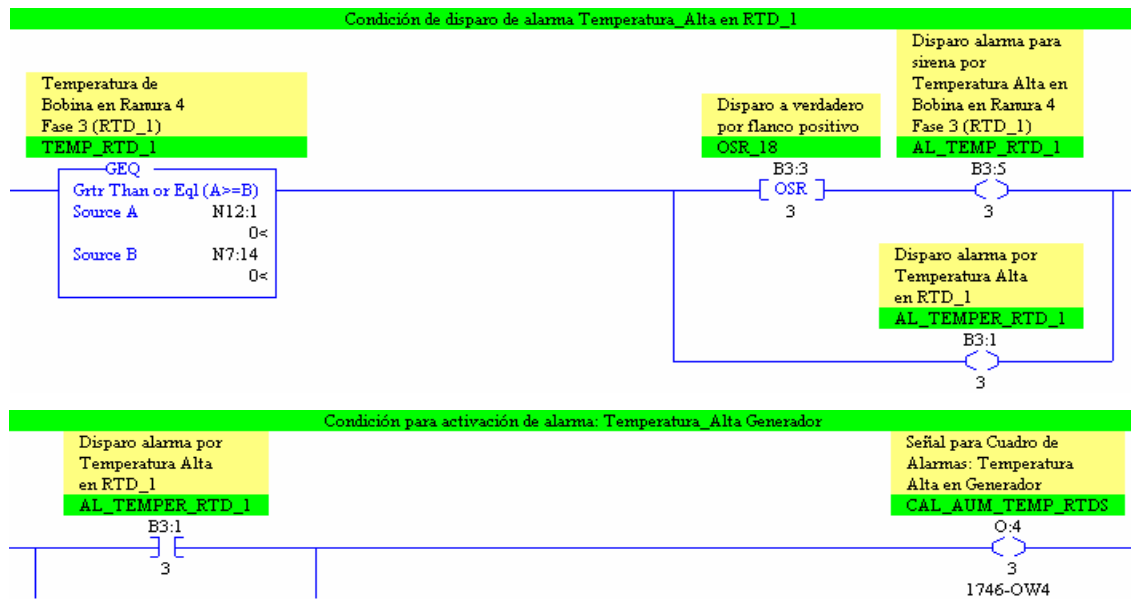


Figura 2.20. Lógica implementada en SLC500 para monitorear la Temperatura de una RTD (Continuación)

Data File N10 (dec) -- I/O_CONFIG

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N10:0	-256	0	30583	30583	0	0	0	0	0	0
N10:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Symbol: N10:2
Radix: Decimal
Columns: 10
Desc: Configuración de Palabra 1 para RTDs 10 OHM Cu. IMPORTANTE: DEJAR EN VALOR

Buttons: Properties, Usage, Help

Figura 2.21. Datos de configuración enviados mediante la instrucción BTW

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N12:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

N12:1		Radix: Decimal
Symbol:	TEMP RTD 1	Columns: 10
Desc:	Temperatura de Bobina en Ranura 4 Fase 3 (RTD 1)	

Figura 2.22. Datos de temperatura recibidos mediante la instrucción BTR

2.3. DIAGRAMAS ESQUEMATICOS

En las figuras 2.23 y 2.24 se muestran los diagramas esquemáticos de los sinópticos de conexiones de los equipos del sistema HMI. Para ver como ha intervenido el diseño de este proyecto en el sistema original de control de la unidad generadora, véase el “Anexo 5: Planos Eléctricos del Proyecto”.

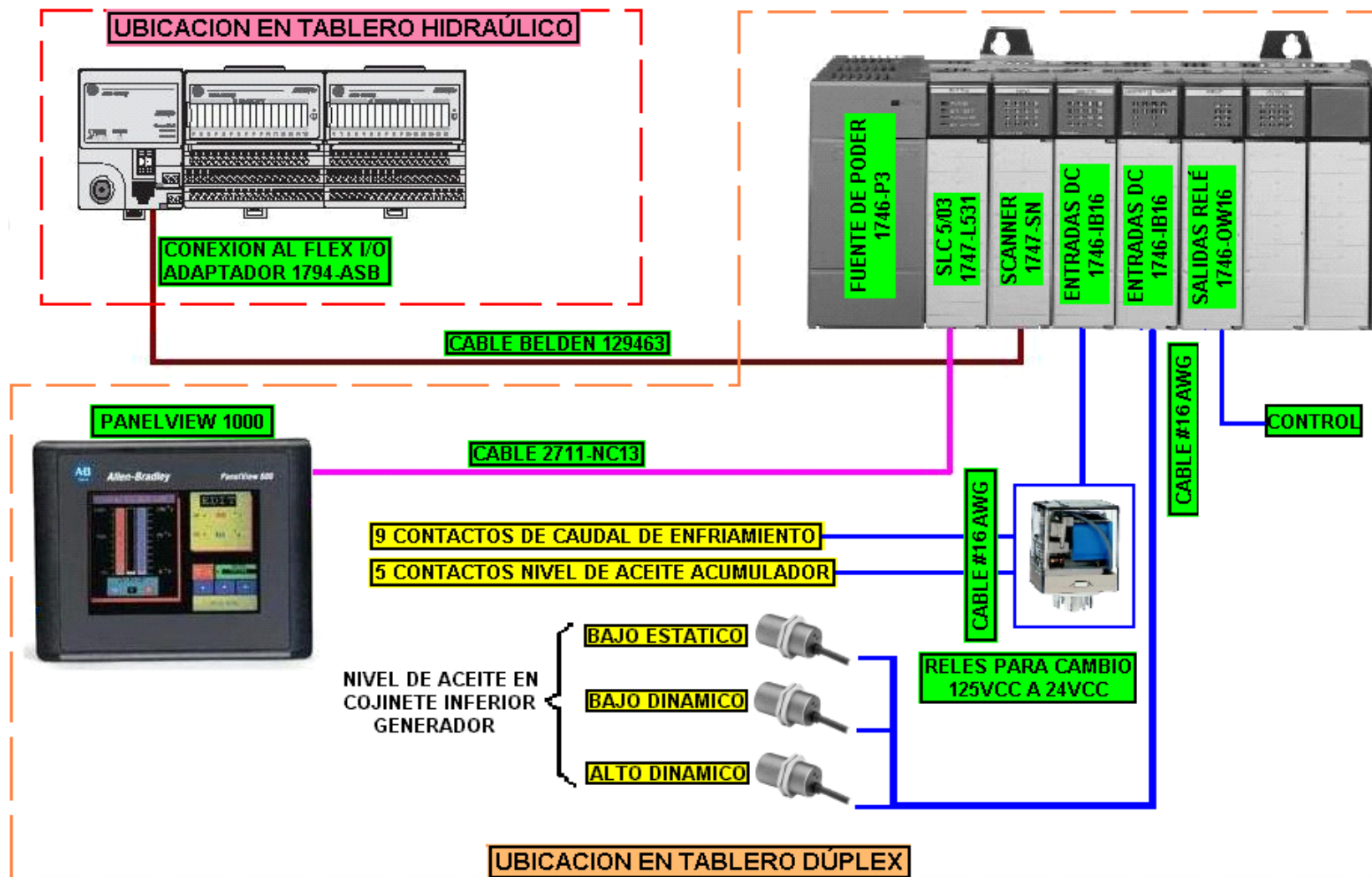


Figura 2.23. Sinóptico de conexiones de los equipos del sistema HMI – Primera Parte

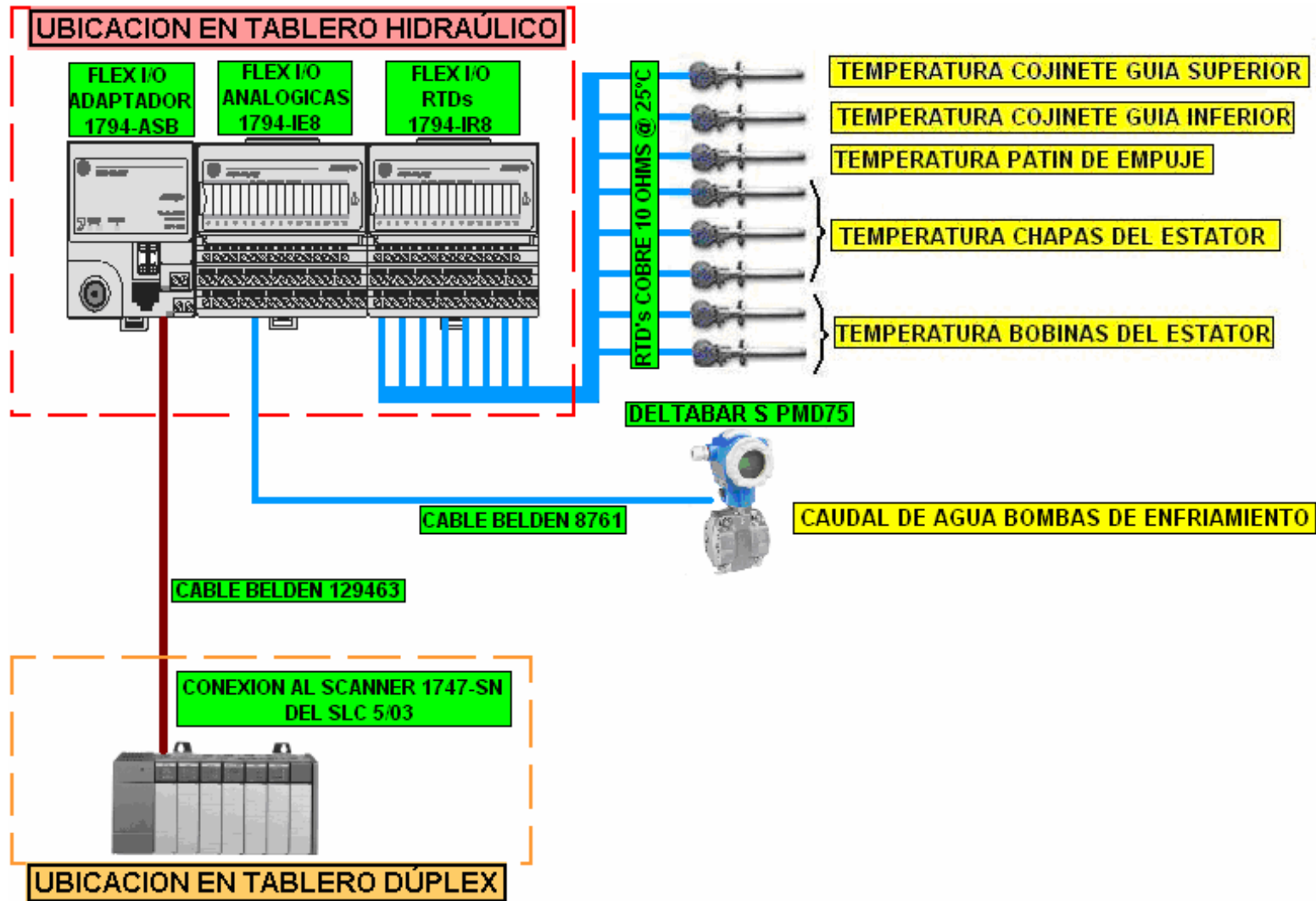


Figura 2.24. Sinóptico de conexiones de los equipos del sistema HMI – Segunda Parte

CAPITULO 3

RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Una vez terminada la etapa de diseño se procedió a realizar la implementación del proyecto, la misma que comenzo con la programación experimental en el banco de pruebas del PLC SLC500 y del dispositivo PanelView 1000. Aquella programación inicial tuvo como objetivo el ir desarrollando la lógica de funcionamiento de los equipos ya mencionados, valiéndose de la emulación de algunas de las señales que era posible para su ingreso a los módulos de entradas del PLC. Una vez realizado lo anterior se obtuvo la primera versión del software del HMI tanto para el PanelView como para el PLC. Luego se procedió a la implementación del HMI en el proceso de la unidad generadora U1 mediante la instalación y conexión de todos los equipos que conforman el sistema, para finalmente en base a las pruebas de campo del mismo proceder a su depuración y puesta en marcha definitiva.

3.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

El propósito de las pruebas experimentales fue comprobar que el prototipo de HMI desarrollado funciona adecuadamente conforme a su diseño. A continuación se muestra las pruebas realizadas al sistema del HMI, las mismas que se han clasificado de acuerdo al sistema del proceso de generación al que pertenecen.

3.2.1. Pruebas del sistema “Flujo de agua de enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector”

Las señales de flujo de agua de enfriamiento que se monitorean en este sistema provienen de las veletas de flujo, las cuales son elementos de tipo detector, es decir, detectan la ausencia o presencia de flujo circulante por las tuberías. Por lo tanto la prueba de funcionamiento de la detección de estas señales consistió en verificar que estuvieran llegando hacia el módulo de entrada del PLC SLC500 y se mostrara dicha información en las pantallas de interfase del HMI llamadas “ENFRIAMIENTO COJINETES” y “ENFRIAMIENTO RADIADORES Y COLECTOR”, durante el funcionamiento de las bombas del sistema de enfriamiento. La Tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos.

Ubicación_Veleta	Señal_Detector	Señal_PLC	Señal_HMI
Cojinete Combinado	63FW3 = "0"	I:2/6 = "0"	Con flujo
Cojinete Inferior	63FW2 = "0"	I:2/7 = "0"	Con flujo
Cojinete Guía Turbina	63FW1 = "0"	I:2/8 = "0"	Con flujo
Radiador #1	63FA1 = "0"	I:2/0 = "0"	Con flujo
Radiador #2	63FA2 = "0"	I:2/1 = "0"	Con flujo
Radiador #3	63FA3 = "0"	I:2/2 = "0"	Con flujo
Radiador #4	63FA4 = "0"	I:2/4 = "0"	Con flujo
Radiador #5	63FA5 = "0"	I:2/3 = "0"	Con flujo
Radiador #6	63FA6 = "0"	I:2/5 = "0"	Con flujo
Tanque Colector	63FWG = "0"	I:2/9 = "0"	Con flujo

Tabla 3.1. Pruebas de detección de flujo del Sistema de Enfriamiento

3.2.2. Pruebas del sistema “Nivel de Aceite en Tanque Acumulador”

Las señales de nivel de aceite del tanque acumulador monitoreadas provienen de los contactos eléctricos del flotador del tanque acumulador, por lo que las pruebas consistieron en comprobar que llegaran esas señales hacia el módulo de entradas del SLC500 y que el nivel de aceite correspondiente se reflejara en la pantalla de interfase del HMI identificada como “NIVEL TANQUE ACUMULADOR”. La Tabla 3.2 muestra los resultados obtenidos.

Nivel_Aceite	Señales_Contactos	Señales_PLC	Nivel_HMI
Normal	33QH4 = "0"	I:1/9 = "0"	Normal
	33QH3 = "0"	I:1/10 = "0"	
	33QH2 = "1"	I:1/11 = "1"	
	33QL2 = "0"	I:1/12 = "0"	
	33QL3 = "0"	I:1/13 = "0"	
Bajo	33QH4 = "0"	I:1/9 = "0"	Bajo
	33QH3 = "0"	I:1/10 = "0"	
	33QH2 = "0"	I:1/11 = "0"	
	33QL2 = "0"	I:1/12 = "0"	
	33QL3 = "0"	I:1/13 = "0"	

Tabla 3.2. Pruebas de detección del Sistema de Nivel Aceite Tanque Acumulador

3.2.3. Pruebas del sistema "Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador"

El nuevo sistema de medición de nivel en el cojinete inferior se ha contrastando su funcionamiento en base a comprobar que los contactos de los relés de los sensores actúen correspondientemente a los nivel de aceite "Normal Estático" (U1 detenida) y "Normal Dinámico" (U1 funcionando), y que las señales lleguen al SLC500 para su visualización en la pantalla de interfase "NIVEL ACEITE COJINETES" del HMI. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3.3.

Nivel Aceite_Mirilla	Señal_Relé Sensor	Señal_PLC	Señal_HMI
Normal Estático	R33Q2A = "0"	I:3/0 = "0"	Bajo Estático = "0"
	R33Q2B = "1"	I:3/2 = "1"	Bajo Dinámico = "0"
	R33Q2C = "1"	I:3/1 = "1"	Alto Dinámico = "0"
Normal Dinámico	R33Q2A = "0"	I:3/0 = "0"	Bajo Estático = "0"
	R33Q2B = "0"	I:3/2 = "0"	Bajo Dinámico = "0"
	R33Q2C = "1"	I:3/1 = "1"	Alto Dinámico = "0"

Tabla 3.3. Pruebas de detección del Sistema de Nivel Aceite Cojinete Guía Inferior

3.2.4. Pruebas del sistema “Medición de Caudal Bombas de Enfriamiento”

Las pruebas de funcionamiento en el caso de este sistema ha consistido en comparar el valor de caudal entregado por las bombas de enfriamiento y los valores registrados tanto en el transmisor de caudal como en la pantalla de interfase del PanelView, aunque prácticamente estos dos últimos valores son los mismos. En la Tabla 3.4 se muestra los valores obtenidos cuando las bombas de enfriamiento se encuentran operando.

Caudal Bombas Enfriamiento*	Caudal _Transmisor	Caudal_HMI
1200 GPM = 4542 L/min	4650 L/min	4650 L/min

Tabla 3.4. Pruebas de medición del Sistema de Bombas de Enfriamiento

* Valor especificado en Placa de Datos de las Bombas de Enfriamiento

3.2.5. Pruebas del sistema “Medición de Temperatura de la Unidad Generadora”

Las pruebas de las mediciones de temperatura de la U1 monitoreados mediante el HMI se realizó durante el funcionamiento del generador a 35 MW / 0 MVAR, y consistió en desconectar temporalmente las RTDs para tomar sus lecturas mediante un multímetro digital para el cálculo de su valor de temperatura y luego conectadas las RTDs al sistema del HMI se procedió a tomar los valores registrados en el PanelView para compararlos con los valores anteriores. A continuación se muestran los datos obtenidos mediante esta prueba en la Tabla 3.5.

Nº RTD	Valor Multímetro		Temperatura Calculada (°C)*	Temperatura HMI (°C)
	R _{ALTA} (Ω)	R _{BAJA} (Ω)		
1	12.1	0.6	64.1	64
4	12.1	0.6	64.1	63
7	11.5	0.6	48.7	49
8	11.8	0.8	51.3	50
9	11.6	0.6	51.2	52
14	11.8	0.6	56.4	56
15	11.6	0.4	56.4	57
16	11.5	0.3	56.4	56

Tabla 3.5. Pruebas del Sistema de Medición de Temperaturas U1

* La temperatura calculada se basa en la siguiente fórmula:

$$Temperatura (°C) = \frac{R_{ALTA} - R_{BAJA} - 9}{0.039}$$

3.3. ANALISIS DE RESULTADOS

Es esta sección se muestra el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, realizando el análisis en base al tipo de señales manejadas, tal que para las señales de tipo discreto o digital los estados lógicos de los detectores deben coincidir con los estados lógicos de las entradas del PLC y de la pantalla de interfase en el PanelView, y para las señales de tipo analógico se va a comprobar que la medición en el HMI sea de un error relativo dentro del rango de $\pm 5\%$ que se considera como aceptable. El análisis de los resultados también se han clasificado de acuerdo al sistema del proceso de generación al que pertenecen.

3.3.1. Análisis del sistema “Flujo de agua de enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector”

En este sistema las señales son de tipo digital por lo tanto procedemos a realizar la comparación de estados lógicos. En la Tabla 3.6. se puede observar los resultados de la comparación de los estados de las señales de entrada del PLC respecto a los estados lógicos de los detectores respectivos. Por lo tanto se puede apreciar que todos los resultados de las comparaciones son correctos, lo que comprueba que las señales de los detectores son las mismas que están ingresando a las entradas del PLC.

Ubicación_Veleta	Señal_Detector	Señal_PLC	Comparación Estados
Cojinete Combinado	63FW3 = "0"	I:2/6 = "0"	Correcta
Cojinete Inferior	63FW2 = "0"	I:2/7 = "0"	Correcta
Cojinete Guía Turbina	63FW1 = "0"	I:2/8 = "0"	Correcta
Radiador #1	63FA1 = "0"	I:2/0 = "0"	Correcta
Radiador #2	63FA2 = "0"	I:2/1 = "0"	Correcta
Radiador #3	63FA3 = "0"	I:2/2 = "0"	Correcta
Radiador #4	63FA4 = "0"	I:2/4 = "0"	Correcta
Radiador #5	63FA5 = "0"	I:2/3 = "0"	Correcta
Radiador #6	63FA6 = "0"	I:2/5 = "0"	Correcta
Tanque Colector	63FWG = "0"	I:2/9 = "0"	Correcta

Tabla 3.6. Análisis de resultados N° 1 de flujo del Sistema de Enfriamiento

En la Tabla 3.7. se puede apreciar los resultados de la comparación de los estados de las señales del interfase del HMI respecto a los estados lógicos de los detectores respectivos. Cabe indicar que el estado lógico "0" indica circulación de flujo por la tubería. Entonces según los resultados obtenidos comprobamos que el interfase del HMI muestra los mismos estados que poseen las veletas de detección cuando existe circulación de flujo por el sistema de enfriamiento.

Ubicación_Veleta	Señal_Detector	Señal_HMI	Comparación Estados
Cojinete Combinado	63FW3 = "0"	Con flujo	Correcto
Cojinete Inferior	63FW2 = "0"	Con flujo	Correcto
Cojinete Guía Turbina	63FW1 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #1	63FA1 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #2	63FA2 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #3	63FA3 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #4	63FA4 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #5	63FA5 = "0"	Con flujo	Correcto
Radiador #6	63FA6 = "0"	Con flujo	Correcto
Tanque Colector	63FWG = "0"	Con flujo	Correcto

Tabla 3.7. Análisis de resultados N° 2 de flujo del Sistema de Enfriamiento

3.3.2. Análisis del sistema “Nivel de Aceite en Tanque Acumulador”

Para este sistema las señales son de tipo digital por lo tanto procedemos a realizar la comparación de estados lógicos, tal como se muestra a continuación.

En la Tabla 3.8. se puede observar los resultados de la comparación de los estados de las señales de entrada del PLC respecto a los estados lógicos de los contactos del flotador del tanque acumulador. Se puede apreciar que todos los resultados de las comparaciones son correctos, lo que comprueba que las señales de los contactos son las mismas que están ingresando a las entradas del PLC.

En la Tabla 3.9. están los resultados de la comparación de los estados de nivel del interfase del HMI respecto al nivel del tanque acumulador representado por los estados lógicos de los contactos del flotador. Se puede apreciar que los niveles “Normal” y “Bajo” monitoreados en el interfase del HMI corresponden correctamente a los niveles reales del tanque acumulador.

Nivel_Aceite	Señales_Contactos	Señales_PLC	Comparación Estados
Normal	33QH4 = "0"	I:1/9 = "0"	Correcto
	33QH3 = "0"	I:1/10 = "0"	Correcto
	33QH2 = "1"	I:1/11 = "1"	Correcto
	33QL2 = "0"	I:1/12 = "0"	Correcto
	33QL3 = "0"	I:1/13 = "0"	Correcto
Bajo	33QH4 = "0"	I:1/9 = "0"	Correcto
	33QH3 = "0"	I:1/10 = "0"	Correcto
	33QH2 = "0"	I:1/11 = "0"	Correcto
	33QL2 = "0"	I:1/12 = "0"	Correcto
	33QL3 = "0"	I:1/13 = "0"	Correcto

Tabla 3.8. Análisis de resultados N° 1 del Sistema de Nivel Aceite Tanque Acumulador

Nivel_Aceite	Señales_Contactos	Nivel_HMI	Comparación Estados
Normal	33QH4 = "0"	Normal	Correcto
	33QH3 = "0"		
	33QH2 = "1"		
	33QL2 = "0"		
	33QL3 = "0"		
Bajo	33QH4 = "0"	Bajo	Correcto
	33QH3 = "0"		
	33QH2 = "0"		
	33QL2 = "0"		
	33QL3 = "0"		

Tabla 3.9. Análisis de resultados N° 2 del Sistema de Nivel Aceite Tanque Acumulador

3.3.3 Análisis del sistema "Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador"

En este sistema las señales son de tipo digital por lo tanto procedemos a realizar la comparación de estados lógicos, tal como se muestra a continuación.

La Tabla 3.10 muestra los resultados de la comparación de los estados de las señales de entrada del PLC respecto a los estados de los contactos de los relés de los sensores de nivel del cojinete. Determinamos que todos los resultados de las comparaciones son correctos, lo que comprueba que las señales de los sensores de nivel son las mismas que están ingresando a las entradas del PLC.

Nivel Aceite_Mirilla	Señal_Relé Sensor	Señal_PLC	Comparación Estados
Normal Estático	R33Q2A = "0"	I:3/0 = "0"	Correcto
	R33Q2B = "1"	I:3/2 = "1"	Correcto
	R33Q2C = "1"	I:3/1 = "1"	Correcto
Normal Dinámico	R33Q2A = "0"	I:3/0 = "0"	Correcto
	R33Q2B = "0"	I:3/2 = "0"	Correcto
	R33Q2C = "1"	I:3/1 = "1"	Correcto

Tabla 3.10. Análisis de resultados N° 1 del Sistema de Nivel Aceite Cojinete Guía Inferior

En la Tabla 3.11 está el análisis de las señales provenientes de los sensores respecto a las señales del HMI. Para el nivel "Normal Estático" los estados de las señales de los sensores y del HMI son las siguientes:

- El sensor R33Q2A está en "0" lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por encima del nivel bajo estático, por lo tanto la señal "Bajo Estático" del interfase del HMI está correctamente indicando con un "0" que no está activada esa alarma.
- El sensor R33Q2B está en "1" lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por debajo del nivel bajo dinámico, lo cual se debe a que la U1 se encuentra en estado estático o de reposo, razón por la cual no es real la alarma que está indicando el sensor. Entonces la señal "Bajo Dinámico" del interfase del HMI está correctamente indicando con un "0" que no está activada esa alarma.

- El sensor R33Q2C está en “1” lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por debajo del nivel alto dinámico, lo cual se debe a que no es ha presentado ningún problema de fugas de agua dentro del cojinete para alcanzar dicho nivel. Entonces la señal “Bajo Dinámico” del interfase del HMI está correctamente indicando con un “0” que no está activada esa alarma.

Para el nivel “Normal Dinámico” los estados de las señales de los sensores y del HMI son las siguientes:

- El sensor R33Q2A está en “0” lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por encima del nivel bajo estático, por lo tanto la señal “Bajo Estático” del interfase del HMI está correctamente indicando con un “0” que no está activada esa alarma.
- El sensor R33Q2B está en “0” lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por encima del nivel bajo dinámico, lo cual se debe a que la U1 se encuentra en estado dinámico o de movimiento lo cual causa que el nivel de aceite dentro del cojinete suba. Entonces la señal “Bajo Dinámico” del interfase del HMI está correctamente indicando con un “0” que no está activada esa alarma.
- El sensor R33Q2C está en “1” lo que indica que el nivel de aceite en el cojinete está por debajo del nivel alto dinámico, lo cual se debe a que no es ha presentado ningún problema de fugas de agua dentro del cojinete para alcanzar dicho nivel. Entonces la señal “Bajo Dinámico” del interfase del HMI está correctamente indicando con un “0” que no está activada esa alarma.

Nivel Aceite_Mirilla	Señal_Relé Sensor	Señal_HMI	Comparación Estados
Normal Estático	R33Q2A = "0"	Bajo Estático = "0"	Correcto
	R33Q2B = "1"	Bajo Dinámico = "0"	Correcto
	R33Q2C = "1"	Alto Dinámico = "0"	Correcto
Normal Dinámico	R33Q2A = "0"	Bajo Estático = "0"	Correcto
	R33Q2B = "0"	Bajo Dinámico = "0"	Correcto
	R33Q2C = "1"	Alto Dinámico = "0"	Correcto

Tabla 3.11. Análisis de resultados N° 2 del Sistema de Nivel Aceite Cojinete Guía Inferior

3.3.4. Análisis del sistema "Medición de Caudal Bombas de Enfriamiento"

En este sistema la señal de caudal monitoreada es de tipo analógico por lo que se debe comprobar que la medición en el HMI de esa variable tenga un error relativo dentro del rango de $\pm 5\%$ que se considera como aceptable. Ese análisis se considera en la Tabla 3.12.

Caudal Bombas Enfriamiento	Caudal _Transmisor y HMI	Error Relativo
4542 L/min	4650 L/min	-2.38 %

Tabla 3.12. Análisis de resultados del Sistema de Bombas de Enfriamiento

La fórmula de Error Relativo es la siguiente:

$$\text{Error Relativo } (\%) = \frac{\text{Valor Calculado} - \text{Valor Medido}}{\text{Valor Calculado}} \times 100$$

Reemplazando por los valores respectivos se procede al cálculo:

$$\text{Error Relativo } (\%) = \frac{4542 - 4650}{4542} \times 100$$

Error Relativo $\left(\frac{\Delta}{x} \right) = -2.38$

Entonces con el error relativo de -2.38 % obtenido podemos comprobar que el mismo está dentro del rango considerado como aceptable, por lo que la medición del caudal de las bombas de enfriamiento mediante el transmisor y el interfase del HMI es confiable.

3.3.5. Análisis del sistema “Medición de Temperatura de la Unidad Generadora”

Para este sistema las señales de temperatura monitoreada son de tipo analógico por lo que se debe comprobar que las mediciones en el HMI de las temperaturas presenten un error relativo dentro del rango de $\pm 5\%$ que se considera como aceptable. Dicho análisis se considera en la Tabla 3.13.

Nº RTD	Temperatura Calculada (°C)	Temperatura HMI (°C)	Error Relativo (%)
1	64.1	64	0.16
4	64.1	63	1.72
7	48.7	49	-0.62
8	51.3	50	2.53
9	51.2	52	-1.56
14	56.4	56	0.71
15	56.4	57	-1.06
16	56.4	56	0.71

Tabla 3.13. Análisis de resultados del Sistema de Medición de Temperaturas U1

Según la tabla anterior podemos observar que los valores del error relativo calculado para las distintas mediciones están dentro del rango aceptable de $\pm 5\%$. Por lo tanto se puede confiar en las mediciones de temperaturas del HMI.

3.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Mediante el presente proyecto se ha desarrollado un sistema que ha permite realizar la adquisición de datos y la presentación de dicha información mediante un HMI de algunas de las principales variables físicas del proceso de generación eléctrica de la Unidad Generadora U1 de la Central Hidroeléctrica Pucará. El propósito principal al tener toda esta información mediante el HMI es monitorear que aquellas variables del proceso de generación se encuentren dentro de los estados o valores correctos de funcionamiento. Para la adquisición de datos de las variables fue necesario primeramente adecuar las señales eléctricas de los transductores, ya sea seleccionando nuevos dispositivos de medición o de interfase, de tal forma que dichas señales puedan ser manejadas tanto por las entradas como por las salidas del PLC. Una vez procesados los datos de campo por el PLC SLC500 estos son presentados en el dispositivo terminal PanelView mediante pantallas gráficas de interfase de tipo sinóptico que representan al sistema que pertenecen las variables dentro del proceso de generación. Las variables físicas que se monitorean mediante el HMI son:

- Flujo de agua de enfriamiento en Generador, Cojinetes y Tanque Colector
- Nivel de Aceite en Tanque Acumulador
- Nivel de Aceite en Cojinete Inferior Generador
- Medición de Caudal Bombas de Enfriamiento
- Medición de Temperatura de la Unidad Generadora

En las pantallas de interfase las variables monitoreadas son representadas según su tipo, ya sean discretas ó analógicas. En el caso de las variables discretas se las muestra mediante estados de funcionamiento, por ejemplo para

las veletas del sistema de enfriamiento estas pueden tener tres posibles estados: “Inactivo”, “Flujo” y “Falla”. En cambio para las variables analógicas el monitoreo consiste en mostrar su valor numérico, tal es el caso para las temperaturas del generador en las que se indica su valor en grados centígrados. Ahora bien para los dos tipos de variables monitoreadas cuando se presenta un estado impropio o valor fuera de rango, el interfase llama la atención al problema que ha ocurrido mediante un anuncio de alarma, el mismo que es registrado en el historial de alarmas. El historial de alarmas puede almacenar un máximo de 100 alarmas pero ha sido configurado para presentar hasta 25 alarmas, por lo que en caso de sobrepasar este valor, las alarmas más antiguas son borradas para dar paso a las nuevas, presentando las alarmas más recientes desde la parte superior del listado.

Un limitante en el HMI ocurre con las alarmas presentadas de las variables analógicas, pues no se especifica el valor que causó la activación. Otro limitante es que el dispositivo PanelView no permite crear curvas de tendencia de las variables monitoreadas, las cuales son muy útiles para analizar el comportamiento de las mismas. La capacidad de memoria utilizada por la aplicación desarrollada es de 210 KBytes para la memoria flash y de 37 KBytes para la memoria RAM, siendo la capacidad máxima del PanelView de 1008 KBytes de memoria flash y de 302 KBytes de RAM, por lo que SI sería posible ampliar el monitoreo de más variables de la U1 y de la implementación del mismo HMI para U2. Cabe indicar que el PanelView puede presentar hasta 255 pantallas de interfase.

3.5. ANALISIS TECNICO-ECONOMICO

Teniendo en cuenta los materiales y recursos que se han necesitado para realizar este proyecto, resulta importante mostrar los costos en que se ha incurrido. En la Tabla 3.14 se muestra el costo de los elementos disponibles y no disponibles que se han utilizado en la implementación del HMI. Como se puede apreciar el subtotal por los equipos disponibles es de **12,437.10 USD** y el subtotal por los equipos no disponibles es de **9,029.12 USD**. Esto quiere decir que con la inversión que se hizo en los nuevos equipos se pudo aprovechar y utilizar los equipos disponibles que ya poseía la empresa y no estaban realizando ninguna

función dentro de la Central Pucará. Por lo tanto con la inversión realizada se pudo desarrollar un proyecto que ha resultado útil y beneficioso para la empresa Hidroagoyán pues él mismo permite dar más seguridades al correcto funcionamiento de la Unidad Generadora U1 de la Central Pucará, la cual es el fundamento para que la empresa pueda cumplir con la producción de energía eléctrica, y además permite detectar anomalías con tiempo para tomar decisiones oportunas tanto para el personal de Operación como de Mantenimiento.

Cant.	Equipo/Recursos	Costo Unidad (USD)	Costo Total (USD)	Disponibilidad	
				Si	No
	Módulos SLC500:				
1 U.	Procesador SLC 5/03 Allen Bradley 1747-L531	704.70	704.70	X	
2 U.	Entradas Discretas DC 24VCC Allen Bradley 1746-IB16	196.02	392.04	X	
1 U.	Salidas a Relé Allen Bradley 1746-OW4	154.71	154.71	X	
1 U.	Escáner I/O Remotas Allen Bradley 1747-SN	855.36	855.36	X	
1 U.	Chasis Modular para 13 dispositivos Allen Bradley 1746-A13	571.86	571.86	X	
1 U.	Fuente de Poder de entrada a 24 VCC Allen Bradley 1746-P3	287.55	287.55	X	
1 U.	Adaptador Flex I/O Allen Bradley 1794-ASB	479.52	479.52	X	
1 U.	Flex I/O para RTDs Allen Bradley 1794-IR8	1,084.59	1,084.59		X
1 U.	Flex I/O Analógicas 4 a 20mA Allen Bradley 1794-IE8	738.72	738.72		X
2 U.	Bases Terminales para Flex I/O Allen Bradley 1794-TB3S	141.75	283.5	X	
	Interfases y cables:				
1 U.	PanelView 1000 Color Touch Screen Allen Bradley 2711-T10C16L1	4,285.00	4,285.00	X	
1 U.	Cable Programación del SLC 5/03 Allen Bradley 1747-CP3	58.32	58.32	X	
1 U.	Cable Comunicación para PanelView Allen Bradley 2711-NC13	100.00	100.00	X	
	Transmisores y sensores:				
1 U.	Presión diferencial Deltabar S PMD75 Endress+Hauser	1848.00	1848.00		X
4 U.	Sensores Capacitivos Allen Bradley 875C-M10NN30-A2	166.00	664.00		X
4 U.	Accesorios para sensores capacitivos Allen Bradley 871A-BGD30	77.00	308.00		X
	Software:				

Tabla. 3.14. Costo de elementos utilizados en la implementación del proyecto

Cant.	Equipo/Recursos	Costo Unidad (USD)	Costo Total (USD)	Disponibilidad	
				Si	No
1 U.	Programador RSLogix 500 para PLC SLC500	1,700.00	1700.00		X
1 U.	Programador PanelBuilder 32 para PanelView	305.00	305.00	X	
	Otros				
20 U.	Relés a 125 VCC Allen Bradley 700-HA32Z01	21.63	432.60		X
20 U.	Accesorios para relés Allen Bradley 700-HN125	5.89	117.80		X
1 U.	Fuente de poder 125 a 24 VCC MajorVTC610-110-24	1387.00	1387.00	X	
152 U.	Cable Belden 9463 para conexión Red RIO módulos Flex I/O	4.50	684.00		X
30 U.	Cable Belden 8451 para transmisor	1.30	39.00		X
700 M.	Cable flexible #16 AWG	0.25	175.00		X
---	Accesorios varios: Riel DIN, marquillas para cableado, amarras plásticas, portafusibles, canaletas plásticas, accesorios tubería ¼"	200.00	200.00		X
1 U.	Computador portátil	1,200.00	1,200.00	X	
---	Artículos de oficina	70.00	70.00		X
40 U.	Horas de Internet	40.00	40.00	X	
SUBTOTAL :			19,166.27		
IVA 12%			2,299.95		
TOTAL			21,466.22		

Tabla. 3.14. Costo de elementos utilizados en la implementación del proyecto (Continuación)

SUBTOTAL DISPONIBLE: 12,437.10 USD

SUBTOTAL NO DISPONIBLE: 9,029.12 USD

CONCLUSIONES

- Se analizó el funcionamiento de la Unidad Generadora N°1 de la Central Hidroeléctrica Pucará, mediante lo cual se pudo seleccionar las variables físicas que han sido monitoreadas mediante el prototipo de HMI desarrollado en este proyecto. Esas variables son las siguientes: Una señal de caudal y seis de detección de flujo en los radiadores del sistema de bombas de enfriamiento, el monitoreo de ocho señales de temperaturas provenientes de las RTDs del generador y cojinetes, el nivel del tanque acumulador de aceite y la detección de niveles de aceite en el cojinete inferior generador.
- En base al estudio general que se realizó del funcionamiento y utilización del PLC modular SLC500 se pudo determinar que para su utilización se debió seleccionar sus componentes conforme a las variables monitoreadas del proceso: el procesador, los módulos de entradas y salidas, y los módulos de comunicación.
- Adicionalmente fue necesario realizar la adecuación de las señales provenientes de las variables del proceso para que los módulos de entradas y salidas del PLC pudieran manipularlas. Dichas adecuaciones consistieron en seleccionar un sensor o transmisor que mida la variable dentro de su rango de operación y la convierta en una señal eléctrica estándar que pueda ser manejada por las entradas y salidas del PLC, que comúnmente son de 0 Vcd y 24 Vcd para las señales de tipo discretas, y de 4 a 20 mA para las tipo analógicas.
- Según el estudio general que se realizó del dispositivo de interfase PanelView1000, se realizó el desarrollo las pantallas de interfase del HMI para que sean lo más representativas del proceso de la unidad generadora U1, y a

su vez sencillas y fáciles de entender para que el personal de operación y mantenimiento de la Central Pucará pueda familiarizarse con las mismas y le sean de utilidad en su trabajo.

- La programación lógica de funcionamiento tanto del dispositivo PLC SLC500 y de interfase PanelView se desarrolló a la par, pues tanto el uno como el otro se complementan en su trabajo.
- Se fue depurando la programación del SLC500 y del PanelView1000 mediante las pruebas que se realizó en el laboratorio y cuando se implementó el HMI en el proceso monitoreado de la U1.
- Se diseñó e implementó las conexiones de los equipos del HMI en el sistema de control de la U1, tal como se puede apreciar en los planos del Anexo 5.
- Adicionalmente al desarrollar este proyecto se ha contribuido a que el personal técnico que labora en la Central Pucará llegué a ampliar sus conocimientos sobre el funcionamiento de un sistema HMI y de los componentes que lo integran, lo cual resulta muy útil pues en centrales de generación eléctrica modernas ya se utiliza este tipo de tecnología.

RECOMENDACIONES

- Cuando se desarrolla el HMI de un proceso es importante determinar el número y tipo de variables físicas que van a ser monitoreadas para seleccionar adecuadamente los dispositivos de entradas del PLC.
- Es importante tomar en cuenta las condiciones particulares que se pueden dar para el tipo de proceso industrial con que se está tratando. Por ejemplo para el caso de una central hidroeléctrica que es el ámbito de este proyecto, se ha visto que los campos magnéticos originados por la unidad generadora son muy altos cerca del rotor y estator del generador, por lo que los equipos e instrumentos que se vean expuestos a dicha influencia deberían ser seleccionados para ser capaces de tolerarla sin afectar su funcionamiento.
- En vista que este prototipo de HMI que se ha implementado ha cumplido con las expectativas de la empresa que lo auspició, se recomienda continuar con la implementación de este sistema HMI tanto para complementar a la U1 como para desarrollarlo para la U2.
- Ya que el dispositivo de interfase PanelView1000 posee algunas limitaciones en cuanto al procesamiento de la información, como es el caso de no poder presentar curvas de tendencia en tiempo real o históricas principalmente, sería recomendable algún momento implementar el interfase del HMI utilizando un computador personal, el cual incluso posee la ventaja de un mejor entorno gráfico y mayor almacenamiento de información.
- Al desarrollar el presente proyecto personalmente he visto la necesidad de sugerir que en la preparación académica que recibimos en la carrera de

Ingeniería Electrónica e Instrumentación se trate de dar atención al diseño de casos reales y prácticos para realizar la selección de dispositivos que se utilizan en los sistemas HMI-SCADA como son: los transductores, PLCs y terminales de interfase.

- También sugiero que se trate más asignaturas sobre sistemas SCADA, DCS y que las mismas abarquen no solo la utilización de software de desarrollo de interfases de HMIs sino también el estudio de los otros componentes que forman un sistema SCADA: RTUs, Sistemas de Comunicación y Estación Maestra.

ANEXO 1: TABLAS DE ESPECIFICACIONES DE MODULOS I/O

Digital I/O Module Overview

Cat. No.	Voltage Category	I/O Points	Description
DC Modules			
1746-IB8	24V dc	8	Current Sinking DC Input Module
1746-IB16	24V dc	16	Current Sinking DC Input Module
1746-IB32	24V dc	32	Current Sinking DC Input Module
1746-ITB16	24V dc	16	Fast Response DC Sinking Input Module
1746-IC16	48V dc	16	Current Sinking DC Input Module
1746-IH16	125V dc	16	Current Sinking DC Input Module
1746-IV8	24V dc	8	Current Sourcing DC Input Module
1746-IV16	24V dc	16	Current Sourcing DC Input Module
1746-IV32	24V dc	32	Current Sourcing DC Input Module
1746-ITV16	24V dc	16	Fast Response DC Sourcing Input Module
1746-IG16†	5V dc	16	Current Sourcing TTL Input Module
1746-OB6EI	24V dc	6	Electronically Protected Isolated Sourcing DC Output Module
1746-OB8	24V dc	8	Current Sourcing DC Output Module
1746-OB16	24V dc	16	Current Sourcing DC Output Module
1746-OB16E‡	24V dc	16	Electronically Protected Current Sourcing DC Output Module
1746-OB32	24V dc	32	Current Sourcing DC Output Module
1746-OB32E	24V dc	32	Electronically Protected Current Sourcing DC Output Module
1746-OBP8‡	24V dc	8	High Current Sourcing DC Output Module
1746-OBP16*	24V dc	16	High Current Sourcing DC Output Module
1746-OV8	24V dc	8	Current Sinking DC Output Module
1746-OV16	24V dc	16	Current Sinking DC Output Module
1746-OV32	24V dc	32	Current Sinking DC Output Module
1746-OVP16*	24V dc	16	High Current Sinking DC Output Module
1746-OG16†	5V dc	16	Current Sinking TTL Output Module
AC Modules			
1746-IA4	100/120V ac	4	120V ac Input Module
1746-IA8	100/120V ac	8	120V ac Input Module
1746-IA16	100/120V ac	16	120V ac Input Module
1746-IM4	200/240V ac	4	240V ac Input Module
1746-IM8	200/240V ac	8	240V ac Input Module
1746-IM16	200/240V ac	16	240V ac Input Module
1746-OA8	120/240V ac	8	120/240V ac Output Module
1746-OA16	120/240V ac	16	120/240V ac Output Module
1746-OAP12*	120/240V ac	12	High Current 120/240V ac Output Module
AC/DC Modules			
1746-IN16	24V ac/dc	16	24V ac/dc Input Module
1746-OW4*	ac/dc Relay	4	Relay (Hard Contact) Output Module
1746-OW8*	ac/dc Relay	8	Relay (Hard Contact) Output Module
1746-OW16*	ac/dc Relay	16	Relay (Hard Contact) Output Module
1746-OX8*	ac/dc Relay	8	Isolated Relay Output Module
1746-IO4*	120V ac (Inputs) 100/120V ac (Relay Contact Outputs)	2 In 2 Out	Combination Input/Output Module
1746-IO8*	120V ac (Inputs) 100/120V ac (Relay Contact Outputs)	4 In 4 Out	Combination Input/Output Module
1746-IO12*	120V ac (Inputs) 100/120V ac (Relay Contact Outputs)	6 In 6 Out	Combination Input/Output Module
1746-IO12DC‡	24V dc (Inputs) 100/120V ac (Relay Contact Outputs)	6 In 6 Out	Combination Input/Output Module

* Certified for Class 1, Division 2 hazardous location by CSA only.

† Not CE marked.

‡ These modules carry the C-UL mark and are certified by UL per CSA requirements.

Anexo 1. Tabla 1. Módulos de Entradas/Salidas Digitales

Analog I/O Module Overview

Cat. No.	Description	Voltage Category
1746-NI4	High Resolution (4) Analog Input Module	-20...+20 mA (or) -10...+10V dc
1746-NI8	High Resolution (8) Analog Input Module	-20...+20 mA (or) -10...+10V dc
1746-NI16I*	High Resolution (16) Analog Input Module	-20...+20 mA
1746-NI16V*	High Resolution (16) Analog Input Module	-10...+10V dc
1746-NIO4I	High Resolution (2) Analog Input, (2) Analog Current Output Module	-20...+20 mA (or) -10...+10V dc (Inputs) 0...20 mA (Outputs)
1746-NIO4V	High Resolution (2) Analog Input, (2) Analog Voltage Output Module	20...+20 mA (or) -10...+10V dc (Inputs) -10...+10V dc (Outputs)
1746-FO4I	(2) Fast Analog Input, (2) Analog Current Output Module	0...20 mA (or) 0...10V dc (Inputs) 0...20 mA (Outputs)
1746-FO4V	(2) Fast Analog Input, (2) Analog Voltage Output Module	0...20 mA (or) 0...10V dc (Inputs) -10...+10V dc (Outputs)
1746-NO4I	(4) Analog Current Output Module	0...20 mA
1746-NO4V	(4) Analog Voltage Output Module	-10...+10V dc
1746-NO8I	(8) Analog Current Output Module	0...20 mA
1746-NO8V	(8) Analog Voltage Output Module	-10...+10V dc

* Single-ended connections only.

Anexo 1. Tabla 2. Módulos de Entradas/Salidas Analógicas

Thermocouple Module Specifications

Cat. No.	1746-NT4	1746-NT8	1746-INT4
Backplane Current (mA) at 5V	60 mA	120 mA	110 mA
Backplane Current (mA) at 24V	40 mA	70 mA	85 mA
Number of Inputs	4 plus a CJC sensor	8 plus a CJC sensor	4 plus a CJC sensor
Input Type	Thermocouple Types J, K, T, E, R, S, B, N Millivolt Input Ranges ± 50 mV and ± 100 mV		Thermocouple Types J, K, T, E, R, S, B, N, C, D Millivolt Input Ranges ± 50 mV and ± 100 mV
Filter Frequency	10 Hz, 50 Hz, 60 Hz, 250 Hz		low pass digital filter corner frequency of 8 Hz
Input Step Response (95% of final value)	50 ms at 60 Hz	80 ms at 60 Hz	600 ms at 8 Hz
Temperature Units	°C or °F		
Data Formats	Raw/Proportional, Engineering Units, Engineering Units $\times 10$, Scaled-for-PID		
Calibration	Autocalibration on channel enable and on a configuration change between channels.	Autocalibration at power-up and approximately every 2 minutes afterward.	Calibrate via ladder program once a year, as required.
Isolation	500V dc transient between inputs and chassis ground, and between inputs and backplane. 2V dc continuous between channels (Series B or later).	500V dc transient between inputs and chassis ground, and between inputs and backplane. 12.5V dc continuous between channels.	1000V dc transient or 150V ac continuous channel-to-channel or channel-to-backplane.

Anexo 1. Tabla 3. Módulos de Entradas para Termocoplas

ANEXO 2: PRINCIPALES VARIABLES FISICAS DE U1

VARIABLE	TIPO SENSOR	CANT.	DENOMINACION	CONDICIONES FUNCIONAMIENTO	SEÑAL SALIDA	SELECCIONADA
Temperatura en Devanados del Generador (Estator)	RTD de 3 hilos de Cobre 10 OHMS a 25°C	6	RTD N°1 hasta RTD N°6	Rango de operación 0°C a 105°C Dimensiones: Ancho=0.6875"+-0.15"; Altura=0.08"+-0.01"; Longitud=19.5"+-0.125". Ver Anexo 1 Ref.120-549-06 Altura operación 3100 msnm	Resistencia	SI
Temperatura en Laminas del Generador (Estator)	RTD de 3 hilos de Cobre 10 OHMS a 25°C	3	RTD N°7 hasta RTD N°9	Rango de operación 0°C a 105°C Dimensiones: Ancho=0.6875"+-0.15"; ;Altura=0.08"+-0.01"; Longitud=19.5"+-0.125". Ver Anexo 1 Ref.120-549-06 Altura operación 3100 msnm Longitud=5.50". Ver Anexo 2 Ref.120-549-07; RTD plana de tres hilos; Altura operación 3100 msnm	Resistencia	SI
Temperatura en Radiadores Enfriadores del Generador (Aire caliente y frio)	RTD de 3 hilos de Cobre 10 OHMS a 25°C	4	RTD N°10 hasta RTD N°13	Rango de operación 0°C a 105°C Dimensiones: Diámetro=0.276"; Longitud=19.5"+-0.125" ver Anexo 3 Ref.120-549-01 2C-2D RTD de tres hilos. Altura de operación 3100 msnm	Resistencia	SI
Temperatura en Cojinetes del Generador: Superior, Empuje, Guía Inferior y Guía Turbina	RTD Cobre 10 OHMS a 25°C	4	RTD N°14 hasta RTD N°17 respectivamente	Rango de operación 0°C a 105°C Dimensiones: Diámetro=0.5"+-0.1; Longitud=3.38". Ver Anexo 4 Ref.120-406-01 descripción 1 (2 RTDs) Ref.119-286-01 descripción 1 (1 RTD), Ref. 120-576-01 descripción 1 (1 RTD). RTD de tres hilos. Altura operación 3100 msnm	Resistencia	SI

Anexo 2. Tabla 1. Principales Variables Físicas de U1

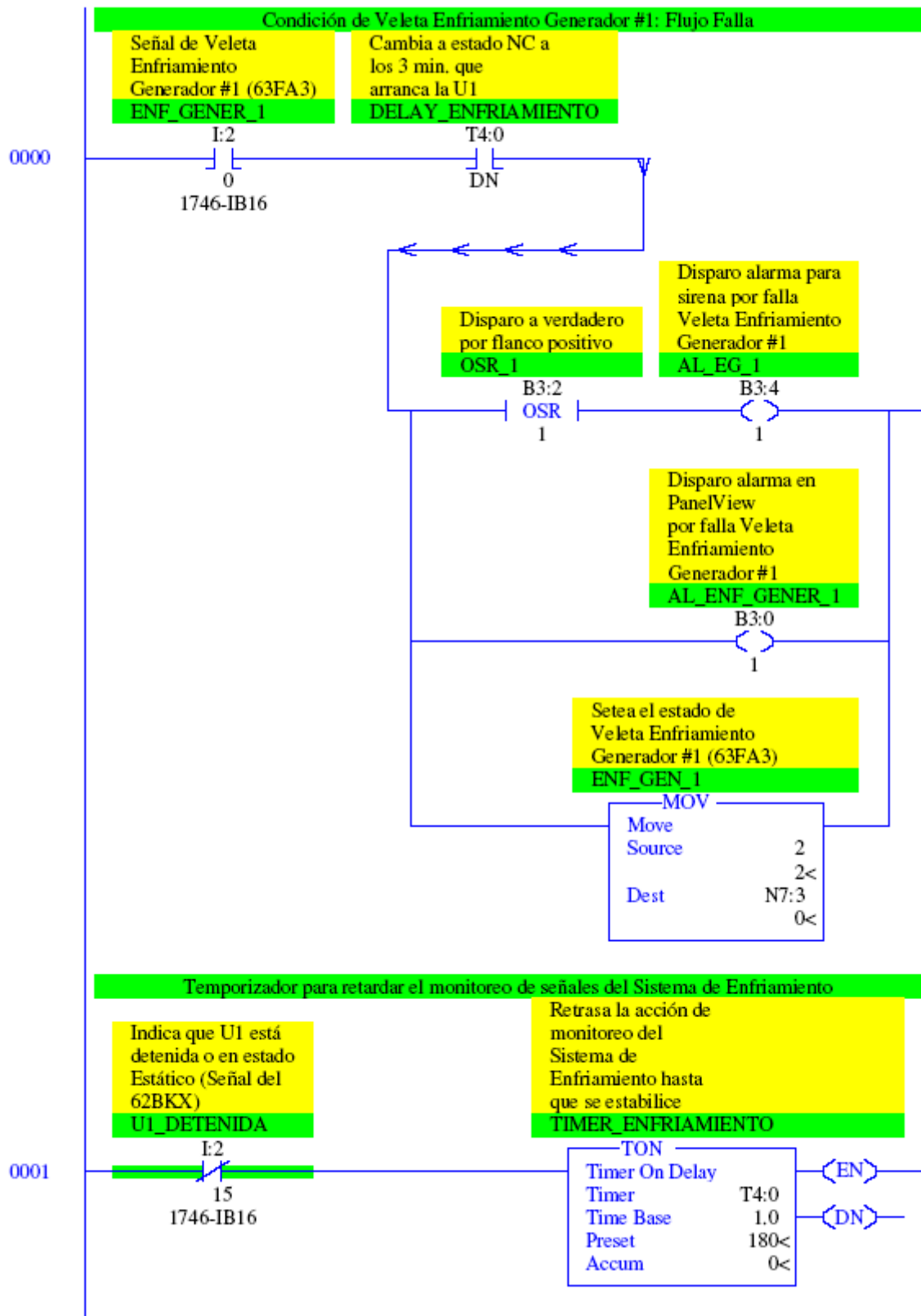
VARIABLE	TIPO SENSOR	CANT.	DENOMINACION	CONDICIONES FUNCIONAMIENTO	SEÑAL SALIDA	SELECCIONADA
Detectores de falla de flujo de agua en Radiadores Enfriadores del Generador	Contactos de caudal de tipo lengüeta mecánica	6	63FA1 hasta 63FA6	Contacto caudal Mc Donnel N° FS8V-3, contacto N°FS1-17, S.P.D.T. 115VCC, 0.3A Ref.120-591-03 Item 5 Altura operación 3100msnm	125VCD	SI
Detectores de falla de flujo de agua en Tanque Colector y Cojinetes: Guía Turbina, Guía Inferior y Combinado	Contactos de caudal de tipo lengüeta mecánica	4	63FA1 hasta 63FA6	Contacto caudal Mc Donnel N° FS8V-3, contacto N°FS1-17, S.P.D.T. 115VCC, 0.3A Ref.120-591-03 Item 5 Altura operación 3100msnm	125VCD	SI
Flujo de agua de Bombas de Enfriamiento	Flujómetro Diferencial de fuelle metálico que recibe las tomas diferenciales de una placa-orificio	1	63FWP	Marca Barton de mecanismo medida diferencial fuelle metálico. Indicador de 0 a 7727 L/Min (0 a 1700 IGPM) Contacto 125VCC, 0.5A (alarma caudal bajo). Presión agua= 3.5 Kg/cm ² ; Caudal=4500 L/Min (1200 USGPM) Ref. 120-591-01 2/3 Item 59. Altura operación 3100 msnm	Indicación visual de aguja sobre escala y contacto a 125VCD para indicar valor de flujo bajo	SI
Niveles de Aceite en Tanque Acumulador: Muy Alto, Alto, Normal, Bajo y Muy Bajo	Contactos de flotador	5	33QH4, 33QH3X, 33QH2X, 33QL3X y 33QL2X respectivamente	Contactos de salida a 125 VCC Ref.119-329-04 y Operadores casa de máquinas	125 VCD	SI

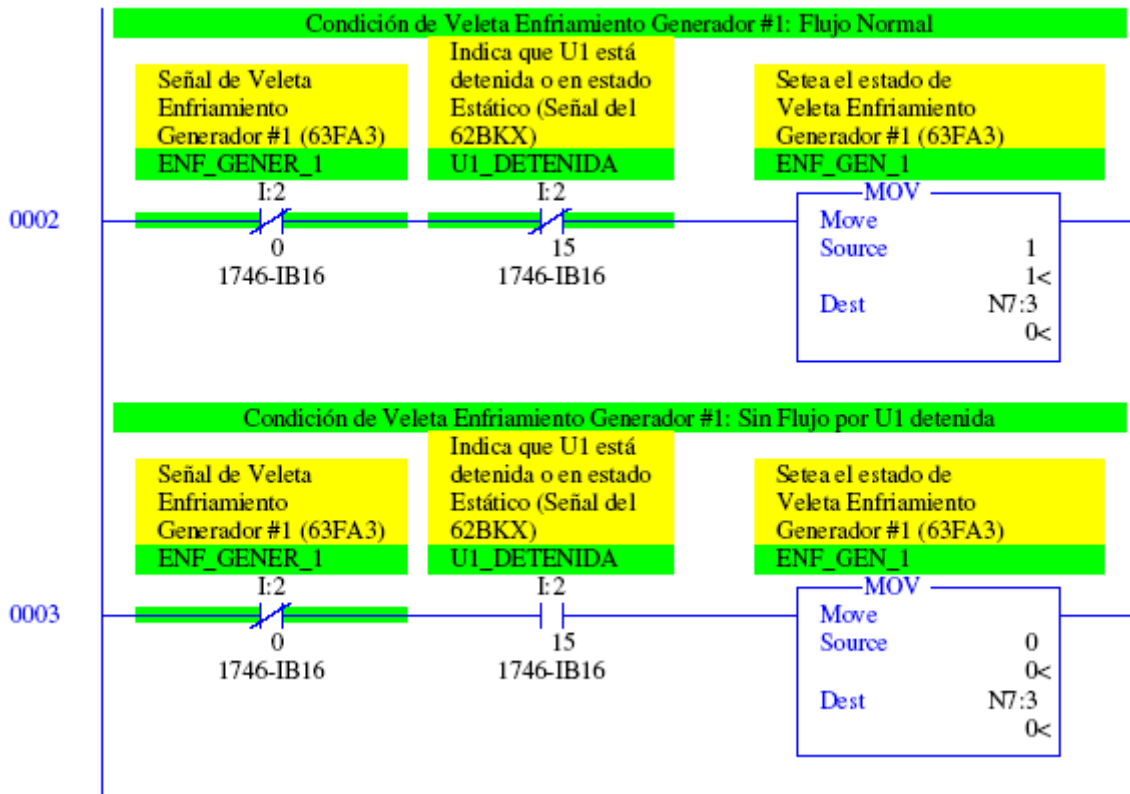
Anexo 2. Tabla 1. Principales Variables Físicas de U1 (Continuación)

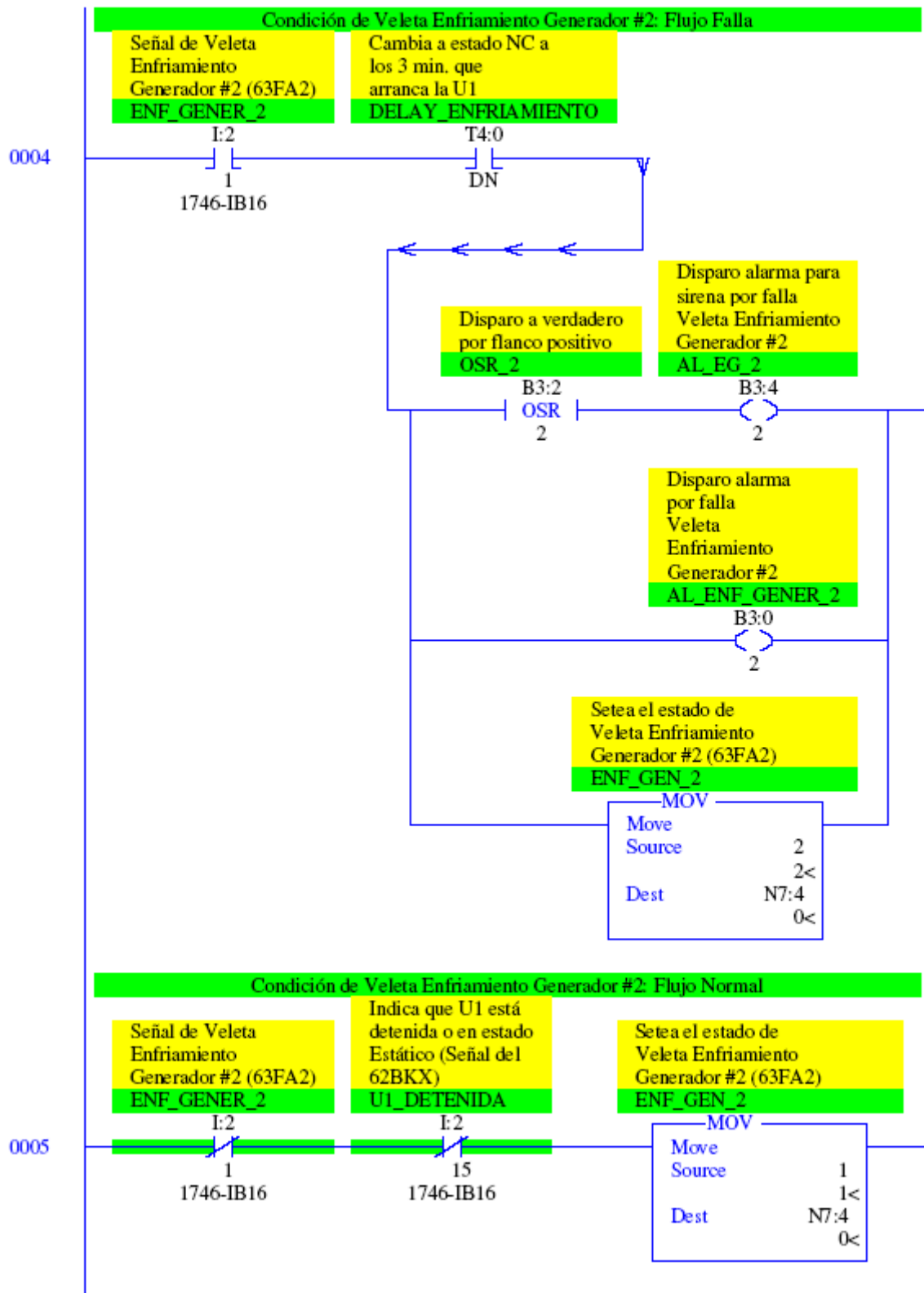
VARIABLE	TIPO SENSOR	CANT.	DENOMINACION	CONDICIONES FUNCIONAMIENTO	SEÑAL SALIDA	SELECCIONADA
Niveles de Aceite en Cojinete Combinado: Bajo estático, Bajo y Alto dinámico	Contactos de flotadores	3	33Q2A, 33Q2B y 33Q2C respectivamente	Marca Magnetrol 291-C, Tipo NEMA 1, presión atmosférica 2 contactos S1M3DC. Medición nivel aceite en movimiento cuando está en funcionamiento la U1; rango de medición de nivel de 0 a 20 cm Ref. 120-406-01 Nota 33 y 120-576-01 Nota 14. Altura operación 3100msnm	125 VCD	NO
Niveles de Aceite en Cojinete Guía Inferior: Bajo estático, Bajo y Alto dinámico	Contactos de flotadores	3	33Q3CX, 33Q3B y 33Q3D respectivamente	Marca Magnetrol 291-C, Tipo NEMA 1, presión atmosférica 2 contactos S1M3DC. Medición nivel aceite en movimiento cuando está en funcionamiento la U1; rango de medición de nivel de 0 a 20 cm Ref. 120-406-01 Nota 33 y 120-576-01 Nota 14. Altura operación 3100msnm	125 VCD	SI
Nivel de Aceite en Cojinete Guía Turbina al 90% de velocidad de giro del generador	Manómetro de presión	1	33Q1B	Manómetro "Trerice" N°600M. Rango de operación: 0 a 1 Kg/cm ² (0 a 15PSI) Empalme 1/2" NPT. Ref.119-286-01 Descripción 6	Indicación visual de aguja sobre escala y contacto a 125VCD para indicar nivel bajo	NO
Nivel de agua depósito de Enfriamiento Agotamiento	Contactos por flotador	6		Contactos de salida de 220 VAC Ref.119-324-02 y Operadores casa de máquinas	220 VCA	NO

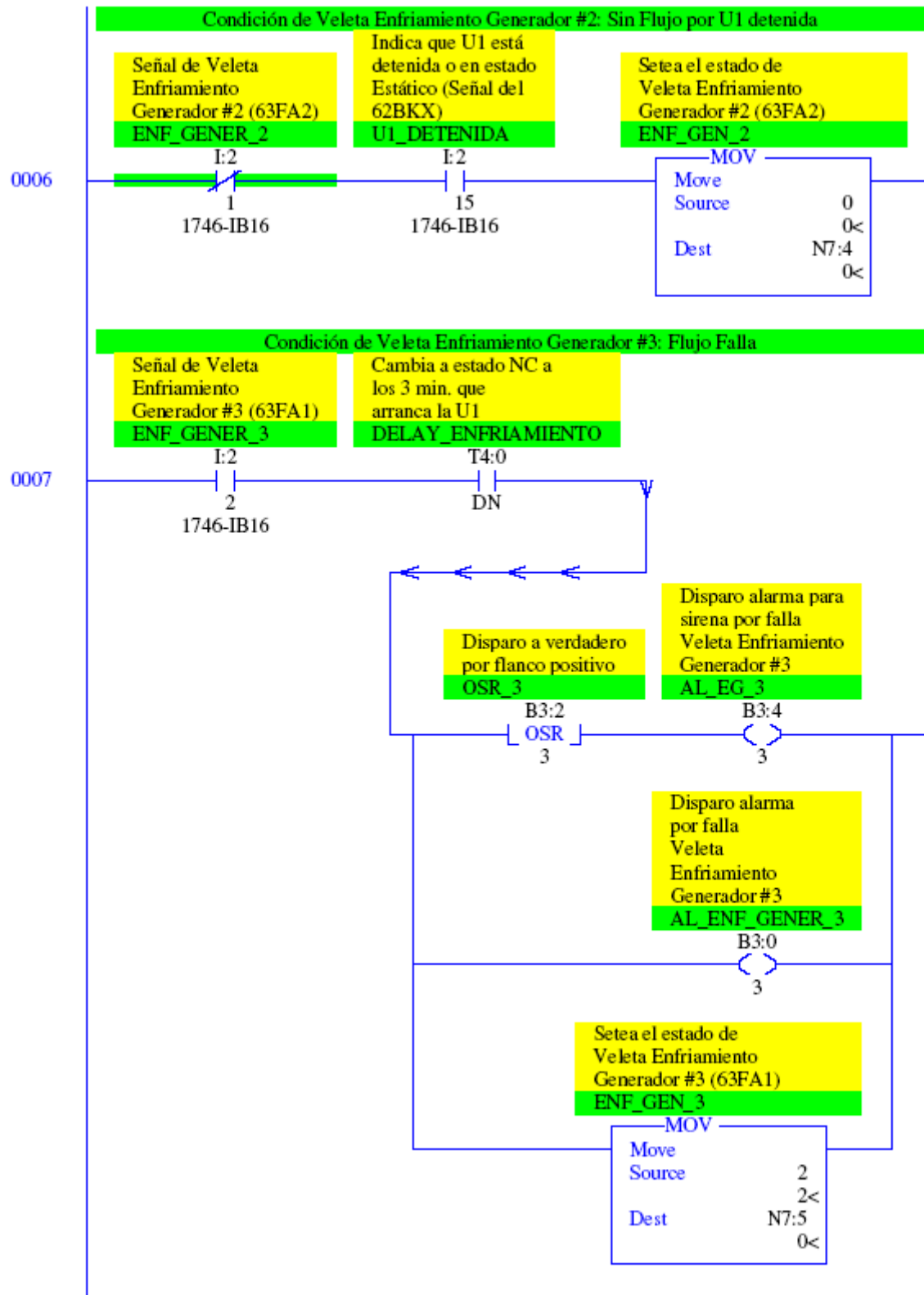
Anexo 2. Tabla 1. Principales Variables Físicas de U1 (Continuación)

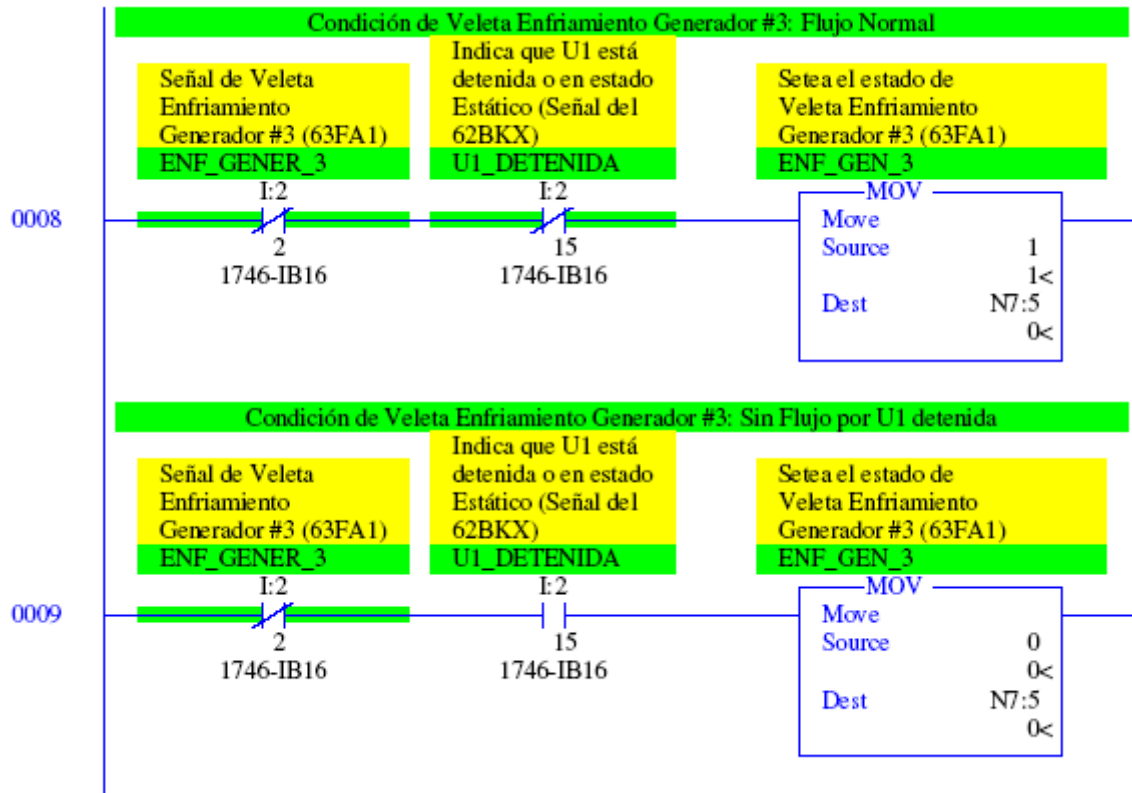
ANEXO 3: LOGICA DE PROGRAMACION DEL SLC500

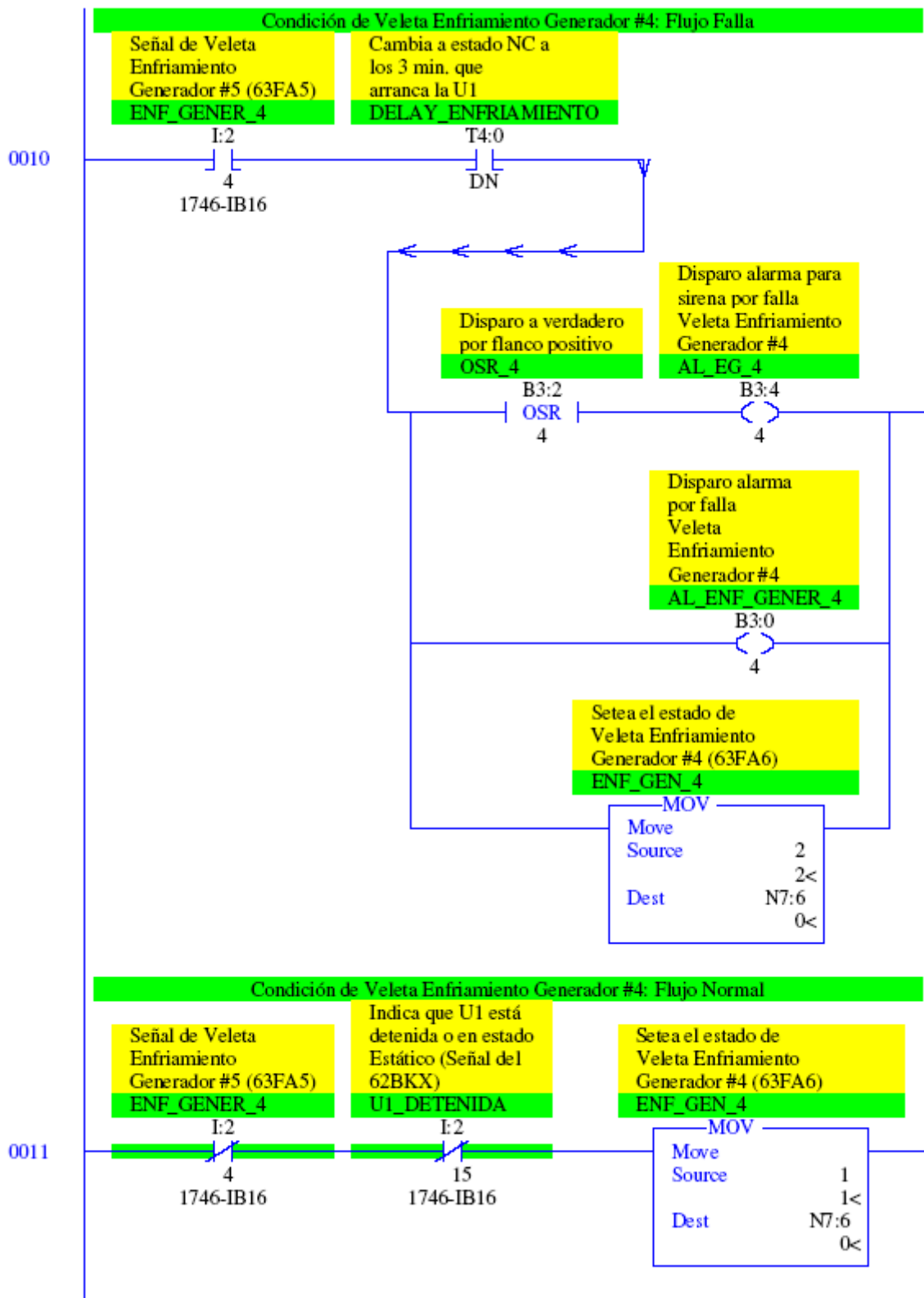


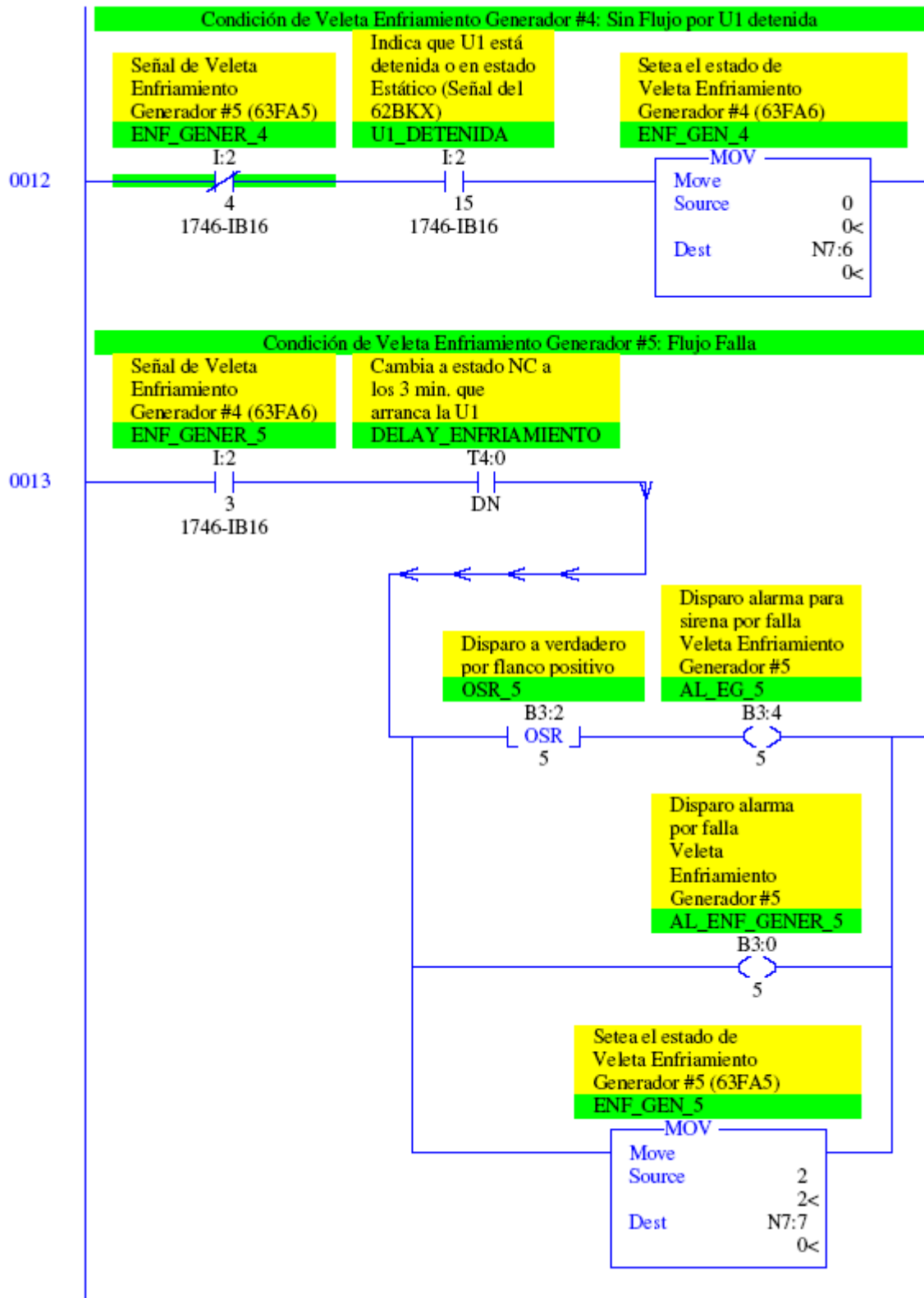


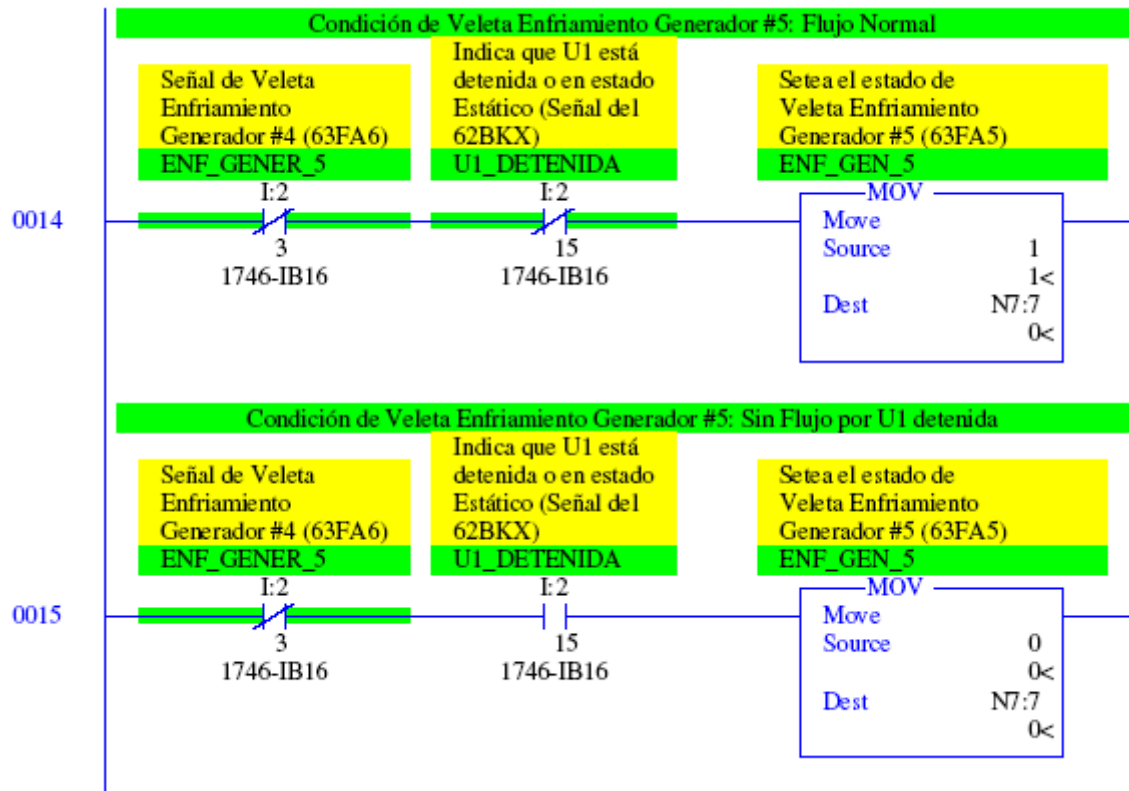


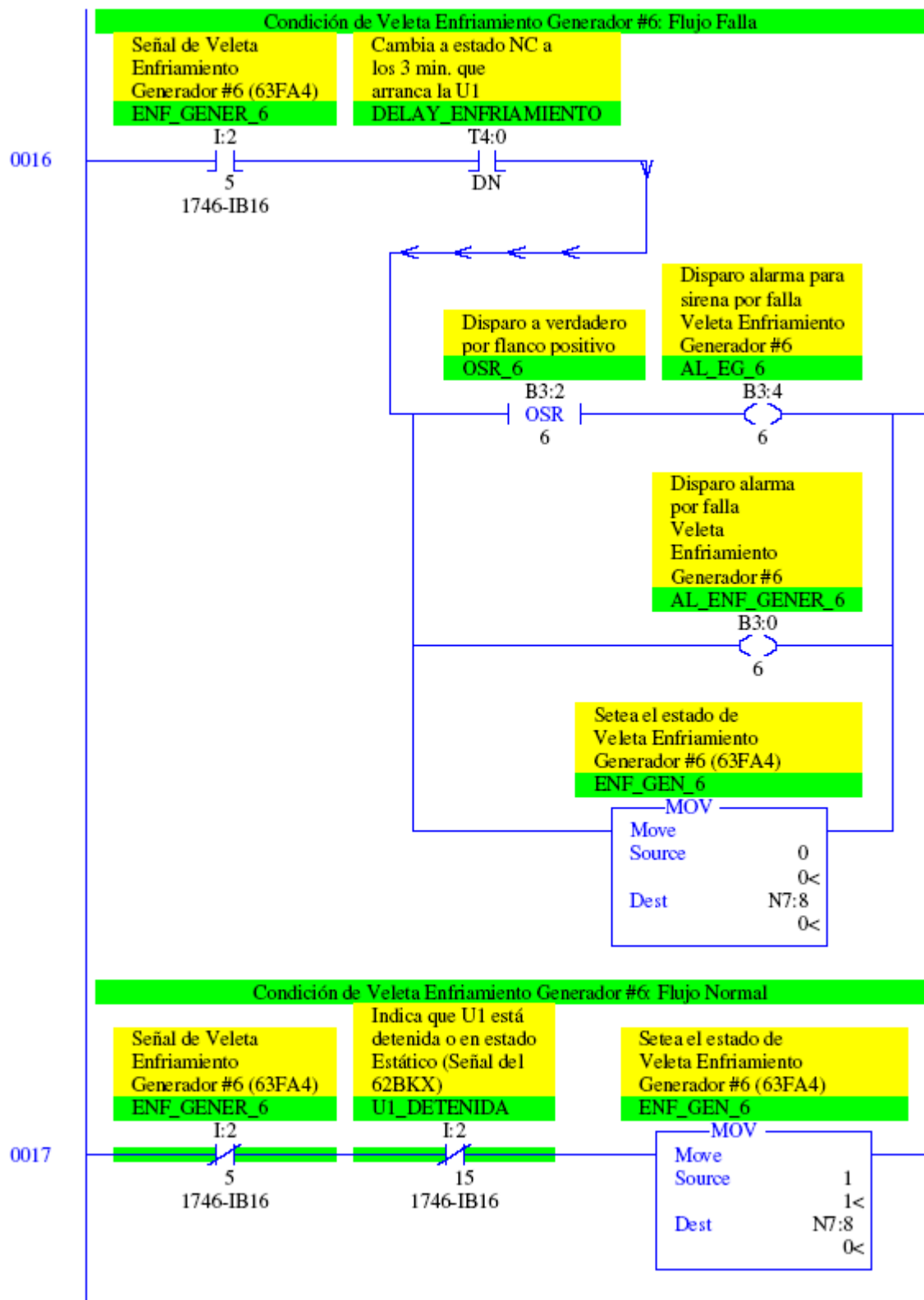


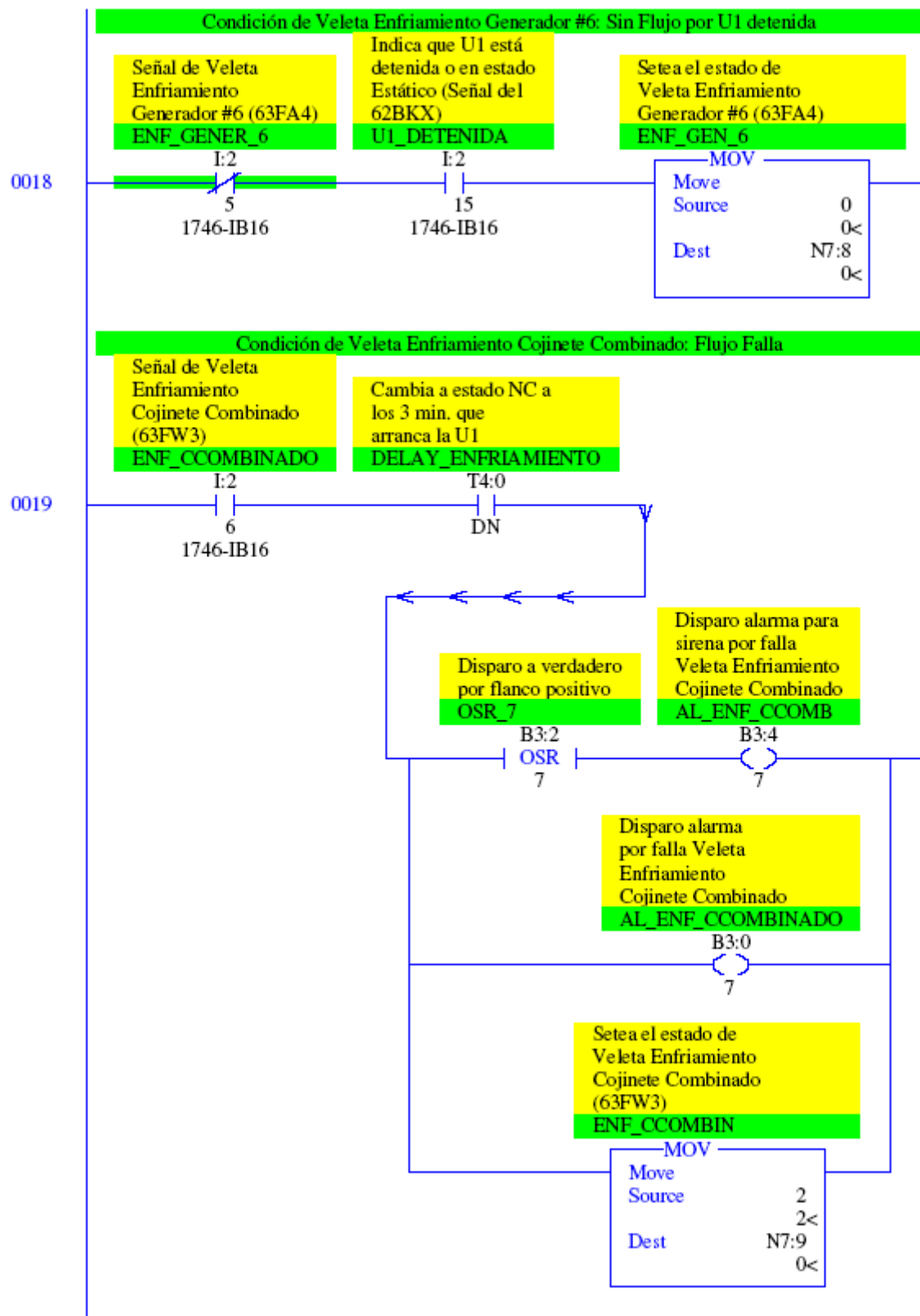


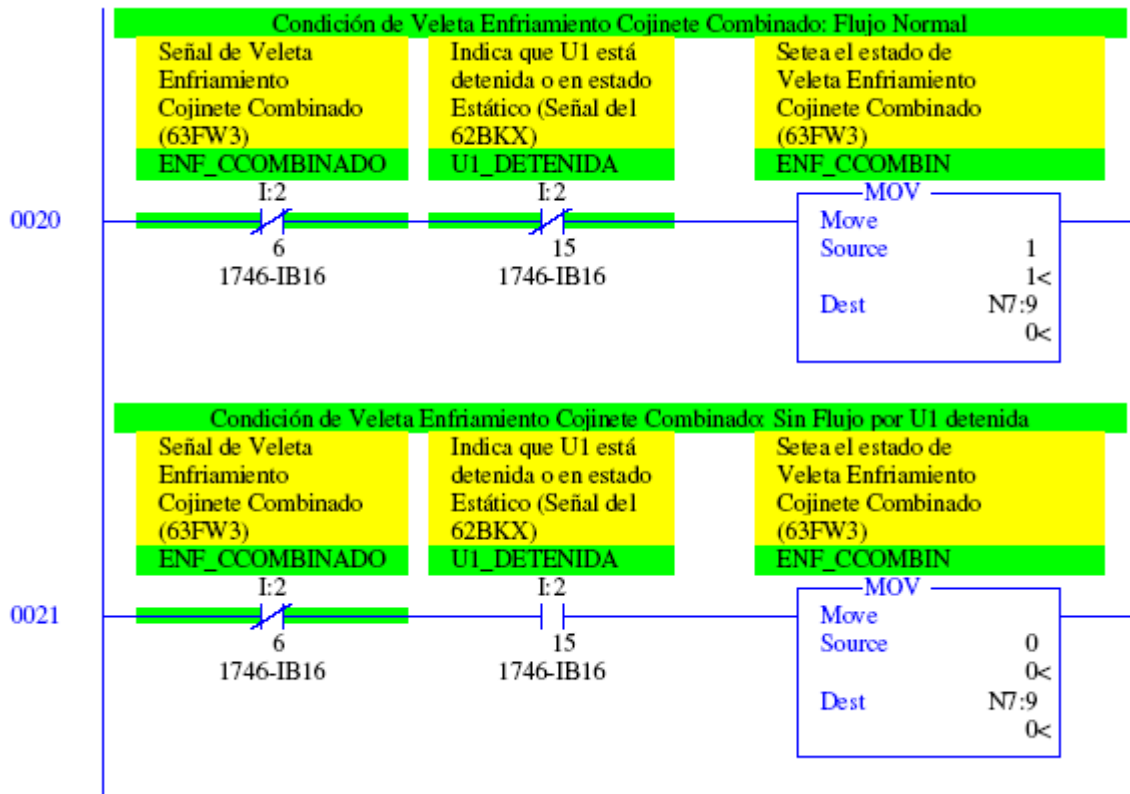


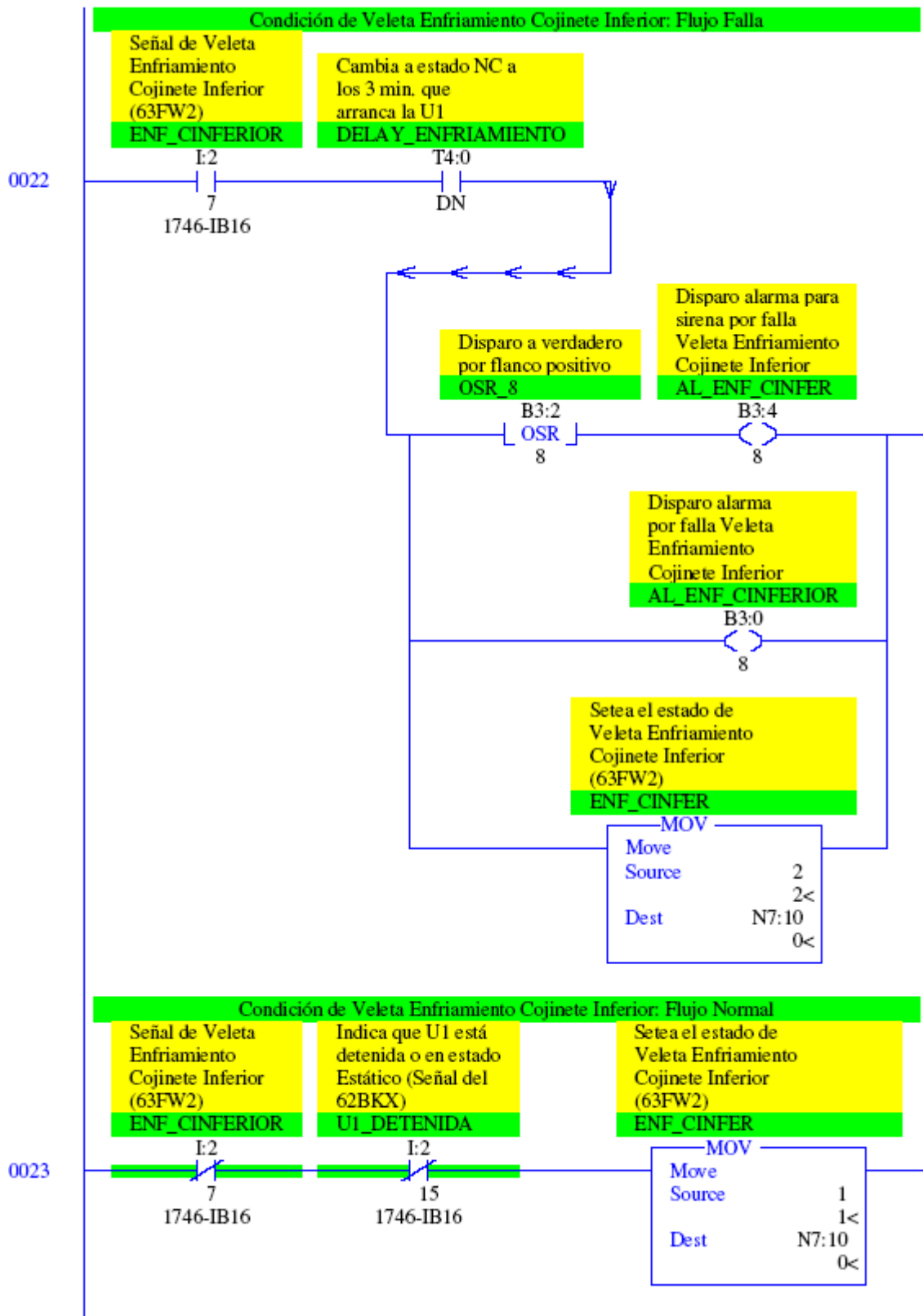


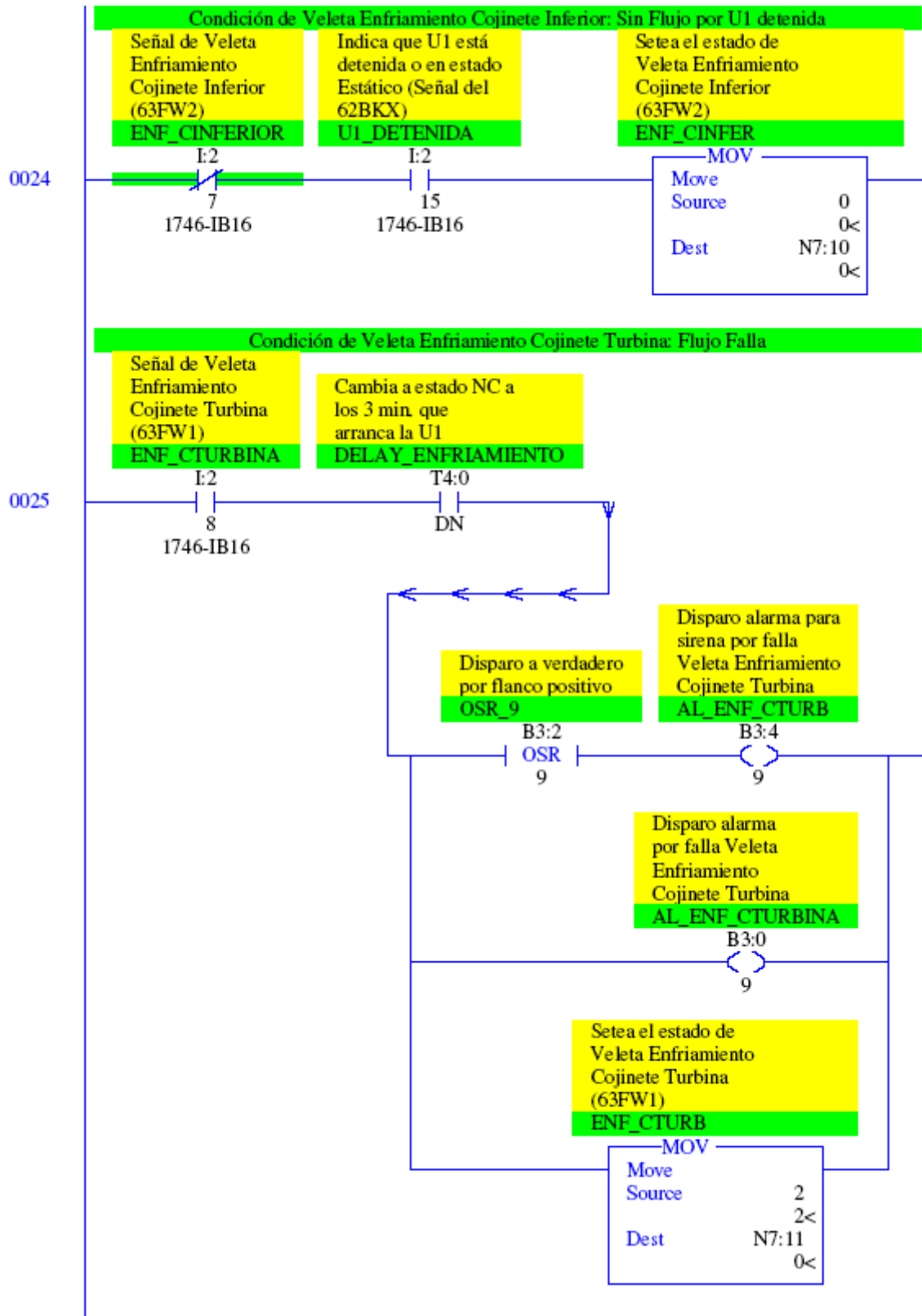


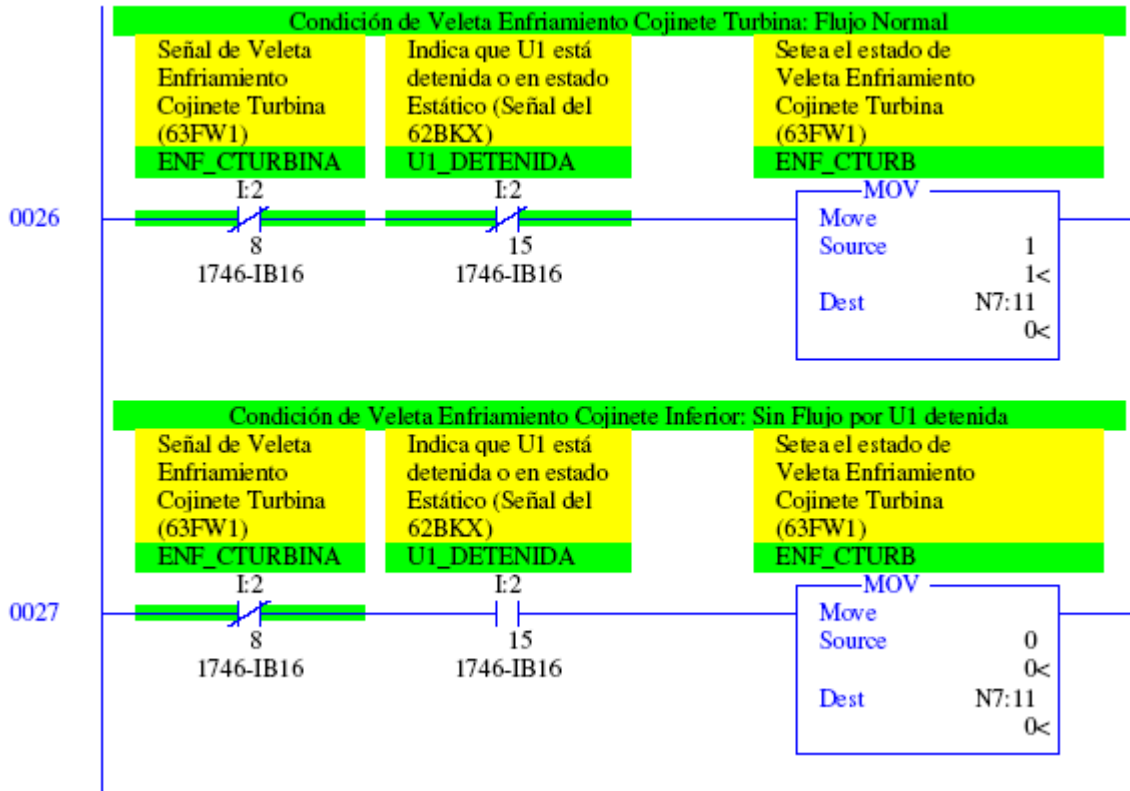


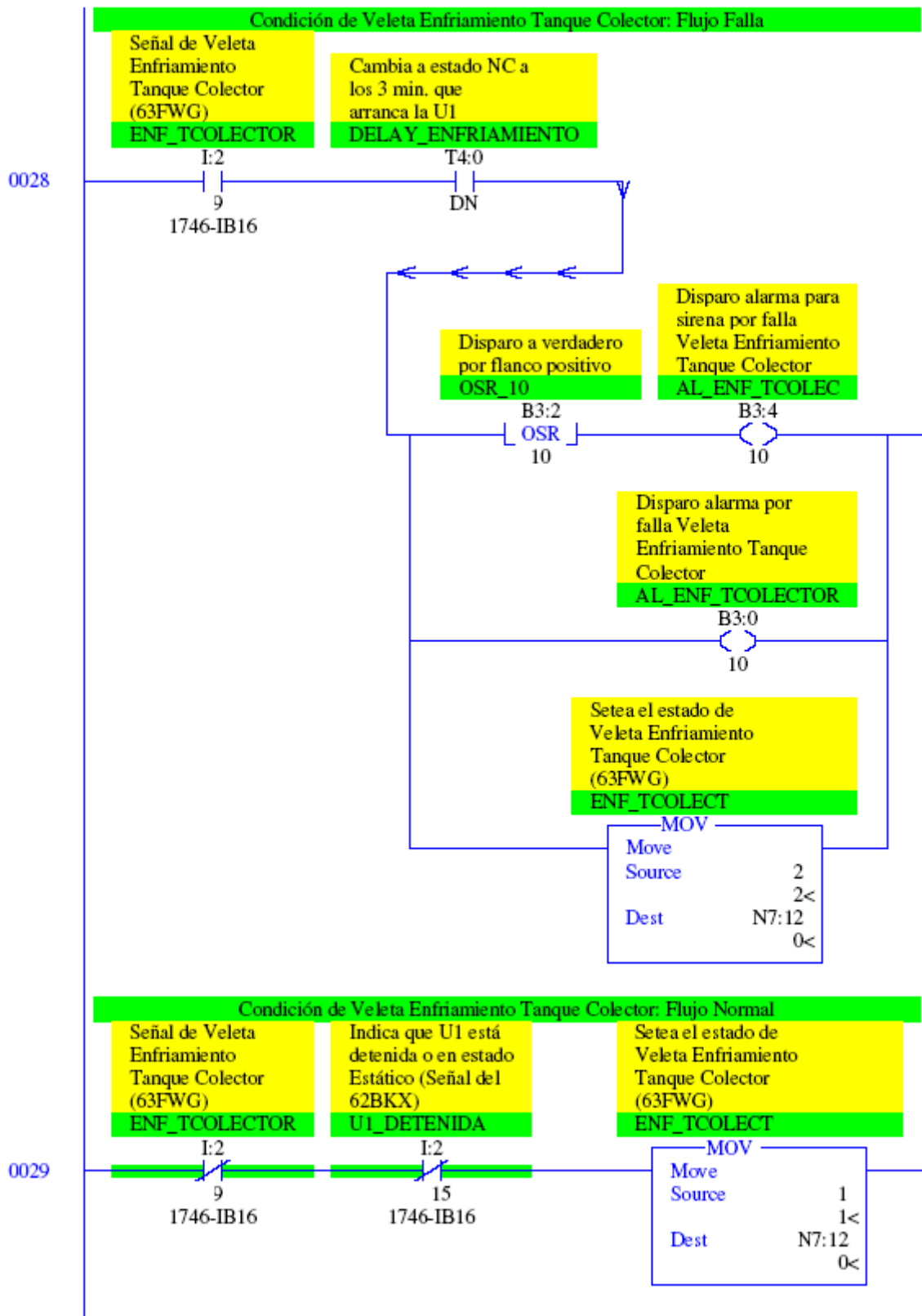


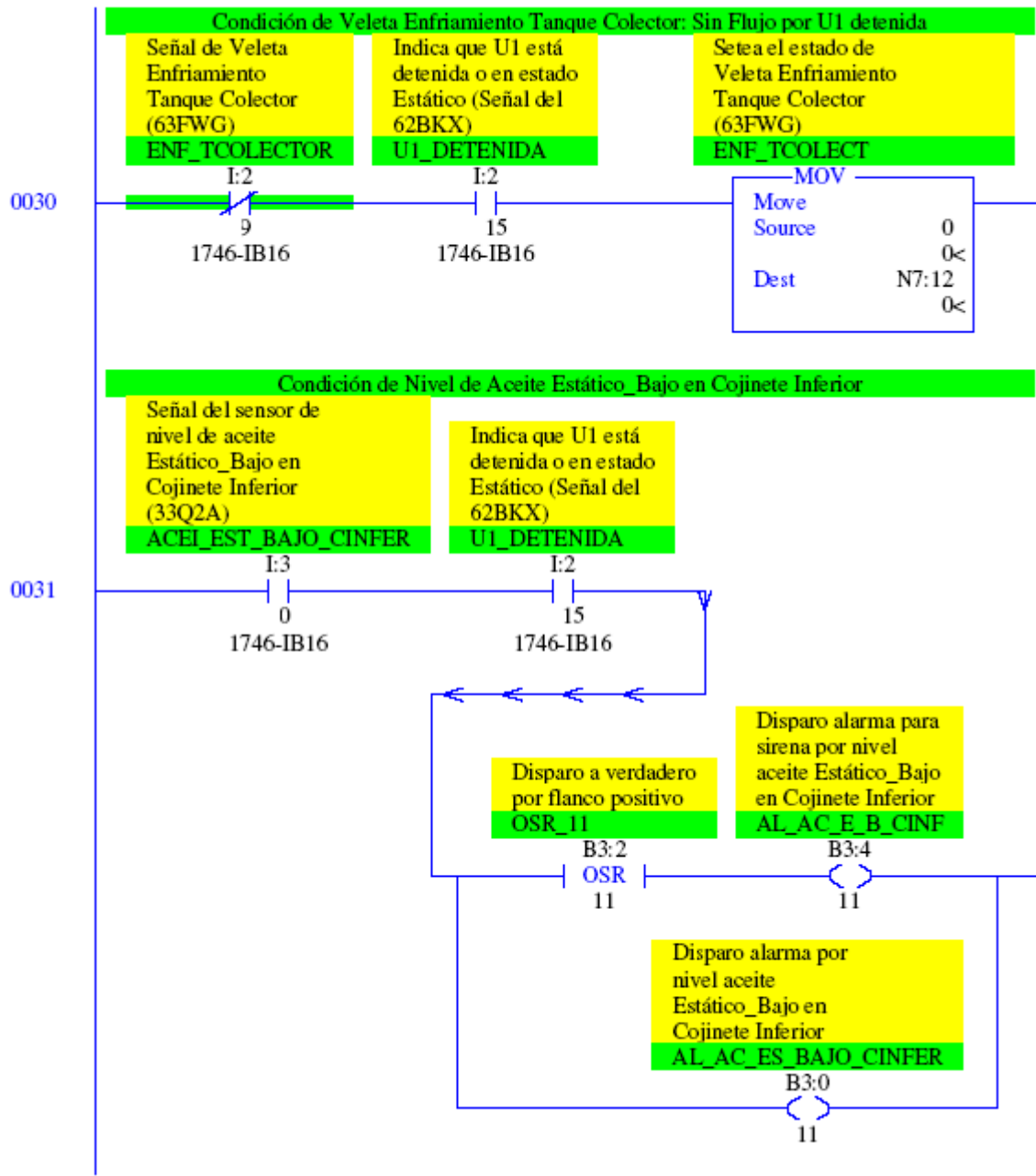


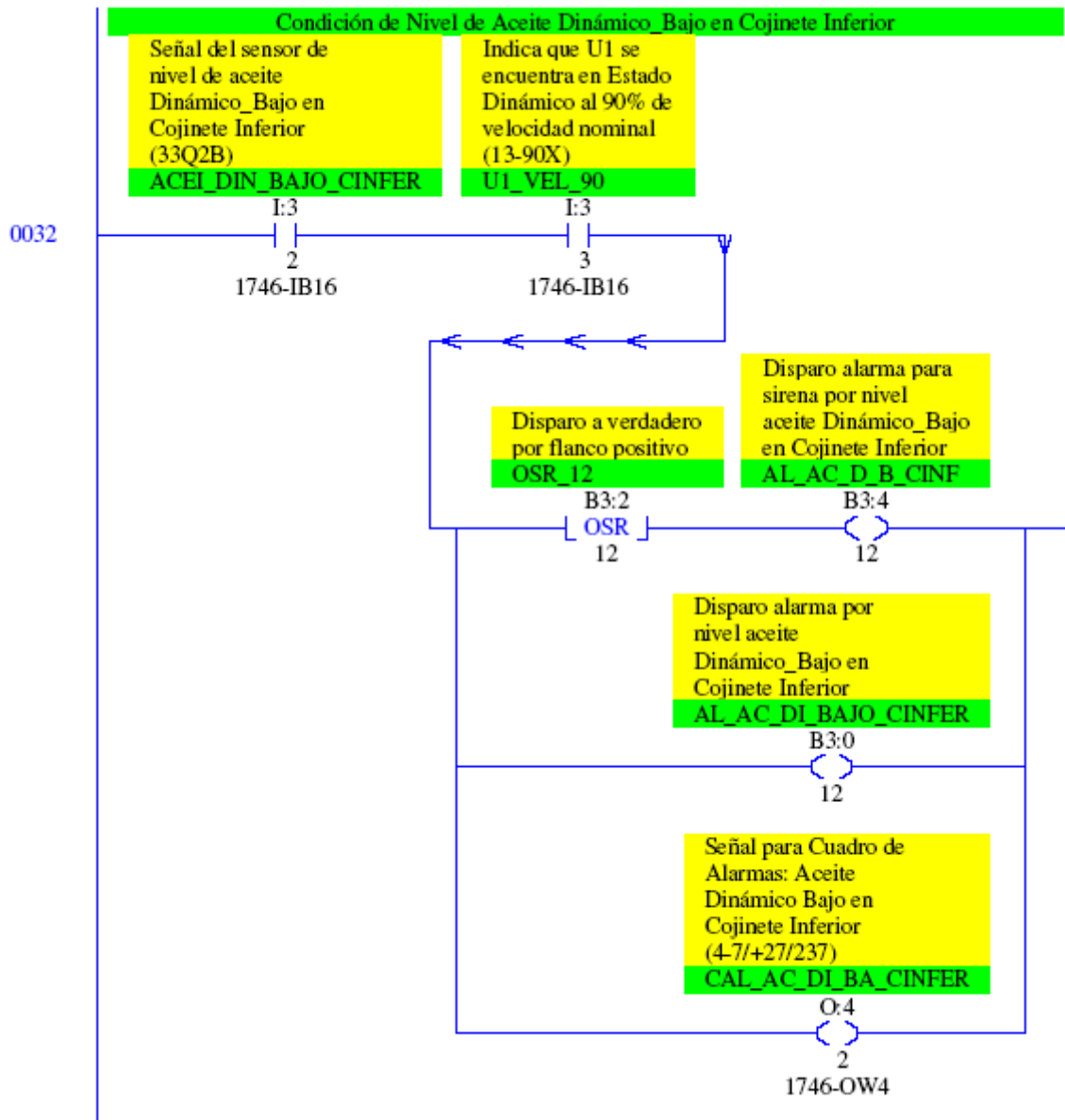


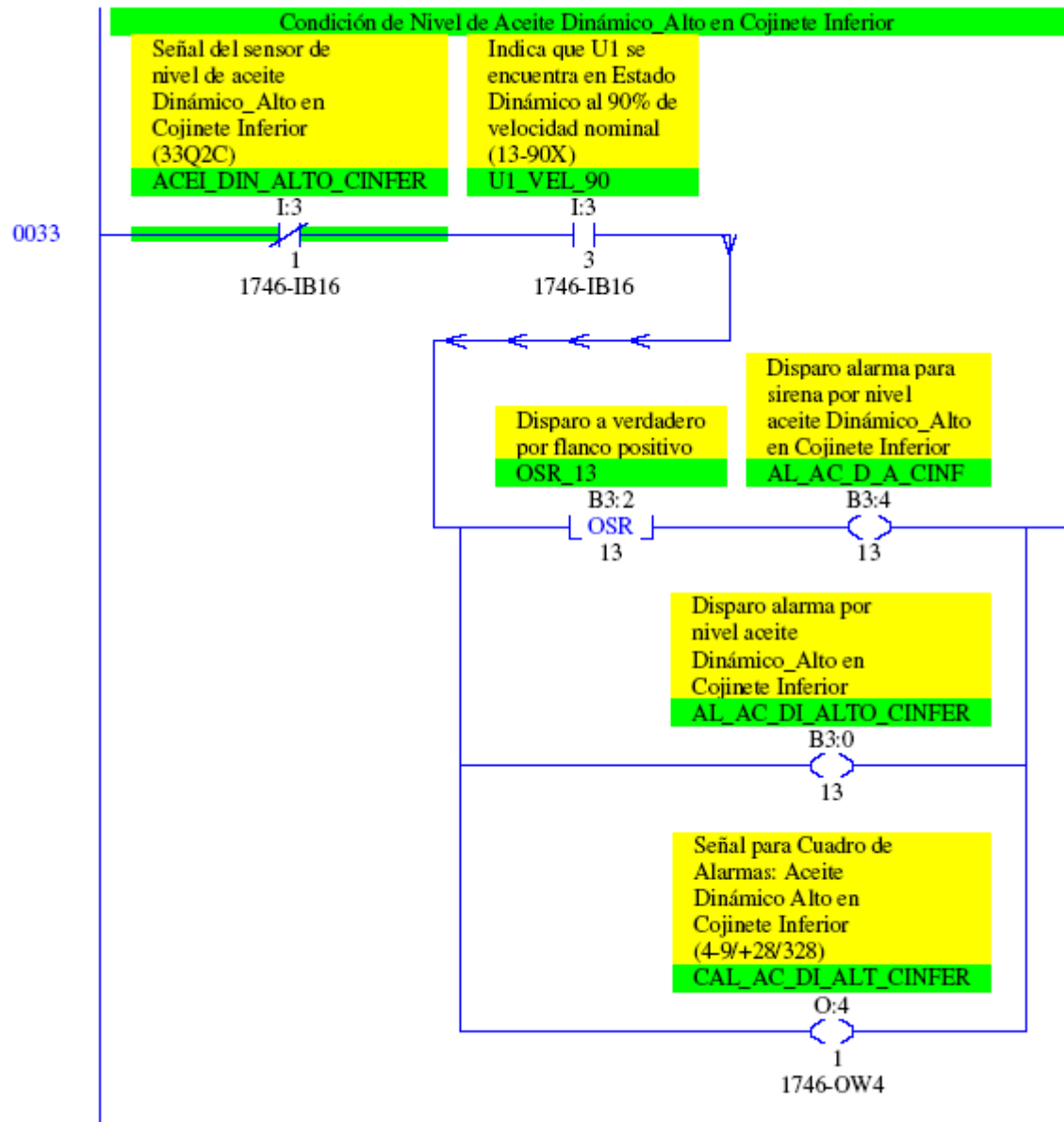


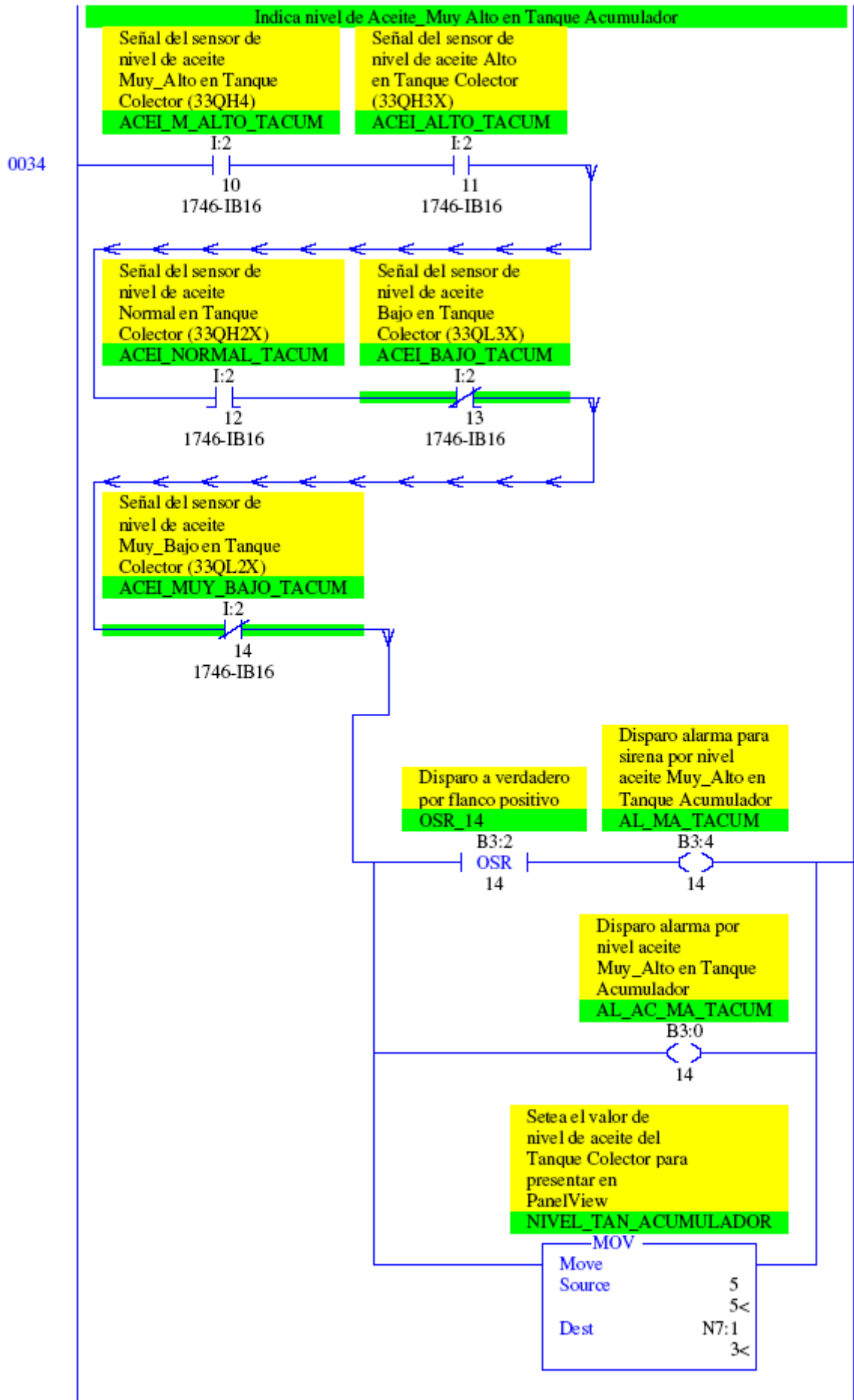


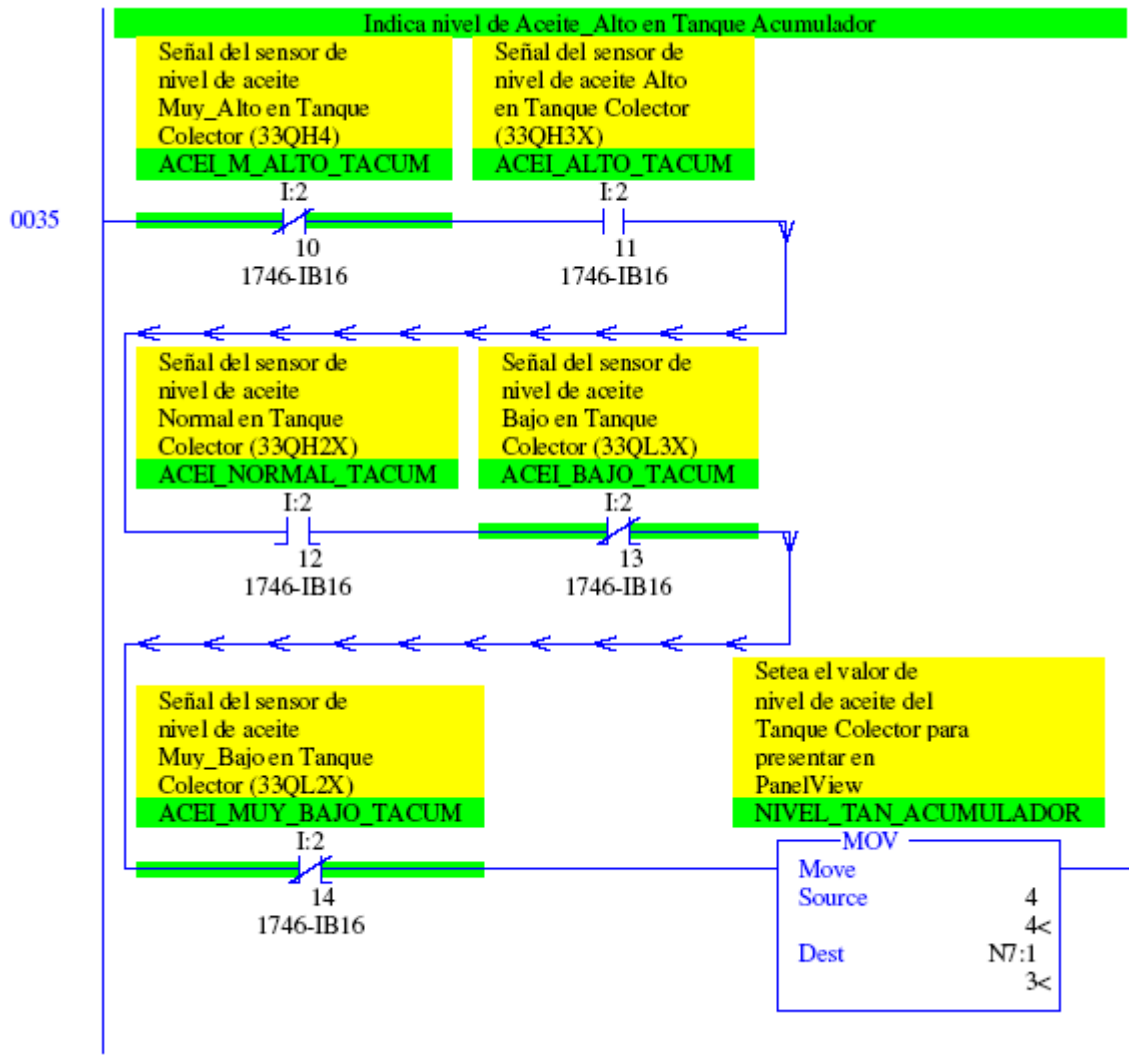


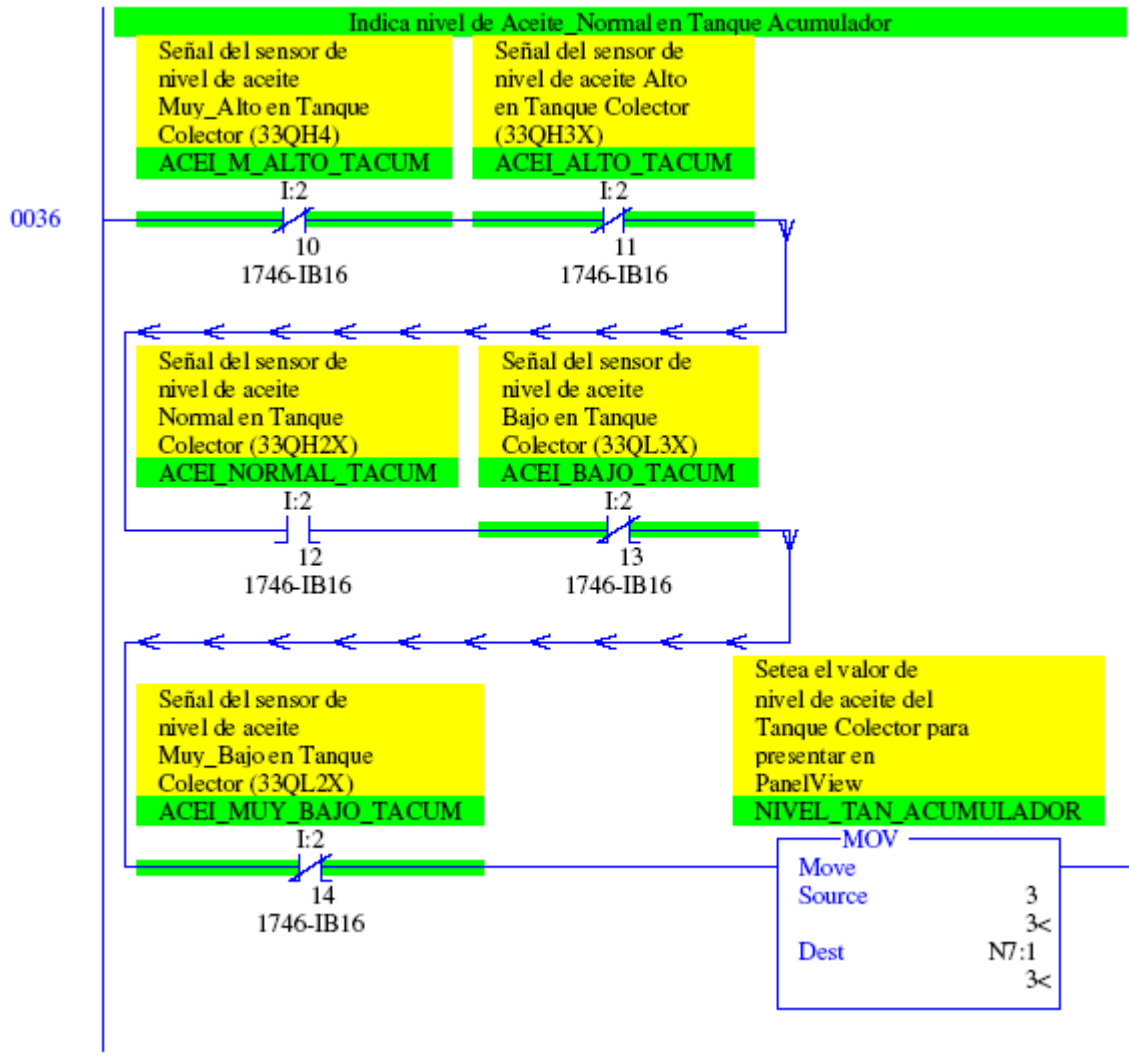


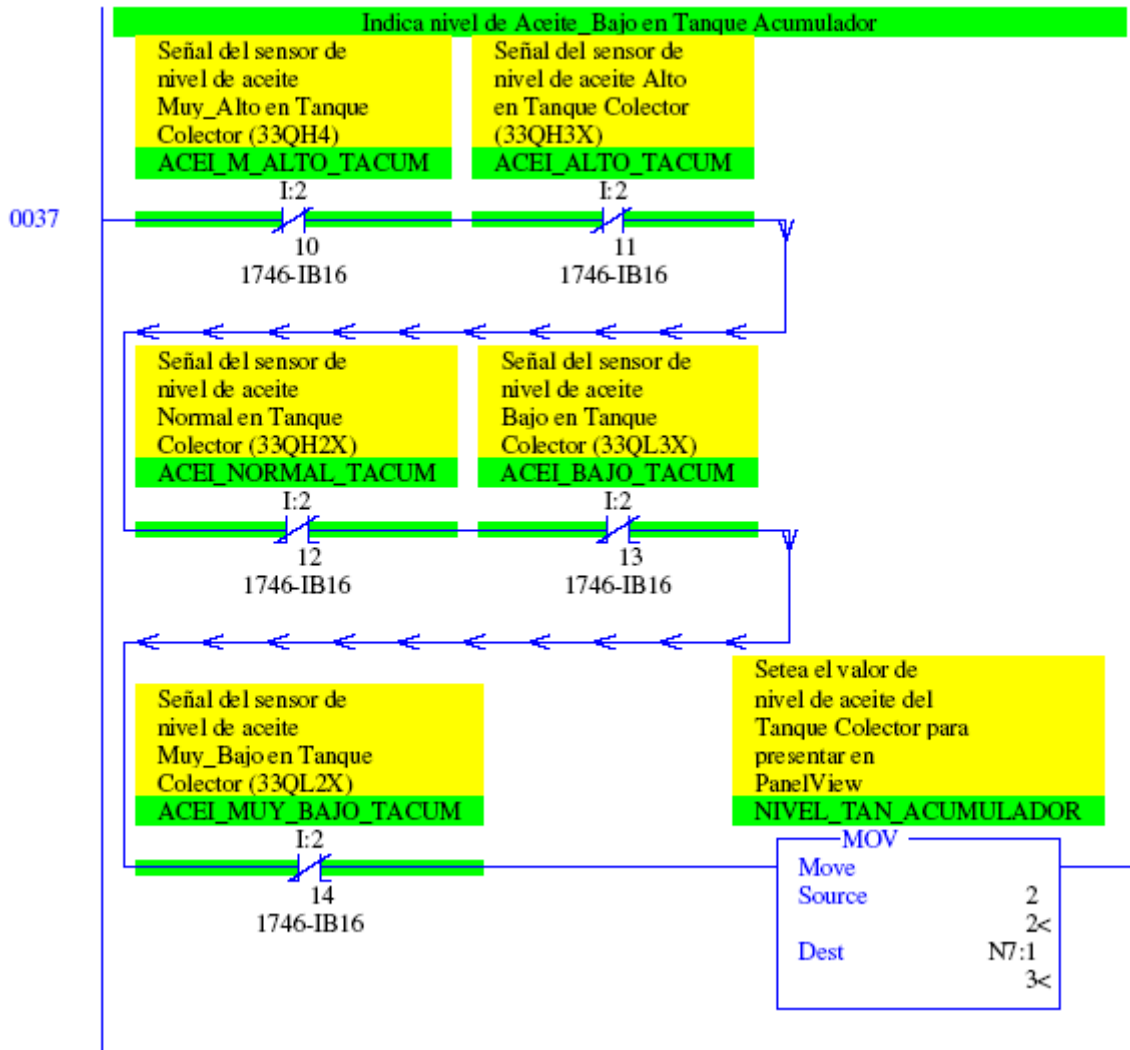


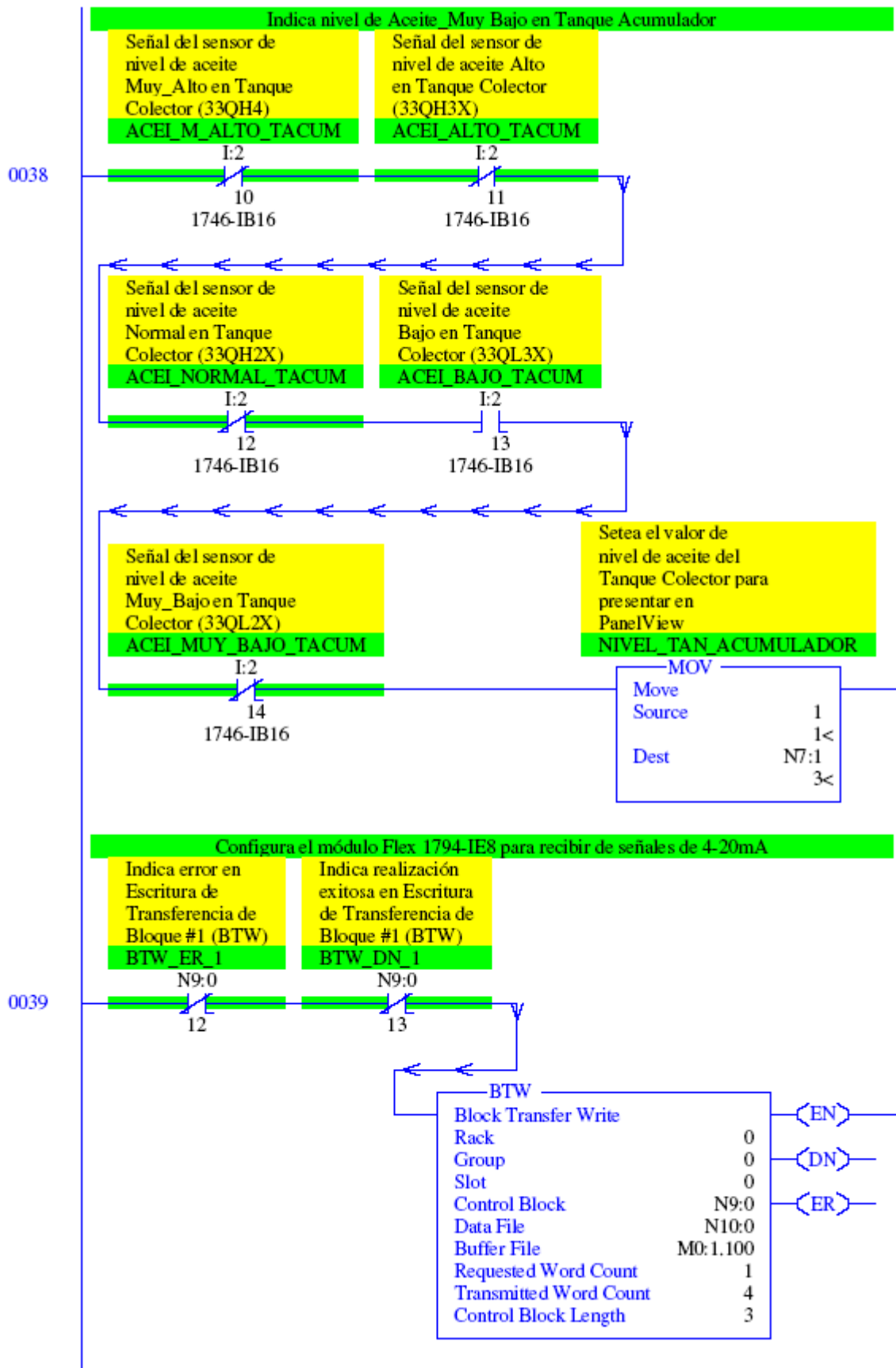


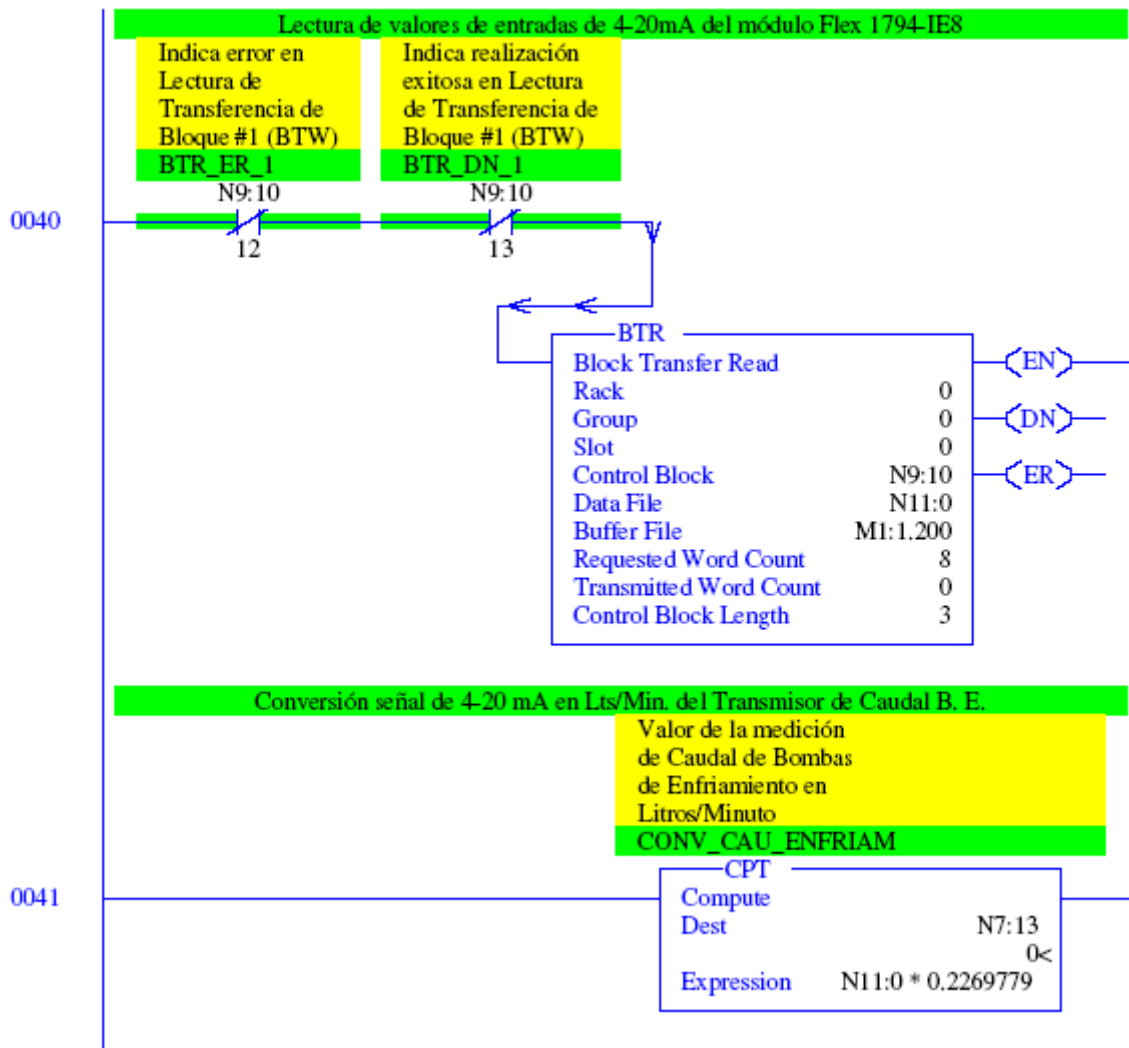


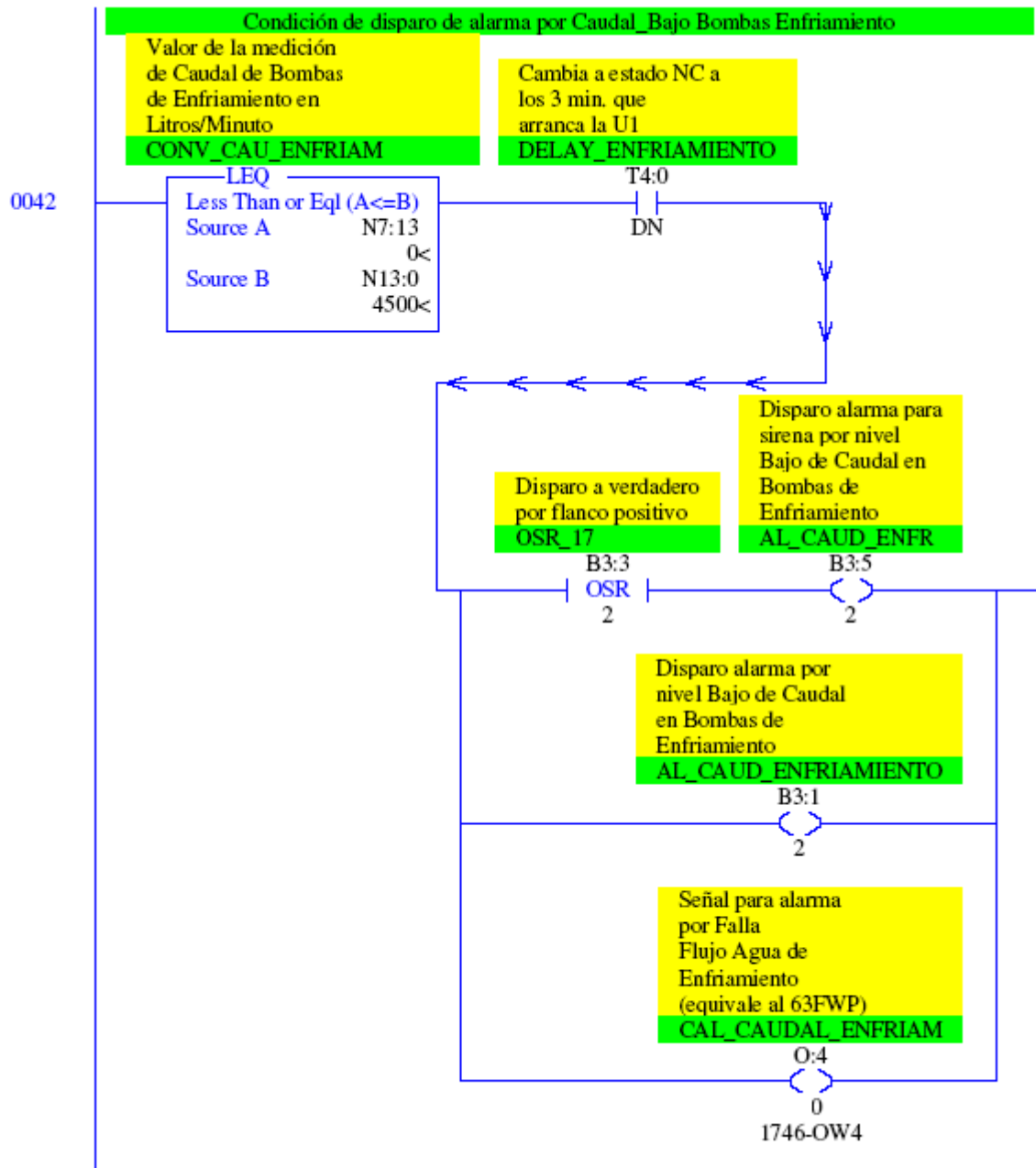


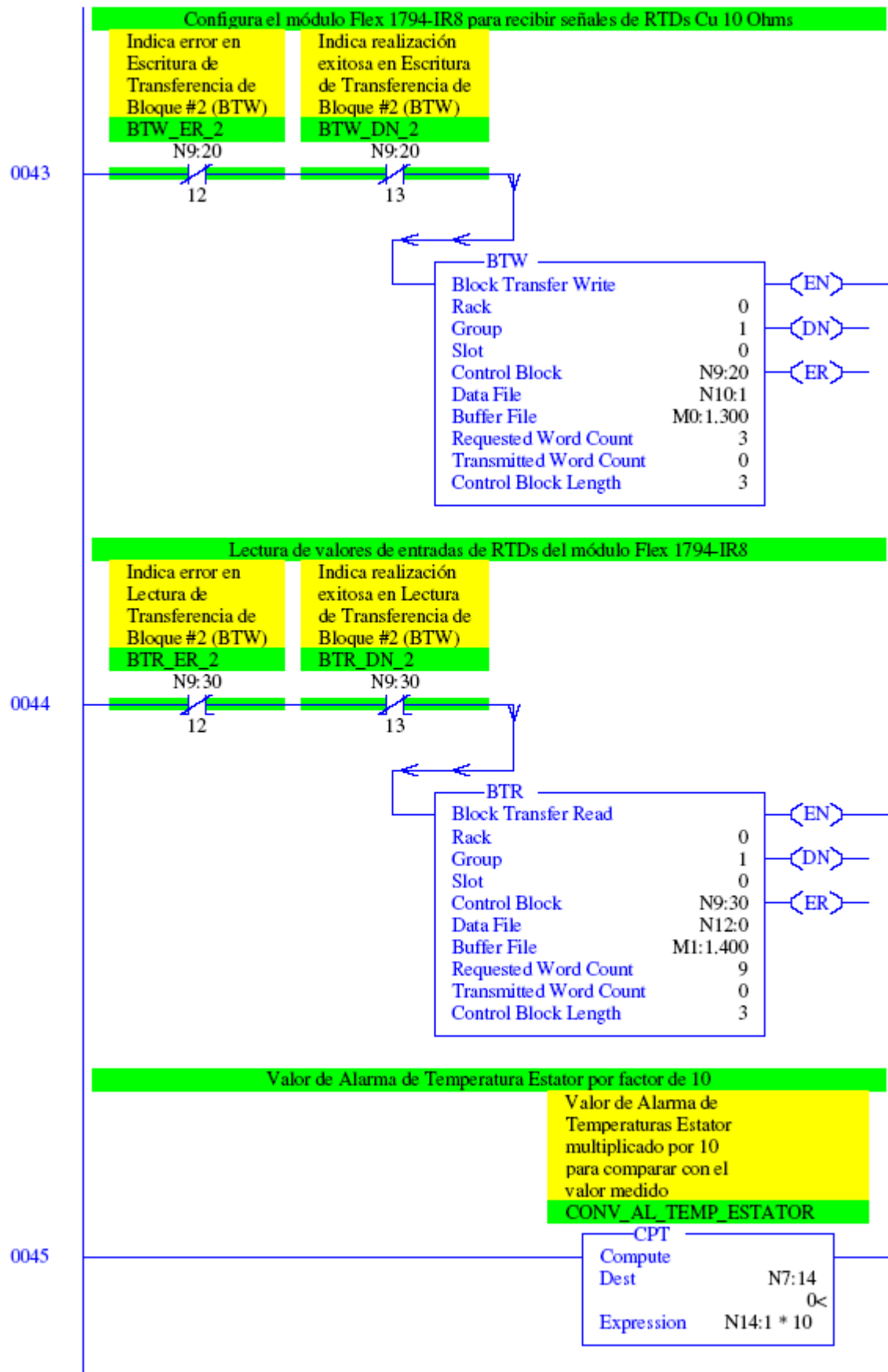


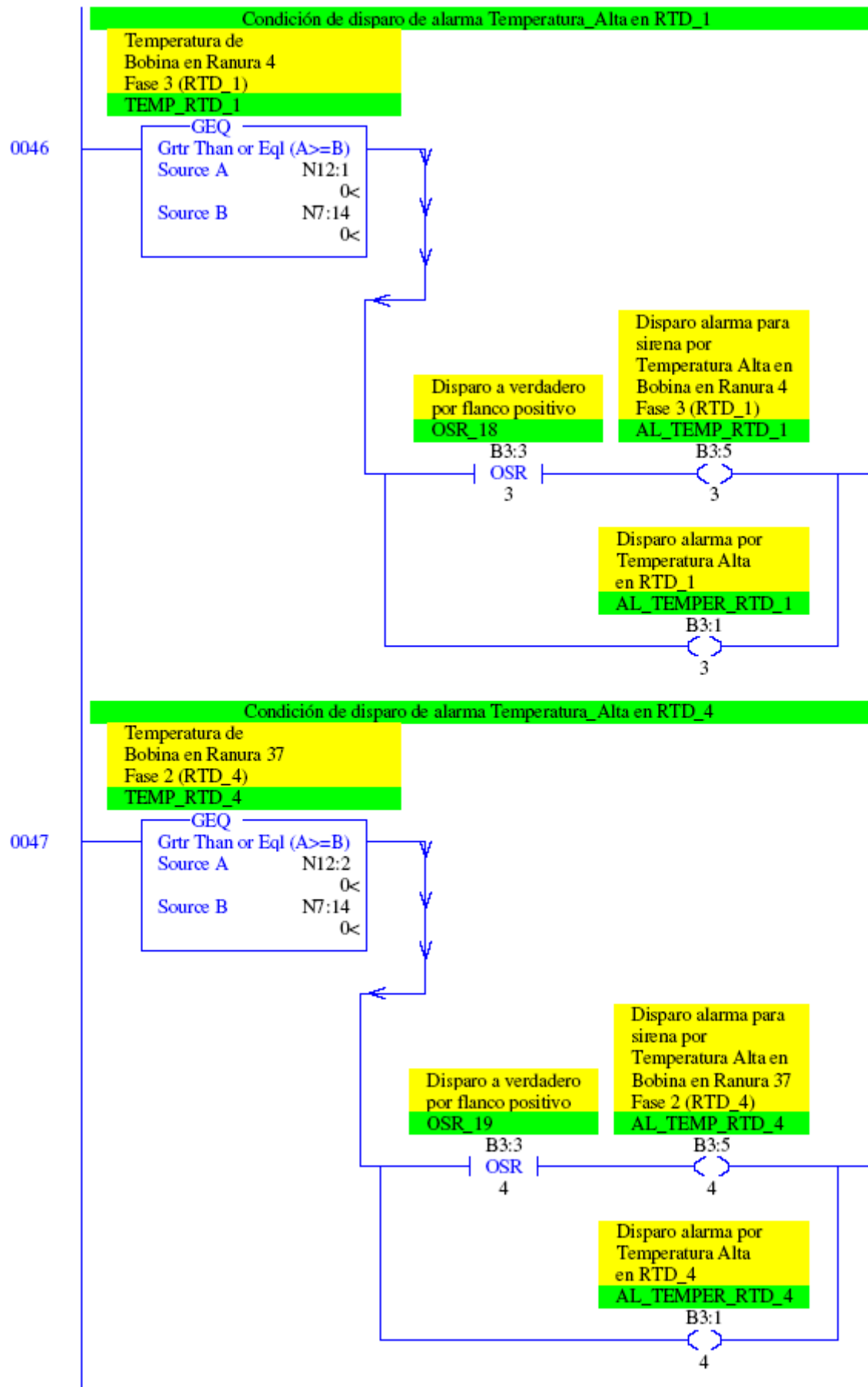


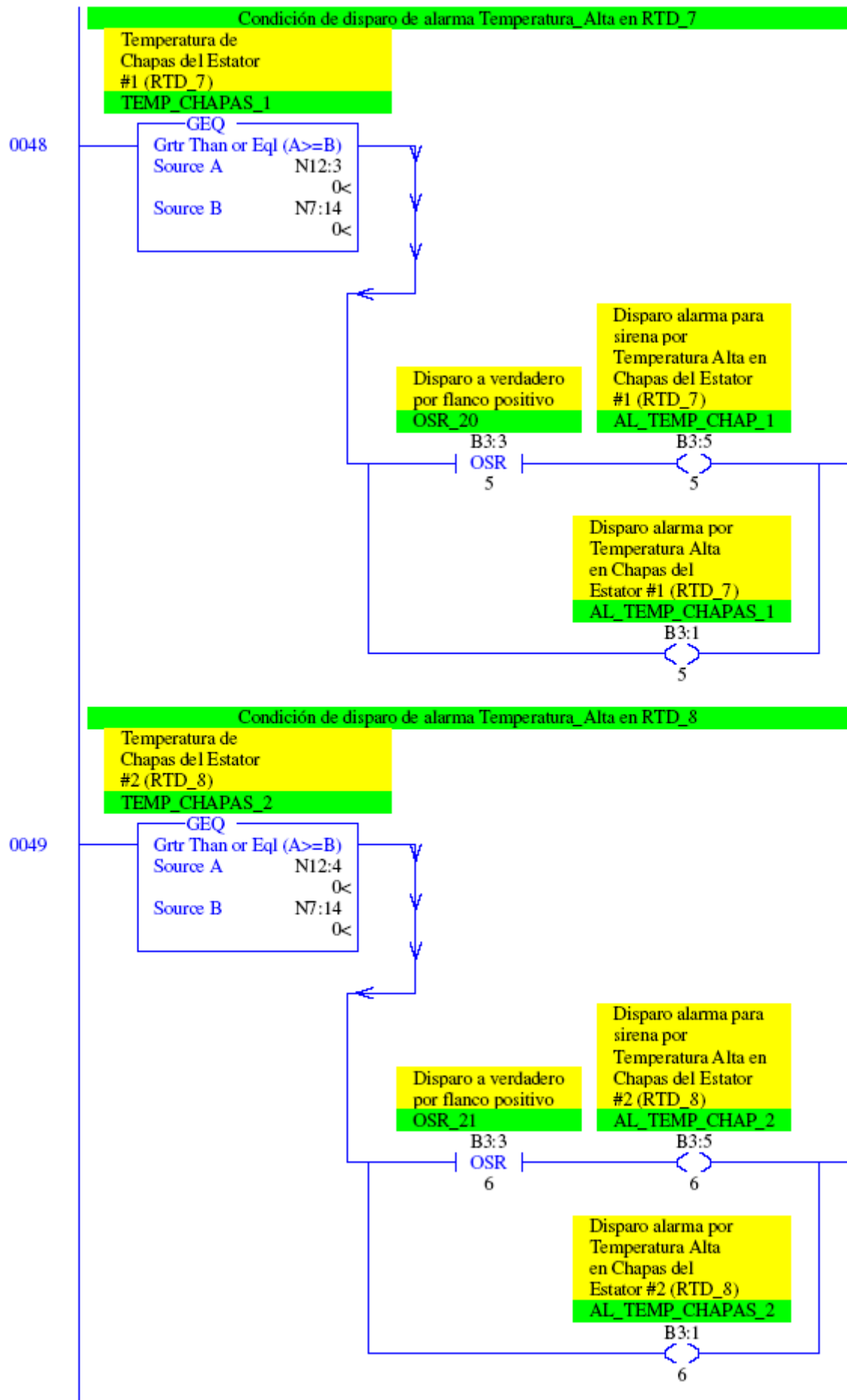


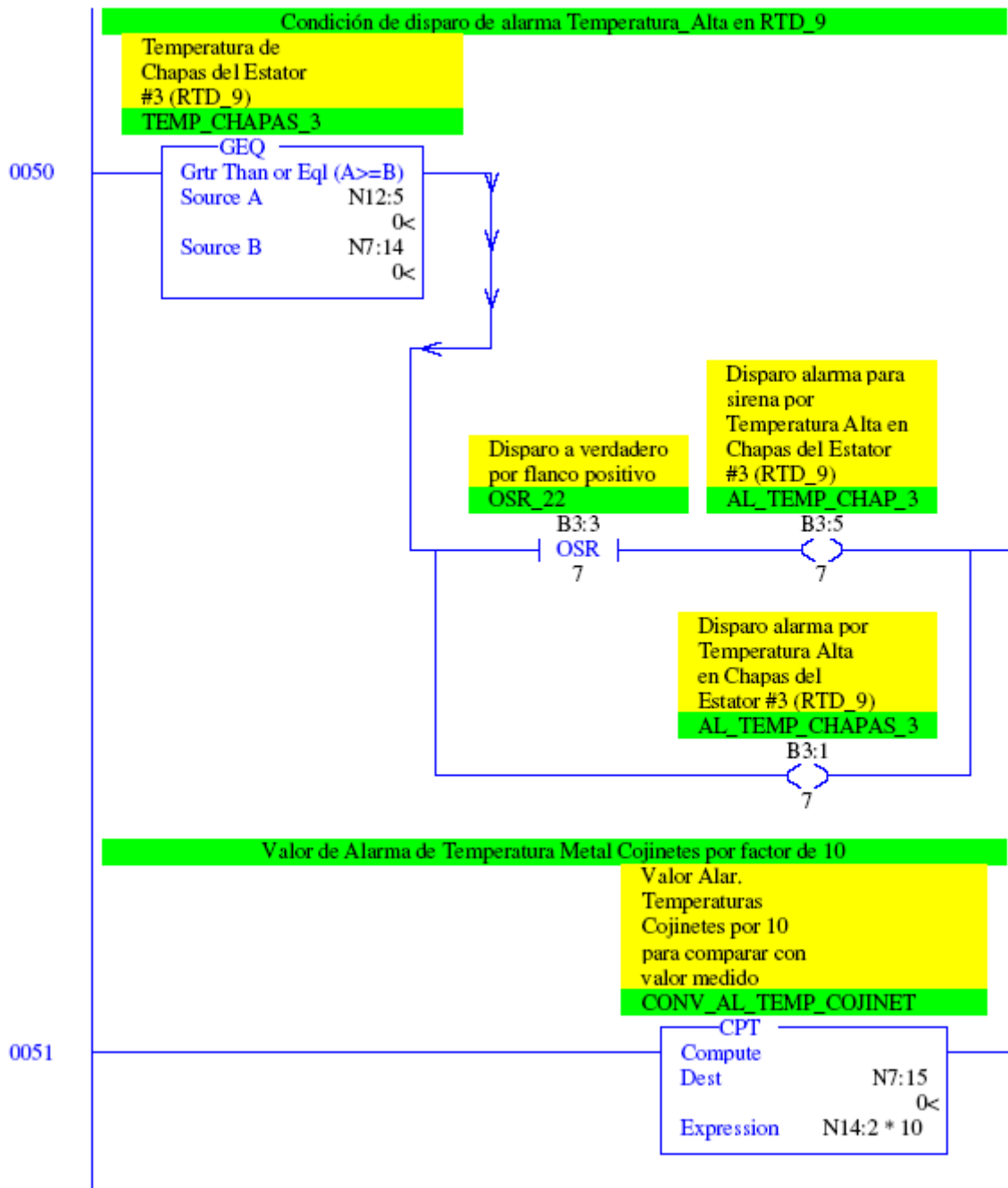


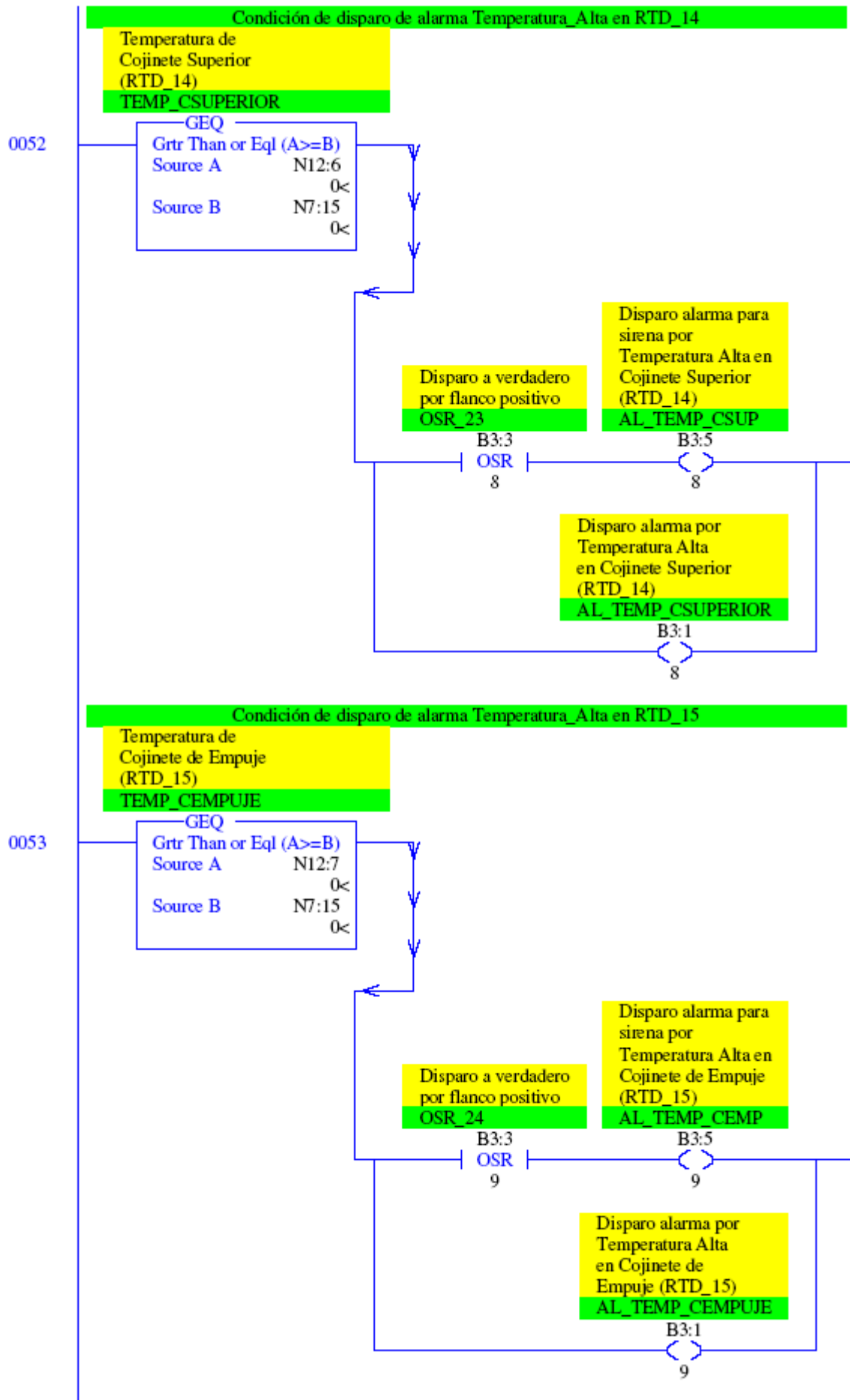


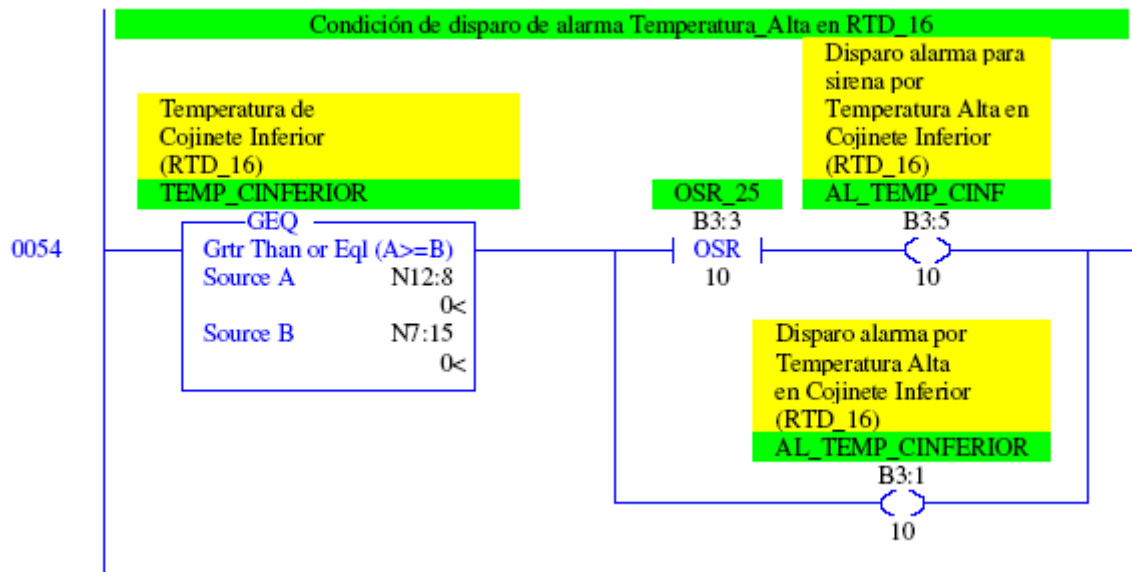


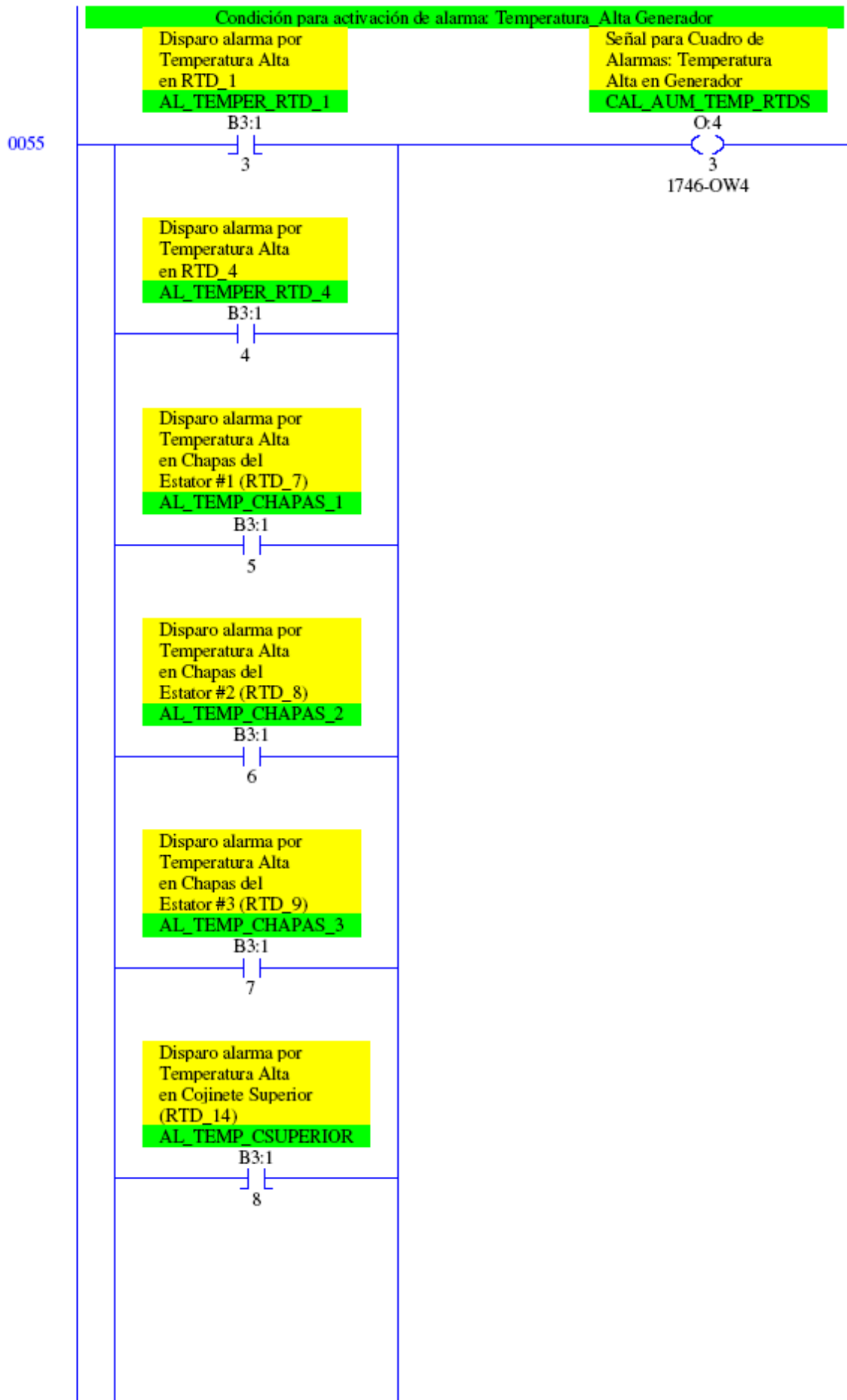


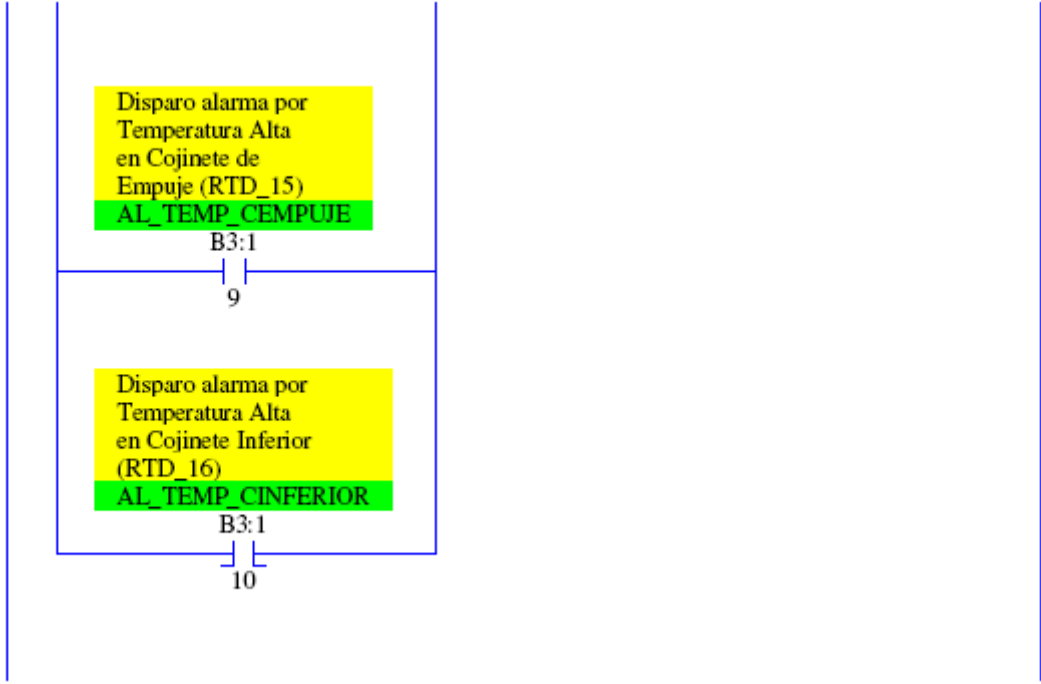


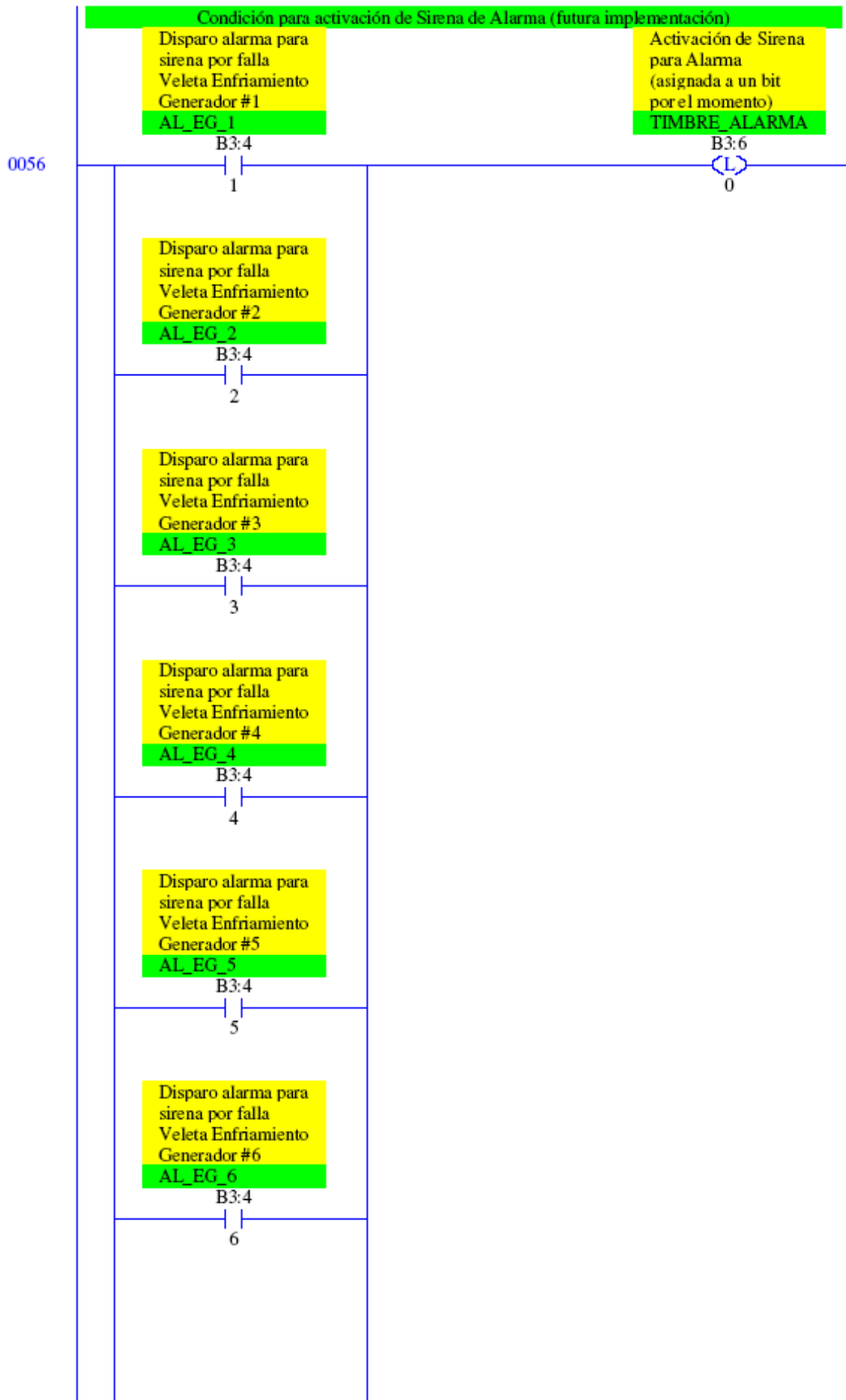


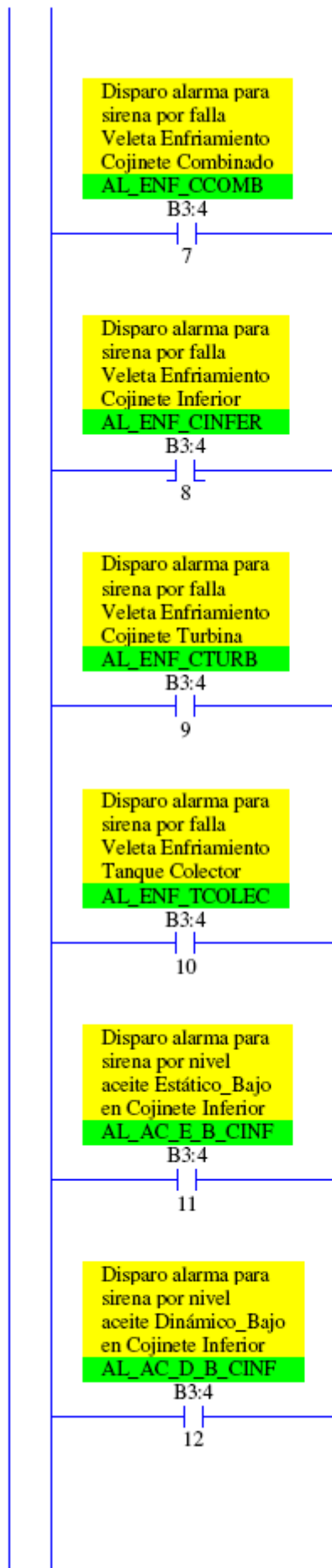


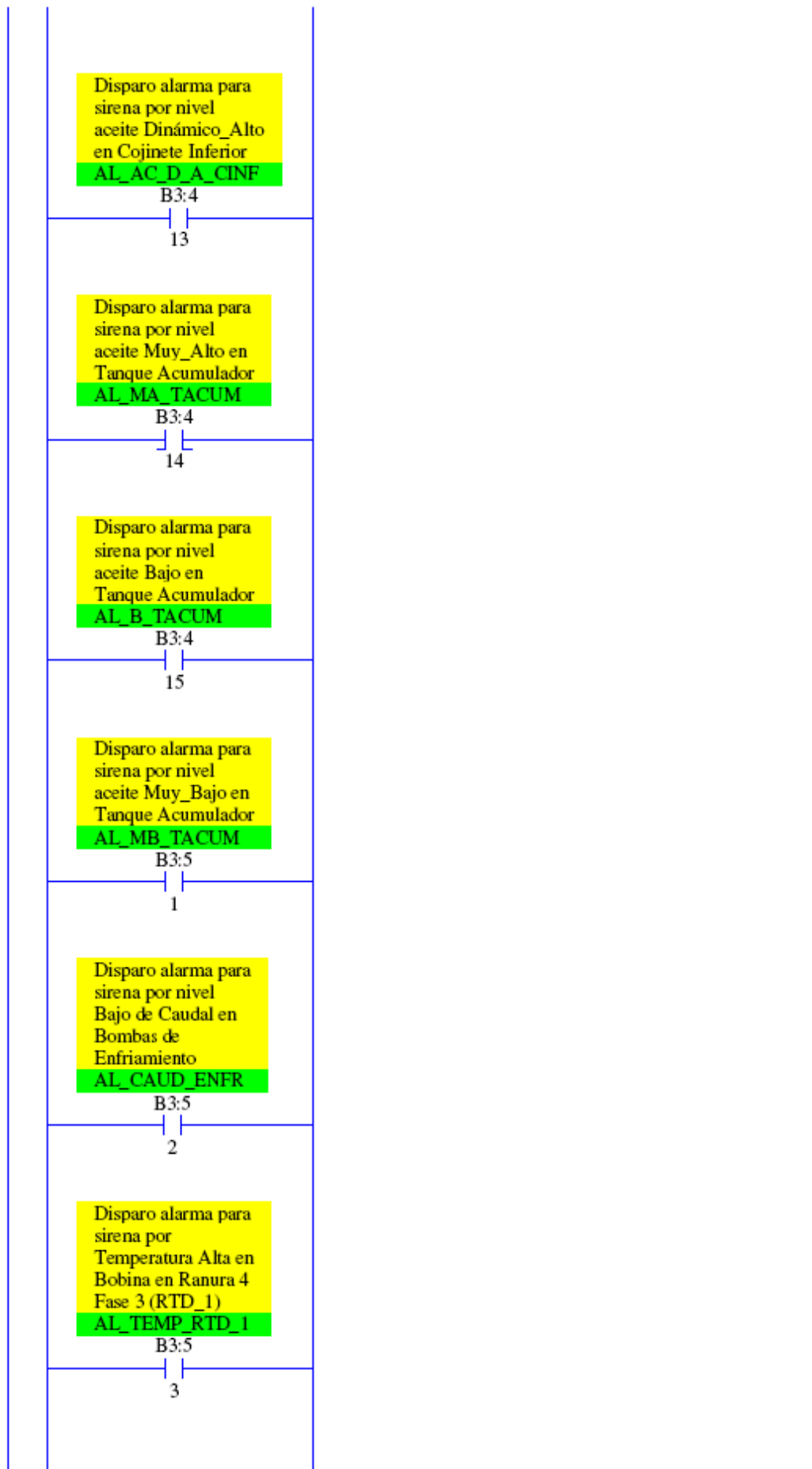


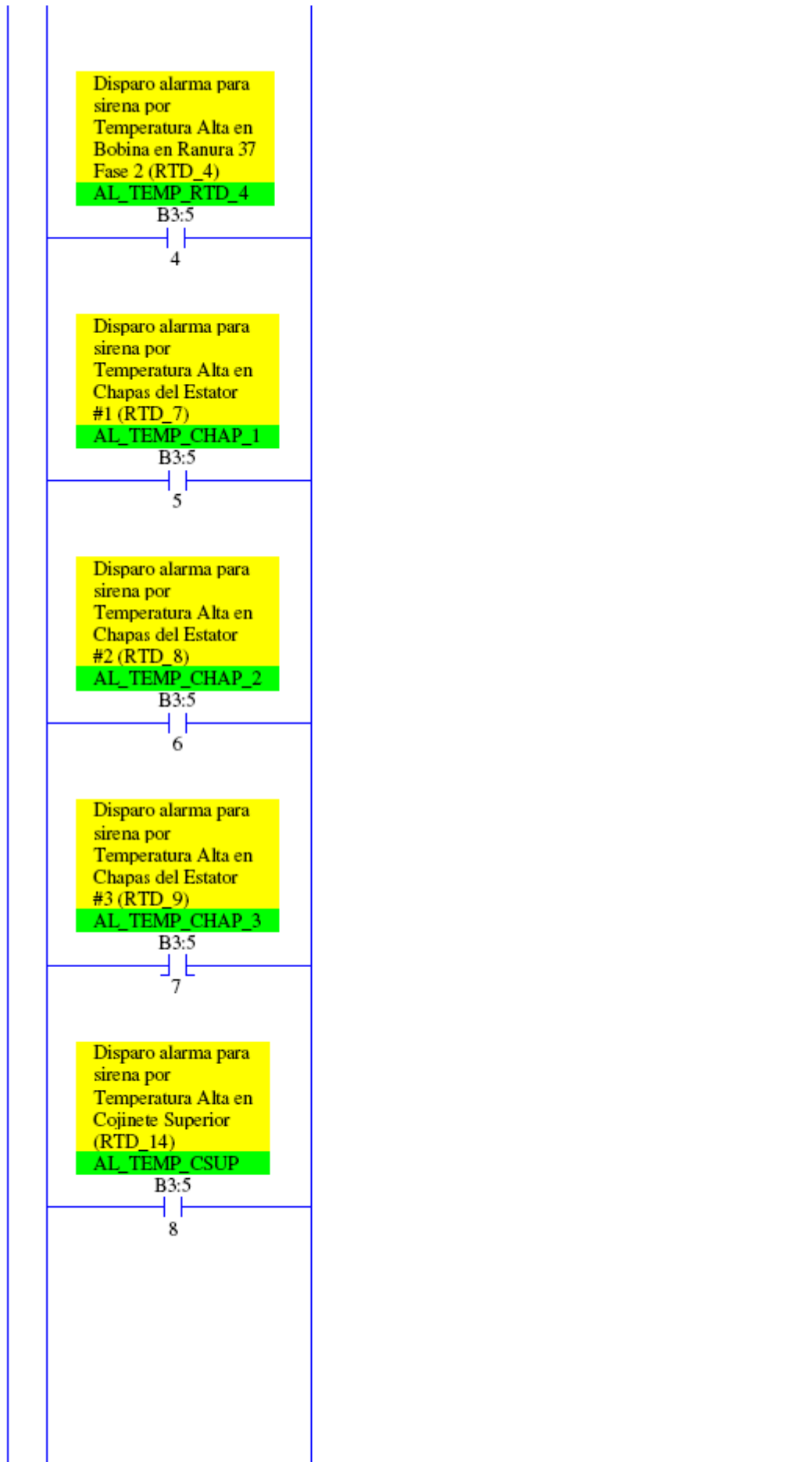


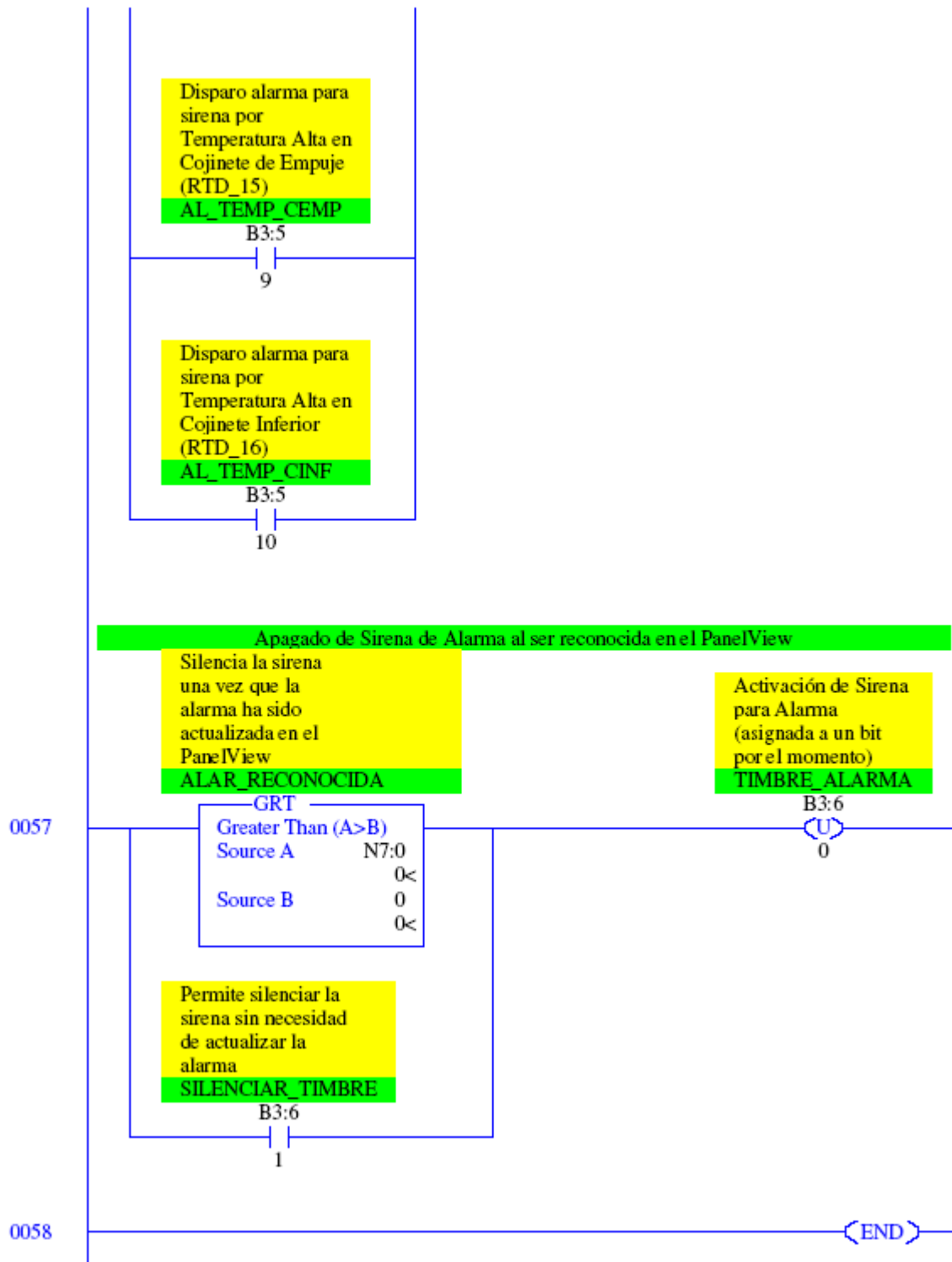












LISTADO DE REFERENCIAS CRUZADAS

RSLogix 500 Cross Reference Report - Sorted by Address

O:4/0 - {CAL_CAUDAL_ENFRIAM} Señal para alarma por Falla Flujo Agua de Enfriamiento (equivale al 63FWP)

OTE - File #2 - 42

O:4/1 - {CAL_AC_DI_ALT_CINFER} Señal para Cuadro de Alarmas: Aceite Dinámico Alto en Cojinete Inferior (4-9/+28/328)

OTE - File #2 - 33

O:4/2 - {CAL_AC_DI_BA_CINFER} Señal para Cuadro de Alarmas: Aceite Dinámico Bajo en Cojinete Inferior (4-7/+27/237)

OTE - File #2 - 32

O:4/3 - {CAL_AUM_TEMP_RTDS} Señal para Cuadro de Alarmas: Temperatura Alta en Generador

OTE - File #2 - 55

I:2/0 - {ENF_GENER_1} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #1 (63FA3)

XIC - File #2 - 0

XIO - File #2 - 2, 3

I:2/1 - {ENF_GENER_2} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #2 (63FA2)

XIC - File #2 - 4

XIO - File #2 - 5, 6

I:2/2 - {ENF_GENER_3} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #3 (63FA1)

XIC - File #2 - 7

XIO - File #2 - 8, 9

I:2/3 - {ENF_GENER_5} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #4 (63FA6)

XIC - File #2 - 13

XIO - File #2 - 14, 15

I:2/4 - {ENF_GENER_4} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #5 (63FA5)

XIC - File #2 - 10

XIO - File #2 - 11, 12

I:2/5 - {ENF_GENER_6} Señal de Veleta Enfriamiento Generador #6 (63FA4)

XIC - File #2 - 16

XIO - File #2 - 17, 18

I:2/6 - {ENF_CCOMBINADO} Señal de Veleta Enfriamiento Cojinete Combinado (63FW3)

XIC - File #2 - 19

XIO - File #2 - 20, 21

I:2/7 - {ENF_CINFERIOR} Señal de Veleta Enfriamiento Cojinete Inferior (63FW2)

XIC - File #2 - 22

XIO - File #2 - 23, 24

I:2/8 - {ENF_CTURBINA} Señal de Veleta Enfriamiento Cojinete Turbina (63FW1)

XIC - File #2 - 25

XIO - File #2 - 26, 27

I:2/9 - {ENF_TCOLECTOR} Señal de Veleta Enfriamiento Tanque Colector (63FWG)

XIC - File #2 - 28

XIO - File #2 - 29, 30

I:2/10 - {ACEI_M_ALTO_TACUM} Señal del sensor de nivel de aceite Muy_Alto en Tanque Colector (33QH4)

XIC - File #2 - 34

XIO - File #2 - 35, 36, 37, 38

I:2/11 - {ACEI_ALTO_TACUM} Señal del sensor de nivel de aceite Alto en Tanque Colector (33QH3X)

XIC - File #2 - 34, 35

XIO - File #2 - 36, 37, 38

I:2/12 - {ACEI_NORMAL_TACUM} Señal del sensor de nivel de aceite Normal en Tanque Colector (33QH2X)

XIC - File #2 - 34, 35, 36

XIO - File #2 - 37, 38

I:2/13 - {ACEI_BAJO_TACUM} Señal del sensor de nivel de aceite Bajo en Tanque Colector (33QL3X)

XIC - File #2 - 38

XIO - File #2 - 34, 35, 36, 37

I:2/14 - {ACEI_MUY_BAJO_TACUM} Señal del sensor de nivel de aceite Muy_Bajo en Tanque Colector (33QL2X)

XIO - File #2 - 34, 35, 36, 37, 38

I:2/15 - {U1_DETENIDA} Indica que U1 está detenida o en estado Estático (Señal del 62BKX)

XIC - File #2 - 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 31

XIO - File #2 - 1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29

I:3/0 - {ACEI_EST_BAJO_CINFER} Señal del sensor de nivel de aceite Estático_Bajo en Cojinete Inferior (33Q2A)

XIC - File #2 - 31

I:3/1 - {ACEI_DIN_ALTO_CINFER} Señal del sensor de nivel de aceite Dinámico_Alto en Cojinete Inferior (33Q2C)

XIO - File #2 - 33

I:3/2 - {ACEI_DIN_BAJO_CINFER} Señal del sensor de nivel de aceite Dinámico_Bajo en Cojinete Inferior (33Q2B)

XIC - File #2 - 32

I:3/3 - {U1_VEL_90} Indica que U1 se encuentra en Estado Dinámico al 90% de velocidad nominal (13-90X)

XIC - File #2 - 32, 33

B3:0/1 - {AL_ENF_GENER_1} Disparo alarma en PanelView por falla Veleta Enfriamiento Generador #1

OTE - File #2 - 0

B3:0/2 - {AL_ENF_GENER_2} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Generador #2

OTE - File #2 - 4

B3:0/3 - {AL_ENF_GENER_3} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Generador #3

OTE - File #2 - 7

B3:0/4 - {AL_ENF_GENER_4} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Generador #4

OTE - File #2 - 10

B3:0/5 - {AL_ENF_GENER_5} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Generador #5

OTE - File #2 - 13

B3:0/6 - {AL_ENF_GENER_6} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Generador #6

OTE - File #2 - 16

B3:0/7 - {AL_ENF_CCOMBINADO} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Cojinete Combinado

OTE - File #2 - 19

B3:0/8 - {AL_ENF_CINFERIOR} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 22

B3:0/9 - {AL_ENF_CTURBINA} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Cojinete Turbina

OTE - File #2 - 25

B3:0/10 - {AL_ENF_TCOLECTOR} Disparo alarma por falla Veleta Enfriamiento Tanque Colector

OTE - File #2 - 28

B3:0/11 - {AL_AC_ES_BAJO_CINFER} Disparo alarma por nivel aceite Estático_Bajo en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 31

B3:0/12 - {AL_AC_DI_BAJO_CINFER} Disparo alarma por nivel aceite Dinámico_Bajo en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 32

B3:0/13 - {AL_AC_DI_ALTO_CINFER} Disparo alarma por nivel aceite Dinámico_Alto en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 33

B3:0/14 - {AL_AC_MA_TACUM} Disparo alarma por nivel aceite Muy_Alto en Tanque Acumulador

OTE - File #2 - 34

B3:1/2 - {AL_CAUD_ENFRIAMIENTO} Disparo alarma por nivel Bajo de Caudal en Bombas de Enfriamiento

OTE - File #2 - 42

B3:1/3 - {AL_TEMPER_RTD_1} Disparo alarma por Temperatura Alta en RTD_1

OTE - File #2 - 46

XIC - File #2 - 55

B3:1/4 - {AL_TEMPER_RTD_4} Disparo alarma por Temperatura Alta en RTD_4

OTE - File #2 - 47

XIC - File #2 - 55

B3:1/5 - {AL_TEMP_CHAPAS_1} Disparo alarma por Temperatura Alta en Chapas del Estator #1 (RTD_7)

OTE - File #2 - 48

XIC - File #2 - 55

B3:1/6 - {AL_TEMP_CHAPAS_2} Disparo alarma por Temperatura Alta en Chapas del Estator #2 (RTD_8)

OTE - File #2 - 49

XIC - File #2 - 55

B3:1/7 - {AL_TEMP_CHAPAS_3} Disparo alarma por Temperatura Alta en Chapas del Estator #3 (RTD_9)

OTE - File #2 - 50

XIC - File #2 - 55

B3:1/8 - {AL_TEMP_CSUPERIOR} Disparo alarma por Temperatura Alta en Cojinete Superior (RTD_14)

OTE - File #2 - 52

XIC - File #2 - 55

B3:1/9 - {AL_TEMP_CEMPUJE} Disparo alarma por Temperatura Alta en Cojinete de Empuje (RTD_15)

OTE - File #2 - 53

XIC - File #2 - 55

B3:1/10 - {AL_TEMP_CINFERIOR} Disparo alarma por Temperatura Alta en Cojinete Inferior (RTD_16)

OTE - File #2 - 54

XIC - File #2 - 55

B3:2/1 - {OSR_1} Disparo a verdadero por flanco positivo

OSR - File #2 - 0

B3:2/2 - {OSR_2} Disparo a verdadero por flanco positivo

OSR - File #2 - 4

B3:2/3 - {OSR_3} Disparo a verdadero por flanco positivo

OSR - File #2 - 7

B3:2/4 - {OSR_4} Disparo a verdadero por flanco positivo

OSR - File #2 - 10

B3:2/5 - {OSR_5} Disparo a verdadero por flanco positivo

OSR - File #2 - 13

B3:2/6 - {OSR_6} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 16

B3:2/7 - {OSR_7} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 19

B3:2/8 - {OSR_8} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 22

B3:2/9 - {OSR_9} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 25

B3:2/10 - {OSR_10} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 28

B3:2/11 - {OSR_11} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 31

B3:2/12 - {OSR_12} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 32

B3:2/13 - {OSR_13} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 33

B3:2/14 - {OSR_14} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 34

B3:3/2 - {OSR_17} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 42

B3:3/3 - {OSR_18} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 46

B3:3/4 - {OSR_19} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 47

B3:3/5 - {OSR_20} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 48

B3:3/6 - {OSR_21} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 49

B3:3/7 - {OSR_22} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 50

B3:3/8 - {OSR_23} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 52

B3:3/9 - {OSR_24} Disparo a verdadero por flanco positivo
OSR - File #2 - 53

B3:3/10 - {OSR_25}

OSR - File #2 - 54

B3:4/1 - {AL_EG_1} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #1

OTE - File #2 - 0

XIC - File #2 - 56

B3:4/2 - {AL_EG_2} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #2

OTE - File #2 - 4

XIC - File #2 - 56

B3:4/3 - {AL_EG_3} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #3

OTE - File #2 - 7

XIC - File #2 - 56

B3:4/4 - {AL_EG_4} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #4

OTE - File #2 - 10

XIC - File #2 - 56

B3:4/5 - {AL_EG_5} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #5

OTE - File #2 - 13

XIC - File #2 - 56

B3:4/6 - {AL_EG_6} Disparo alarma para sirena por falla Veleta Enfriamiento
Generador #6

OTE - File #2 - 16

XIC - File #2 - 56

B3:4/7 - {AL_ENF_CCOMB} Disparo alarma para sirena por falla Veleta
Enfriamiento Cojinete Combinado

OTE - File #2 - 19

XIC - File #2 - 56

B3:4/8 - {AL_ENF_CINFER} Disparo alarma para sirena por falla Veleta
Enfriamiento Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 22

XIC - File #2 - 56

B3:4/9 - {AL_ENF_CTURB} Disparo alarma para sirena por falla Veleta
Enfriamiento Cojinete Turbina

OTE - File #2 - 25

XIC - File #2 - 56

B3:4/10 - {AL_ENF_TCOLEC} Disparo alarma para sirena por falla Veleta
Enfriamiento Tanque Colector

OTE - File #2 - 28

XIC - File #2 - 56

B3:4/11 - {AL_AC_E_B_CINF} Disparo alarma para sirena por nivel aceite
Estático_Bajo en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 31

XIC - File #2 - 56

B3:4/12 - {AL_AC_D_B_CINF} Disparo alarma para sirena por nivel aceite
Dinámico_Bajo en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 32

XIC - File #2 - 56

B3:4/13 - {AL_AC_D_A_CINF} Disparo alarma para sirena por nivel aceite
Dinámico_Alto en Cojinete Inferior

OTE - File #2 - 33

XIC - File #2 - 56

B3:4/14 - {AL_MA_TACUM} Disparo alarma para sirena por nivel aceite Muy_Alto
en Tanque Acumulador

OTE - File #2 - 34

XIC - File #2 - 56

B3:4/15 - {AL_B_TACUM} Disparo alarma para sirena por nivel aceite Bajo en
Tanque Acumulador

XIC - File #2 - 56

B3:5/1 - {AL_MB_TACUM} Disparo alarma para sirena por nivel aceite Muy_Bajo
en Tanque Acumulador

XIC - File #2 - 56

B3:5/2 - {AL_CAUD_ENFR} Disparo alarma para sirena por nivel Bajo de Caudal
en Bombas de Enfriamiento

OTE - File #2 - 42

XIC - File #2 - 56

B3:5/3 - {AL_TEMP_RTD_1} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Bobina en Ranura 4 Fase 3 (RTD_1)

OTE - File #2 - 46

XIC - File #2 - 56

B3:5/4 - {AL_TEMP_RTD_4} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Bobina en Ranura 37 Fase 2 (RTD_4)

OTE - File #2 - 47

XIC - File #2 - 56

B3:5/5 - {AL_TEMP_CHAP_1} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Chapas del Estator #1 (RTD_7)

OTE - File #2 - 48

XIC - File #2 - 56

B3:5/6 - {AL_TEMP_CHAP_2} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Chapas del Estator #2 (RTD_8)

OTE - File #2 - 49

XIC - File #2 - 56

B3:5/7 - {AL_TEMP_CHAP_3} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Chapas del Estator #3 (RTD_9)

OTE - File #2 - 50

XIC - File #2 - 56

B3:5/8 - {AL_TEMP_CSUP} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Cojinete Superior (RTD_14)

OTE - File #2 - 52

XIC - File #2 - 56

B3:5/9 - {AL_TEMP_CEMP} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Cojinete de Empuje (RTD_15)

OTE - File #2 - 53

XIC - File #2 - 56

B3:5/10 - {AL_TEMP_CINF} Disparo alarma para sirena por Temperatura Alta en Cojinete Inferior (RTD_16)

OTE - File #2 - 54

XIC - File #2 - 56

B3:6/0 - {TIMBRE_ALARMA} Activación de Sirena para Alarma (asignada a un bit por el momento)

OTL - File #2 - 56

OTU - File #2 - 57

B3:6/1 - {SILENCIAR_TIMBRE} Permite silenciar la sirena sin necesidad de actualizar la alarma

XIC - File #2 - 57

T4:0 - {TIMER_ENFRIAMIENTO} Retrasa la acción de monitoreo del Sistema de Enfriamiento hasta que se estabilice

TON - File #2 - 1

T4:0/DN - {DELAY_ENFRIAMIENTO} Cambia a estado NC a los 3 min. que arranca la U1

XIC - File #2 - 0, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 42

N7:0 - {ALAR_RECONOCIDA} Silencia la sirena una vez que la alarma ha sido actualizada en el PanelView

GRT - File #2 - 57

N7:1 - {NIVEL_TAN_ACUMULADOR} Setea el valor de nivel de aceite del Tanque Colector para presentar en PanelView

MOV - File #2 - 34, 35, 36, 37, 38

N7:3 - {ENF_GEN_1} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #1 (63FA3)

MOV - File #2 - 0, 2, 3

N7:4 - {ENF_GEN_2} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #2 (63FA2)

MOV - File #2 - 4, 5, 6

N7:5 - {ENF_GEN_3} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #3 (63FA1)

MOV - File #2 - 7, 8, 9

N7:6 - {ENF_GEN_4} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #4 (63FA6)

MOV - File #2 - 10, 11, 12

N7:7 - {ENF_GEN_5} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #5 (63FA5)

MOV - File #2 - 13, 14, 15

N7:8 - {ENF_GEN_6} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Generador #6 (63FA4)

MOV - File #2 - 16, 17, 18

N7:9 - {ENF_CCOMBIN} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Cojinete Combinado (63FW3)

MOV - File #2 - 19, 20, 21

N7:10 - {ENF_CINFER} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Cojinete Inferior (63FW2)

MOV - File #2 - 22, 23, 24

N7:11 - {ENF_CTURB} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Cojinete Turbina (63FW1)

MOV - File #2 - 25, 26, 27

N7:12 - {ENF_TCOLECT} Setea el estado de Veleta Enfriamiento Tanque Colector (63FWG)

MOV - File #2 - 28, 29, 30

N7:13 - {CONV_CAU_ENFRIAM} Valor de la medición de Caudal de Bombas de Enfriamiento en Litros/Minuto

CPT - File #2 - 41

LEQ - File #2 - 42

N7:14 - {CONV_AL_TEMP_ESTATOR} Valor de Alarma de Temperaturas Estator multiplicado por 10 para comparar con el valor medido

CPT - File #2 - 45

GEQ - File #2 - 46, 47, 48, 49, 50

N7:15 - {CONV_AL_TEMP_COJINET} Valor Alar. Temperaturas Cojinetes por 10 para comparar con valor medido

CPT - File #2 - 51

GEQ - File #2 - 52, 53, 54

N9:0 - BTW - File #2 - 39

FILE N9:0 LEN:3 - BTW - File #2 - 39

N9:0/12 - {BTW_ER_1} Indica error en Escritura de Transferencia de Bloque #1 (BTW)

XIO - File #2 - 39

FILE N9:0/12 LEN:3 - BTW - File #2 - 39

N9:0/13 - {BTW_DN_1} Indica realización exitosa en Escritura de Transferencia de Bloque #1 (BTW)

XIO - File #2 - 39

FILE N9:0/13 LEN:3 - BTW - File #2 - 39
N9:10 - BTR - File #2 - 40
FILE N9:10 LEN:3 - BTR - File #2 - 40
N9:10/12 - {BTR_ER_1} Indica error en Lectura de Transferencia de Bloque #1 (BTW)
XIO - File #2 - 40
FILE N9:10/12 LEN:3 - BTR - File #2 - 40
N9:10/13 - {BTR_DN_1} Indica realización exitosa en Lectura de Transferencia de Bloque #1 (BTW)
XIO - File #2 - 40
FILE N9:10/13 LEN:3 - BTR - File #2 - 40
N9:20 - BTW - File #2 - 43
FILE N9:20 LEN:3 - BTW - File #2 - 43
N9:20/12 - {BTW_ER_2} Indica error en Escritura de Transferencia de Bloque #2 (BTW)
XIO - File #2 - 43
FILE N9:20/12 LEN:3 - BTW - File #2 - 43
N9:20/13 - {BTW_DN_2} Indica realización exitosa en Escritura de Transferencia de Bloque #2 (BTW)
XIO - File #2 - 43
FILE N9:20/13 LEN:3 - BTW - File #2 - 43
N9:30 - BTR - File #2 - 44
FILE N9:30 LEN:3 - BTR - File #2 - 44
N9:30/12 - {BTR_ER_2} Indica error en Lectura de Transferencia de Bloque #2 (BTW)
XIO - File #2 - 44
FILE N9:30/12 LEN:3 - BTR - File #2 - 44
N9:30/13 - {BTR_DN_2} Indica realización exitosa en Lectura de Transferencia de Bloque #2 (BTW)
XIO - File #2 - 44
FILE N9:30/13 LEN:3 - BTR - File #2 - 44
N10:0 - {CONFIG_1794_IE8} Configuración para trabajar con 4-20mA.
IMPORTANTE: DEJAR VALOR EN -256
BTW - File #2 - 39

FILE N10:0 LEN:1 - BTW - File #2 - 39
N10:1 - {CONFIG_0_RTD} Dato de configuración de Palabra_0. IMPORTANTE:
DEJAR EN VALOR 0
BTW - File #2 - 43
FILE N10:1 LEN:3 - BTW - File #2 - 43
N11:0 - {CAUDAL_ENFRIAMIENTO} Valor del Caudal en Lts./min. de Bombas de
Enfriamiento U1
CPT - File #2 - 41
BTR - File #2 - 40
FILE N11:0 LEN:8 - BTR - File #2 - 40
N12:0 - BTR - File #2 - 44
FILE N12:0 LEN:9 - BTR - File #2 - 44
N12:1 - {TEMP_RTD_1} Temperatura de Bobina en Ranura 4 Fase 3 (RTD_1)
GEQ - File #2 - 46
FILE N12:1 LEN:8 - BTR - File #2 - 44
N12:2 - {TEMP_RTD_4} Temperatura de Bobina en Ranura 37 Fase 2 (RTD_4)
GEQ - File #2 - 47
FILE N12:2 LEN:7 - BTR - File #2 - 44
N12:3 - {TEMP_CHAPAS_1} Temperatura de Chapas del Estator #1 (RTD_7)
GEQ - File #2 - 48
FILE N12:3 LEN:6 - BTR - File #2 - 44
N12:4 - {TEMP_CHAPAS_2} Temperatura de Chapas del Estator #2 (RTD_8)
GEQ - File #2 - 49
FILE N12:4 LEN:5 - BTR - File #2 - 44
N12:5 - {TEMP_CHAPAS_3} Temperatura de Chapas del Estator #3 (RTD_9)
GEQ - File #2 - 50
FILE N12:5 LEN:4 - BTR - File #2 - 44
N12:6 - {TEMP_CSUPERIOR} Temperatura de Cojinete Superior (RTD_14)
GEQ - File #2 - 52
FILE N12:6 LEN:3 - BTR - File #2 - 44
N12:7 - {TEMP_CEMPUJE} Temperatura de Cojinete de Empuje (RTD_15)
GEQ - File #2 - 53
FILE N12:7 LEN:2 - BTR - File #2 - 44
N12:8 - {TEMP_CINFERIOR} Temperatura de Cojinete Inferior (RTD_16)

GEQ - File #2 - 54

FILE N12:8 LEN:1 - BTR - File #2 - 44

N13:0 - {SET_CAU_ENFRIAMIENTO} Setea el valor mínimo de alarma para Caudal de Bombas de Enfriamiento

LEQ - File #2 - 42

N14:1 - {SET_TEMP_ESTATOR} Setea el valor máximo de alarma para Temperaturas en el Estator

CPT - File #2 - 45

N14:2 - {SET_TEMP_COJINETES} Setea el valor máximo de alarma para Temperaturas en Metal Cojinetes

CPT - File #2 - 51

M0:1.100 - {BUFFER_1} Lleva la información del BTW hacia el módulo 1794-IE8 para configurar sus entradas a 4-20mA

BTW - File #2 - 39

M0:1.300 - {BUFFER_3} Lleva información BTW hacia 1794-IR8 para configurar sus entradas a RTD 10 Ohm Cu

BTW - File #2 - 43

M1:1.200 - {BUFFER_2} Trae información de las entradas del módulo 1794-IE8

BTR - File #2 - 40

M1:1.400 - {BUFFER_4} Trae información de las entradas del módulo 1794-IR8

BTR - File #2 - 44

ANEXO 4: MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO HMI U1

TEMARIO

4.1. INTRODUCCION

4.2. DESCRIPCION DE PANTALLAS DEL HMI

4.3. PANTALLA PRINCIPAL DE ACCESO

4.4. SELECCIÓN DE PANTALLAS

4.5. ENFRIAMIENTO COJINETES

4.6. ENFRIAMIENTO RADIADORES-COLECTOR

4.7. NIVEL TANQUE ACUMULADOR

4.8. TEMPERATURAS GENERADOR

4.9. TEMPERATURAS COJINETES

4.10. NIVEL ACEITE COJINETES

4.11. HISTORICO DE ALARMAS

4.12. RESETEAR HISTORICO DE ALARMAS

4.13. SETEO DE ALARMAS VARIABLES ANALOGICAS

4.14. BANNER O ANUNCIO DE ALARMA ACTIVADA

4.1. INTRODUCCION

El presente Manual de Usuario tiene como propósito orientar en la operación del dispositivo PanelView 1000 en el que se ha implementado el proyecto: Prototipo de HMI (Interfase Persona Máquina) del Sistema de Control de la U1 (Unidad Generadora N°1), y que actualmente se encuentra funcionando en el Tablero Dúplex de Sala de Control en la Central Hidroeléctrica Pucará.

Al momento mediante el dispositivo PanelView 1000 se están monitoreando algunas de las principales variables físicas que intervienen en el Sistema de Control de la U1, tales como: flujo de agua de enfriamiento, nivel de aceite, y temperatura de dispositivos. Este monitoreo se basa en pantallas de interfase gráficas que representan de manera sinóptica la operación de la U1, estando organizadas dichas pantallas según el tipo de variables monitoreadas. Las pantallas del HMI del PanelView son las siguientes:

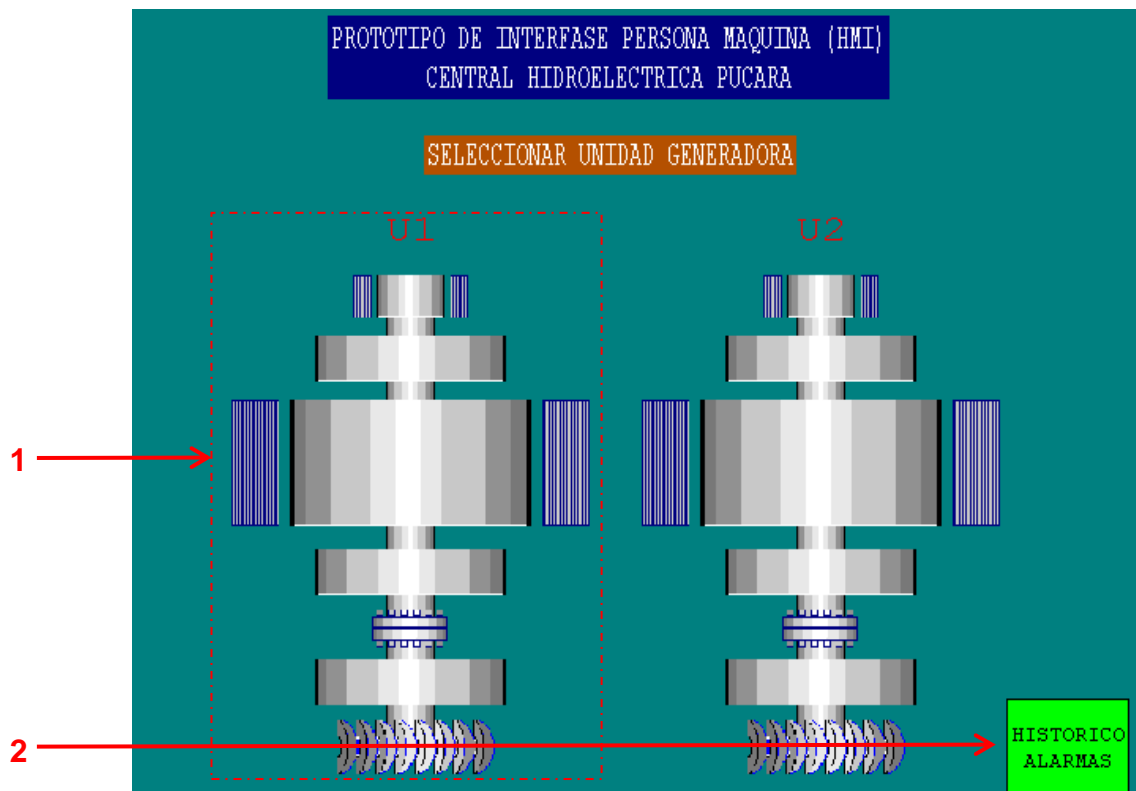
- Pantalla Principal de Acceso
- Selección de Pantallas
- Enfriamiento Cojinetes
- Enfriamiento Radiadores-Colector
- Nivel Tanque Acumulador
- Temperaturas Generador
- Temperaturas Cojinetes
- Nivel de Aceite Cojinetes
- Histórico de Alarmas
- Resetear Histórico
- Seteo de Alarmas Variables Analógicas
- Banner o anuncio de Alarma Activada

La siguiente parte de este manual describe las pantallas del HMI con sus respectivos elementos de visualización y control, los mismos que han sido numerados y acompañados de una flecha indicadora para facilitar su ubicación. En el caso de los elementos de control, la activación de los mismos se realiza

mediante su pulsación sobre el PanelView, pues este dispositivo es tipo Pantalla Táctil (Touch Screen); en cambio los elementos de visualización únicamente presentan un valor o estado del elemento representado.

4.2. DESCRIPCION DE PANTALLAS DEL HMI

4.3. PANTALLA PRINCIPAL DE ACCESO



Anexo 4. Figura 1. Interfase Principal de Acceso

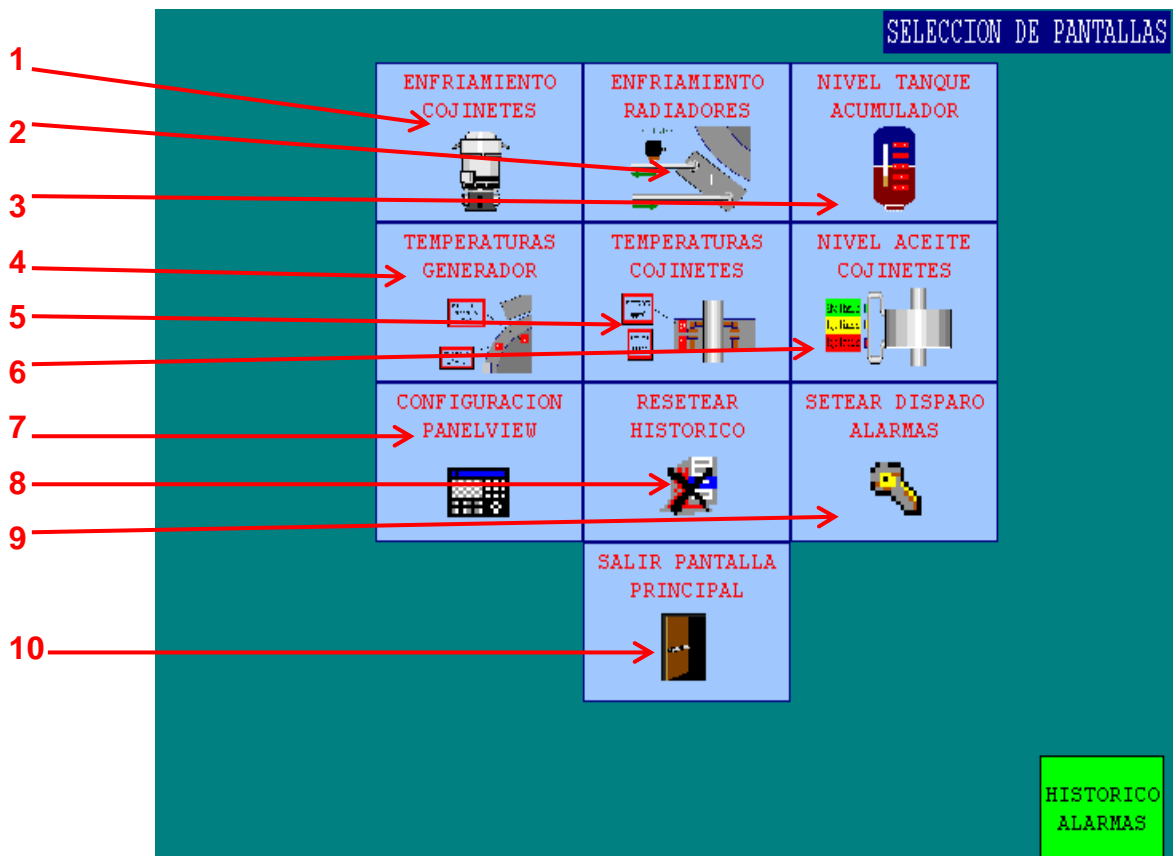
La Figura 1 es la que por defecto aparece primero cada vez que se enciende el PanelView o cuando es seleccionado el control “SALIR PANTALLA PRINCIPAL” en la pantalla “Selección de Pantallas”. En esta pantalla existen dos tipos de elementos:

Elemento N°1: Tipo control y permite el acceso hacia la pantalla “Selección de Sistema” de la U1 ó U2. Sin embargo ya que al momento este proyecto está

centrado únicamente en la U1, al pulsar el control de la U2 se accede a la misma pantalla de la U1.

Elemento N°2: Tipo control y nos permite ir a la pantalla “Histórico de Alarmas”. Su propósito al llevar a dicha pantalla es permitir reconocer de las todas alarmas activas que se encuentran en ese momento mediante el elemento de control “RECONOCER TODAS LAS ALARMAS”. Cabe mencionar que el control “HISTORICO ALARMAS” se encuentra presente también en todas las pantallas restantes para cumplir el propósito ya descrito.

4.4. SELECCIÓN DE PANTALLAS



Anexo 4. Figura 2. Interfase de Selección de Pantallas

Esta pantalla (Figura 2) permite seleccionar las otras pantallas existentes en el HMI del PanelView. Posee los siguientes elementos:

Elemento N°1: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Enfriamiento Cojinetes”.

Elemento N°2: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Enfriamiento Radiadores”.

Elemento N°3: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Nivel Tanque Acumulador”.

Elemento N°4: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Temperaturas Generador”.

Elemento N°5: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Temperaturas Cojinetes”.

Elemento N°6: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Nivel Aceite Cojinetes”.

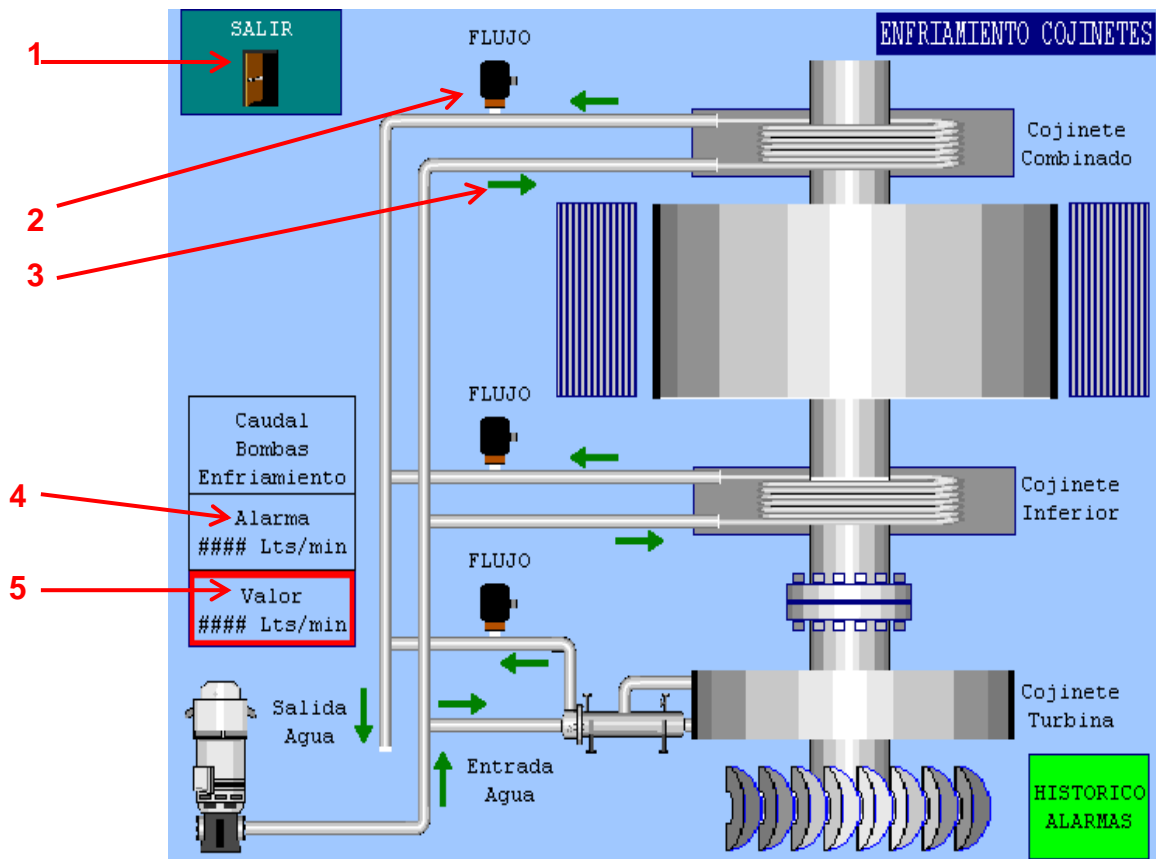
Elemento N°7: Tipo control, permite configurar varios parámetros de funcionamiento del PanelView, tales como: fecha y hora, comunicaciones, idioma, etc. Dichos parámetros han sido configurados previamente para la operación correcta del PanelView, por lo que el personal que lo opera no tiene acceso a esta opción que se encuentra protegida por contraseña, para evitar desconfigurar accidentalmente los parámetros de funcionamiento.

Elemento N°8: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Resetear Histórico”.

Elemento N°9: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Setear Disparo Alarmas”.

Elemento N°10: Tipo control, lleva hacia la Pantalla Principal de Acceso del HMI.

4.5 ENFRIAMIENTO COJINETES






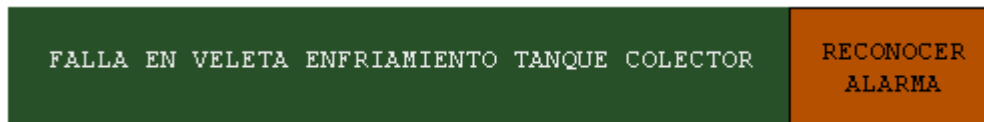
Anexo 4. Figura 3. Pantalla Enfriamiento Cojinetes

La presente pantalla (Figura 3) presenta el estado del sistema de enfriamiento de los cojinetes Combinado, Inferior y Turbina, y también el valor de caudal de las Bombas de Enfriamiento de la U1. Los siguientes elementos se encuentran presentes:

Elemento N°1: Tipo control, lleva hacia la pantalla “Selección de Pantallas”. Este control se encuentra presente también en otras pantallas.

Elemento N°2: Tipo visualización, representado por una veleta que nos ayuda a saber el estado del flujo de agua. Este elemento puede tener tres posibles estados:

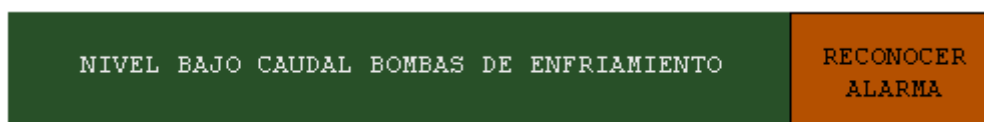
- Inactivo: Se presenta cuando no existe circulación de flujo debido a que la unidad generadora se encuentra detenida y por tanto el sistema de enfriamiento no tiene que funcionar. 
- Flujo: Indica que la circulación de flujo es normal. 
- Falla: Indica una falla en la circulación de agua de enfriamiento mediante la figura que se muestra y que parpadea al mismo tiempo. También produce la activación de una alarma mostrada mediante el anuncio en la que se indica cual veleta ha fallado, por ejemplo “*FALLA EN VELETA ENFRIAMIENTO TANQUE COLECTOR*”. 



Anexo 4. Figura 4. Anuncio de alarma por falla en veleta

Elemento N°3: Tipo visualización, representado por una flecha indicadora de sentido que aparece cuando existe la circulación normal de flujo y desaparece cuando la veleta está en estado inactivo o en estado de falla.

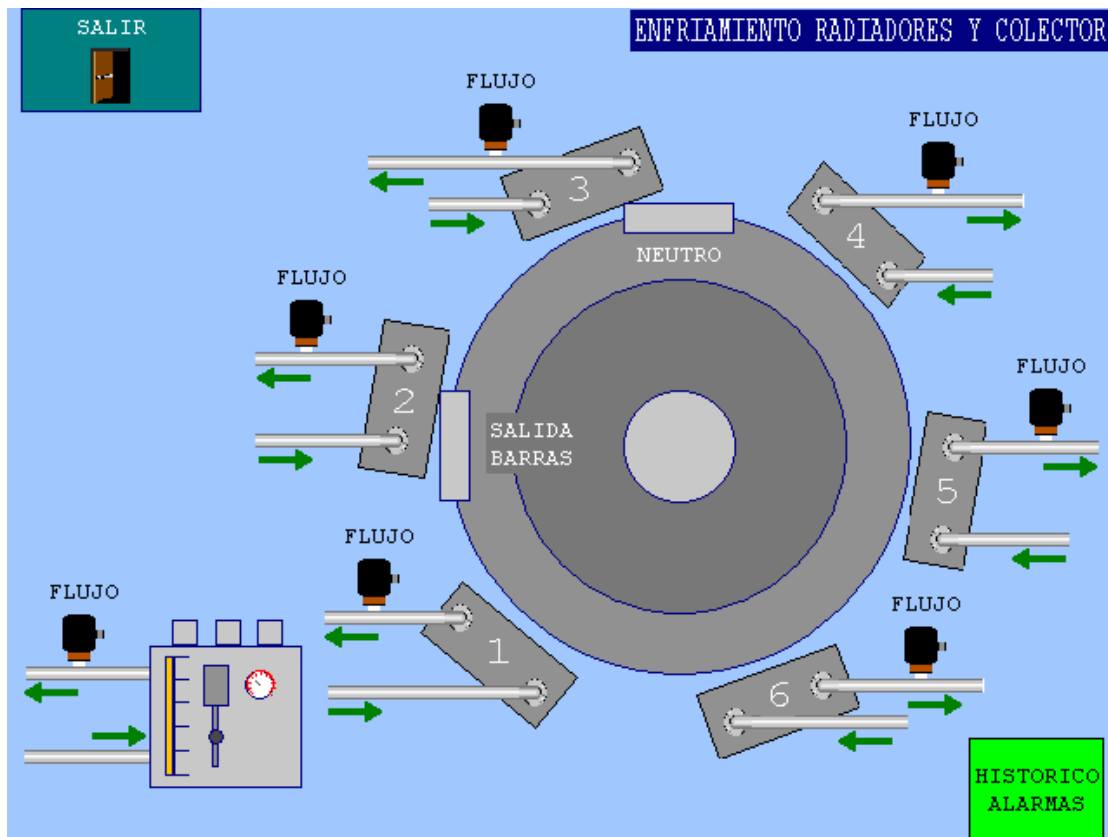
Elemento N°4: Tipo visualización, indica el valor del seteo de la alarma para el Caudal de Bombas de Enfriamiento, es decir, que cuando el valor de caudal medido es menor o igual que el valor de seteo se produce el disparo de la alarma “*NIVEL BAJO CAUDAL BOMBAS DE ENFRIAMIENTO*”.



Anexo 4. Figura 5. Anuncio de alarma por falla en bombas de enfriamiento

Elemento N°5: Tipo visualización, presenta el valor de Caudal de Bombas de Enfriamiento en unidades de Litros/Minuto.

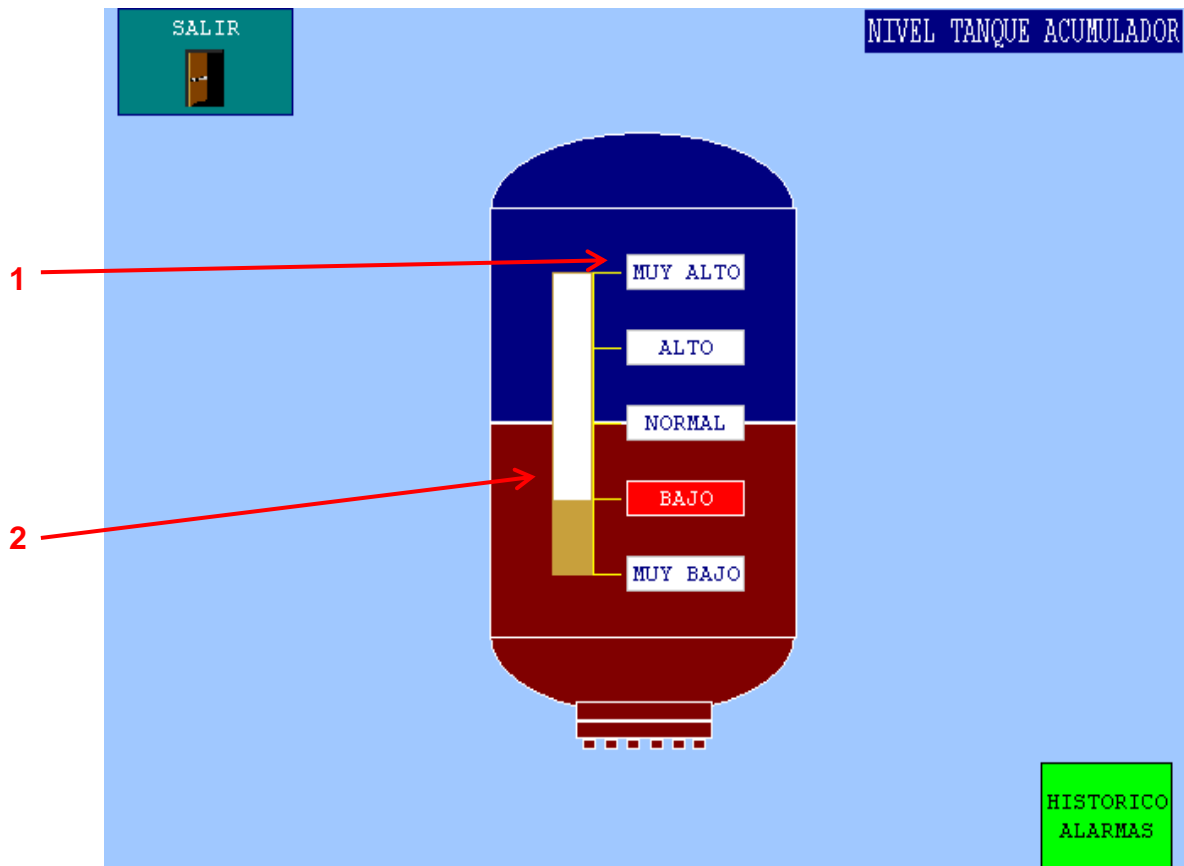
4.6. ENFRIAMIENTO RADIADORES-COLECTOR



Anexo 4. Figura 6. Pantalla Enfriamiento Radiadores y Colector

En esta pantalla (Figura 6) se presenta el estado del sistema de enfriamiento de los seis Radiadores del Generador y del Tanque Colector. De igual manera que la pantalla “Enfriamiento Cojinetes”, se utiliza el elemento tipo veleta para la indicación. En vista que esta pantalla posee casi los mismos elementos de visualización y control que la pantalla “Enfriamiento Cojinetes”, ya no hace falta describirlos.

4.7. NIVEL TANQUE ACUMULADOR



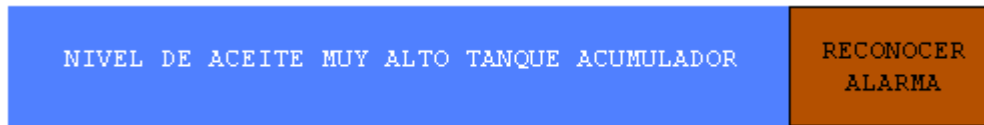
Anexo 4. Figura 7. Pantalla Nivel Tanque Acumulador

En la pantalla indicada (Figura 7) se muestra el nivel del Tanque Acumulador de aceite. Posee dos elementos de visualización propios de esta pantalla:

Elemento N°1: Tipo visualización, son un conjunto de 5 etiquetas que nos indican si el nivel de aceite en el tanque acumulador es: *Muy Alto*, *Alto*, *Normal*, *Bajo* ó *Muy Bajo*. La etiqueta que esté activa se presenta con fondo rojo y texto blanco, mientras que las restantes etiquetas que están desactivas se presentan con fondo blanco y texto azul.

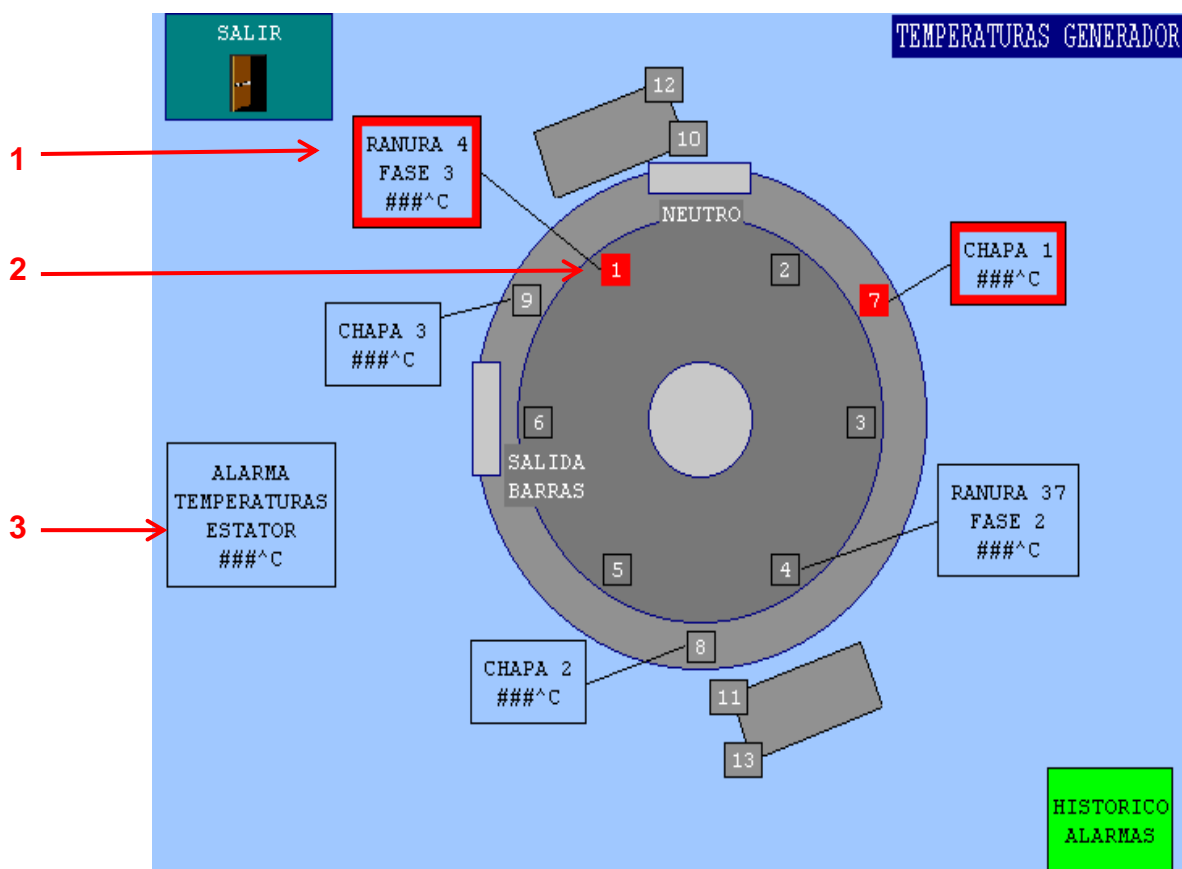
Elemento N°2: Tipo visualización, es una barra indicadora de nivel del aceite en el tanque acumulador y que varía en armonía con la etiqueta de nivel activa. Cuando

el nivel de aceite es *Muy Alto*, se dispara la alarma “*NIVEL DE ACEITE MUY ALTO TANQUE ACUMULADOR*”.



Anexo 4. Figura 8. Anuncio de alarma por falla en nivel de Tanque Acumulador

4.8. TEMPERATURAS GENERADOR



Anexo 4. Figura 9. Pantalla Temperaturas Generador

La pantalla indicada (Figura 9) nos permite monitorear cinco señales de temperatura del generador de la U1 provenientes de sensores RTDs que son: *Ranura 4 Fase 3 (RTD #1)*, *Ranura 37 Fase 2 (RTD #4)*, *Chapa 1 (RTD #7)*, *Chapa 2 (RTD #8)* y *Chapa 3 (RTD #9)*. Los elementos específicos de esta pantalla son:

Elemento N°1: Tipo visualización, nos muestra el valor de temperatura especificado del elemento de la U1 en grados centígrados. Posee dos formatos de presentación:

- Cuando el valor de temperatura medido es menor al de alarma, el indicador tiene fondo celeste y texto color negro.

```
RANURA 4
FASE 3
###^C
```

- Si la temperatura es igual o mayor al valor de alarma el indicador presenta un borde de color rojo adicional.

```
RANURA 4
FASE 3
###^C
```

Elemento N°2: Tipo visualización, indica el número de RTD que se está monitoreando. Puede presentarse en dos formatos:

- Si la temperatura de la RTD es menor al valor de alarma tiene un formato de fondo gris con texto blanco.
- En caso que la temperatura de dicha RTD ha alcanzado el valor de alarma, cambia al formato fondo rojo con texto blanco y empieza a parpadear.

```
1
```

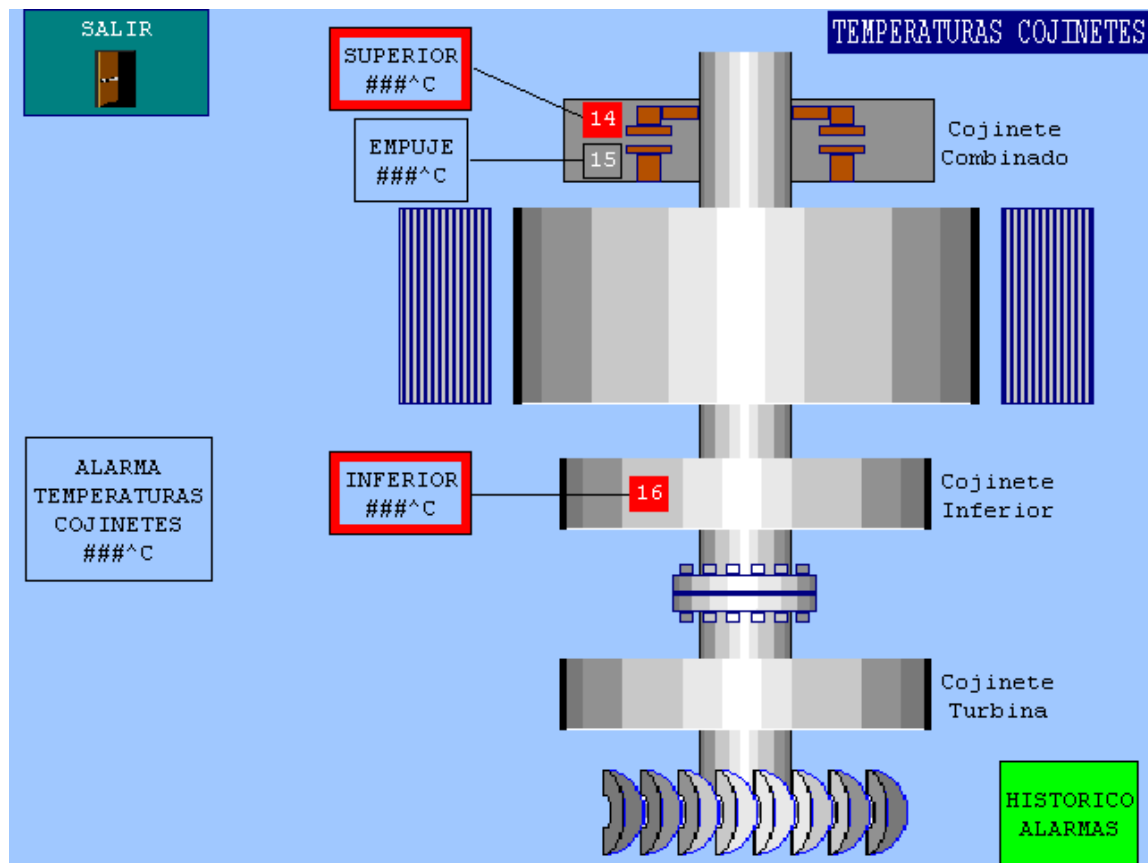
```
1
```

Elemento N°3: Tipo visualización, indica el valor del seteo de alarma para temperaturas del estator que es de 80°C, configurado según el manual de la U1. Entonces cuando el valor de temperatura es igual o mayor que el valor de seteo se produce el disparo de una alarma, por ejemplo “AUMENTO DE TEMPERATURA EN BOBINAS DEL ESTATOR #1”.

AUMENTO DE TEMPERATURA EN BOBINAS DEL ESTATOR #1	RECONOCER ALARMA
--	------------------

Anexo 4. Figura 10. Anuncio de alarma por aumento de temperatura en Estator

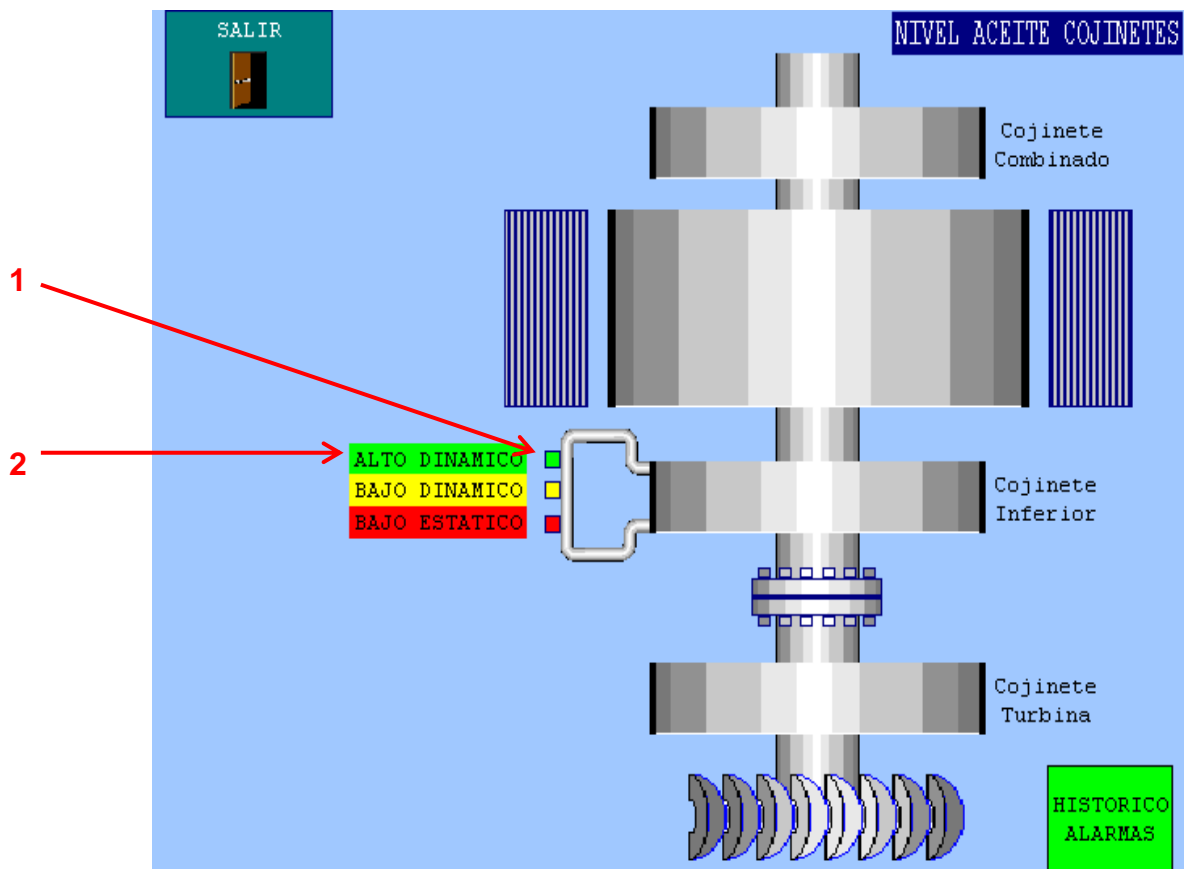
4.9. TEMPERATURAS COJINETES



Anexo 4. Figura 11. Pantalla Temperatura Cojinetes

En esta pantalla (Figura 11) se presenta los valores de temperatura del metal de los cojinetes: Superior, Empuje e Inferior. Los elementos de visualización y control son los mismos que ya fueron descritos en la pantalla “Temperaturas Generador”, excepto que el valor de seteo de alarma es específicamente para metal de cojinetes, el cual ha sido seteado en 70°C según la indicación del manual de la U1.

4.10. NIVEL ACEITE COJINETES



Anexo 4. Figura 12. Pantalla Nivel Aceite Cojinetes

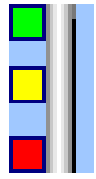
La presente pantalla (Figura 12) nos muestra los niveles de aceite de alarma: *Bajo Estático*, *Bajo Dinámico* y *Alto Dinámico* del Cojinete Inferior Generador. Existe dos tipos de elementos que se utilizan en esta pantalla para indicar el nivel de aceite:

Elemento N°1: Tipo visualización, es un indicador que nos permite identificar el nivel de aceite crítico que se ha presentado en el cojinete. Puede tener dos posibles estados:

- Cuando no está activo nos indica que no existe el nivel de aceite crítico. Se representa como un indicador de color blanco.



- Cuando se ha presentado uno de los niveles críticos de aceite toma el color respectivo de representación. Así para el nivel *Bajo Estático* se muestra de color *Rojo*, para el nivel *Bajo Dinámico* se muestra de color *Amarillo* y para el nivel *Alto Dinámico* se muestra de color *Verde*.



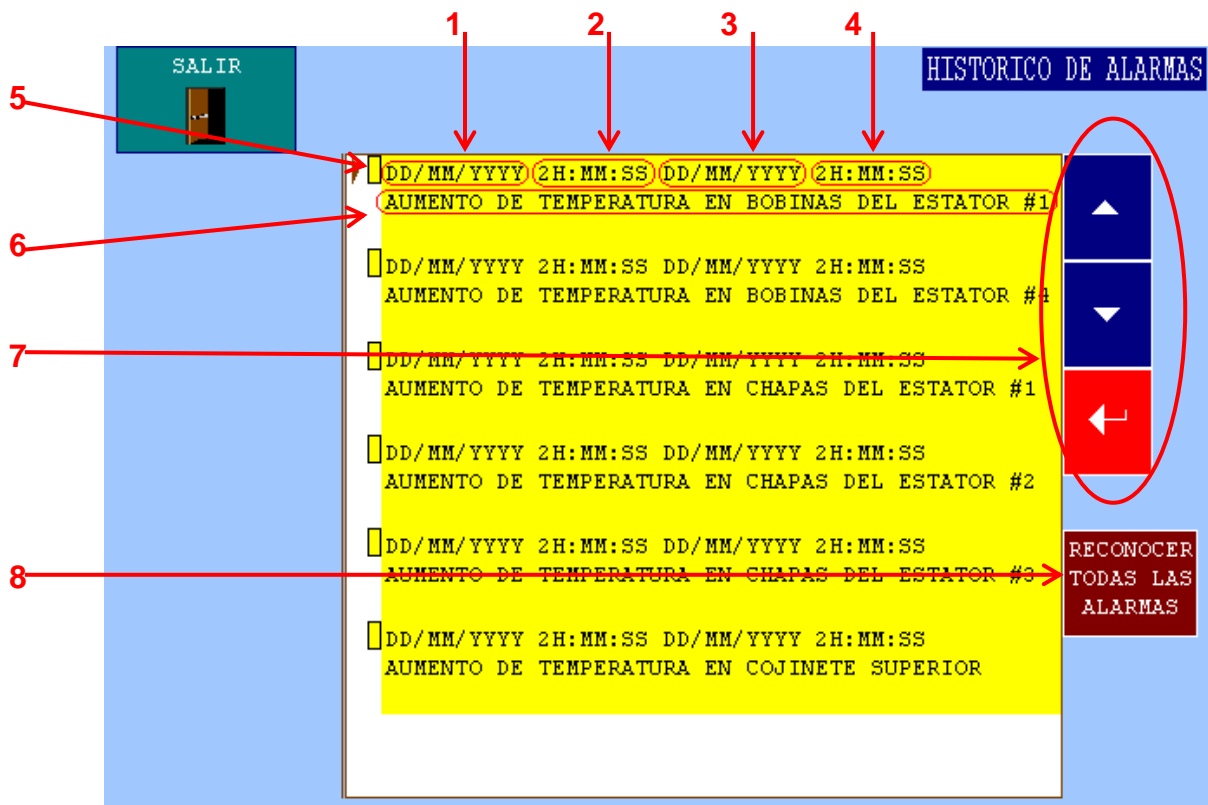
Elemento N°2: Tipo visualización, presenta un mensaje de texto que toma su color de estado activo si se ha presentado el nivel de aceite crítico correspondiente. El mensaje se presenta en los siguientes dos estados:

- Cuando no existe el nivel de aceite indicado, se muestra el mensaje de texto *Alto Dinámico, Bajo Dinámico ó Bajo Estático* con fondo celeste.
- Si se ha presentado el nivel de aceite indicado, se muestra el mensaje de texto *Alto Dinámico, Bajo Dinámico ó Bajo Estático* con fondo de color *Verde, Amarillo ó Rojo* respectivamente.

ALTO DINAMICO

ALTO DINAMICO

4.11. HISTORICO DE ALARMAS



Anexo 4. Figura 13. Pantalla Nivel Aceite Cojinetes

Esta pantalla (Figura 13) nos muestra un listado de las alarmas que se han activado. Puede almacenar hasta 25 alarmas y una vez que se rebasa este límite las alarmas menos recientes se van eliminando para dar paso a las nuevas que se vayan presentando. Siempre las alarmas más recientes se encuentran en la parte superior del listado. Esta pantalla posee los siguientes elementos:

Elemento N°1: Tipo visualización, muestra la fecha en que se disparó la alarma con el formato DD/MM/YYYY (Día/Mes/Año).

Elemento N°2: Tipo visualización, muestra el tiempo en que se disparó la alarma con el formato 2H/MM/SS (Hora/Minuto/Segundo), el cual es de 24 horas (desde 00:00:00 hasta 23:59:59).

Elemento N°3: Tipo visualización, muestra la fecha en que se reconoció la alarma por parte del operador del PanelView, con el formato DD/MM/YYYY (Día/Mes/Año).

Elemento N°4: Tipo visualización, muestra el tiempo en que se reconoció la alarma por parte del operador del PanelView, con el formato 2H/MM/SS (Hora/Minuto/Segundo), él cual es de 24 horas (desde 00:00:00 hasta 23:59:59).

Elemento N°5: Tipo visualización, si la alarma aun no ha sido reconocida se presenta como un cuadro del mismo color de la alarma, y si ya se ha reconocido la alarma se presenta el mismo cuadro pero con una señal de visto (√).

Elemento N°6: Tipo visualización, muestra el nombre de la alarma que se activó. Según al tipo de subsistema al que pertenezca la alarma se muestra el color de fondo de la misma: *Amarillo* para aumento de temperatura, *verde* para falla en sistema de enfriamiento, *canela* para falla en nivel de aceite en cojinetes, *celeste* para falla en nivel de aceite de tanque acumulador.

Elemento N°7: Tipo control, posee tres botones que sirven para lo siguiente:

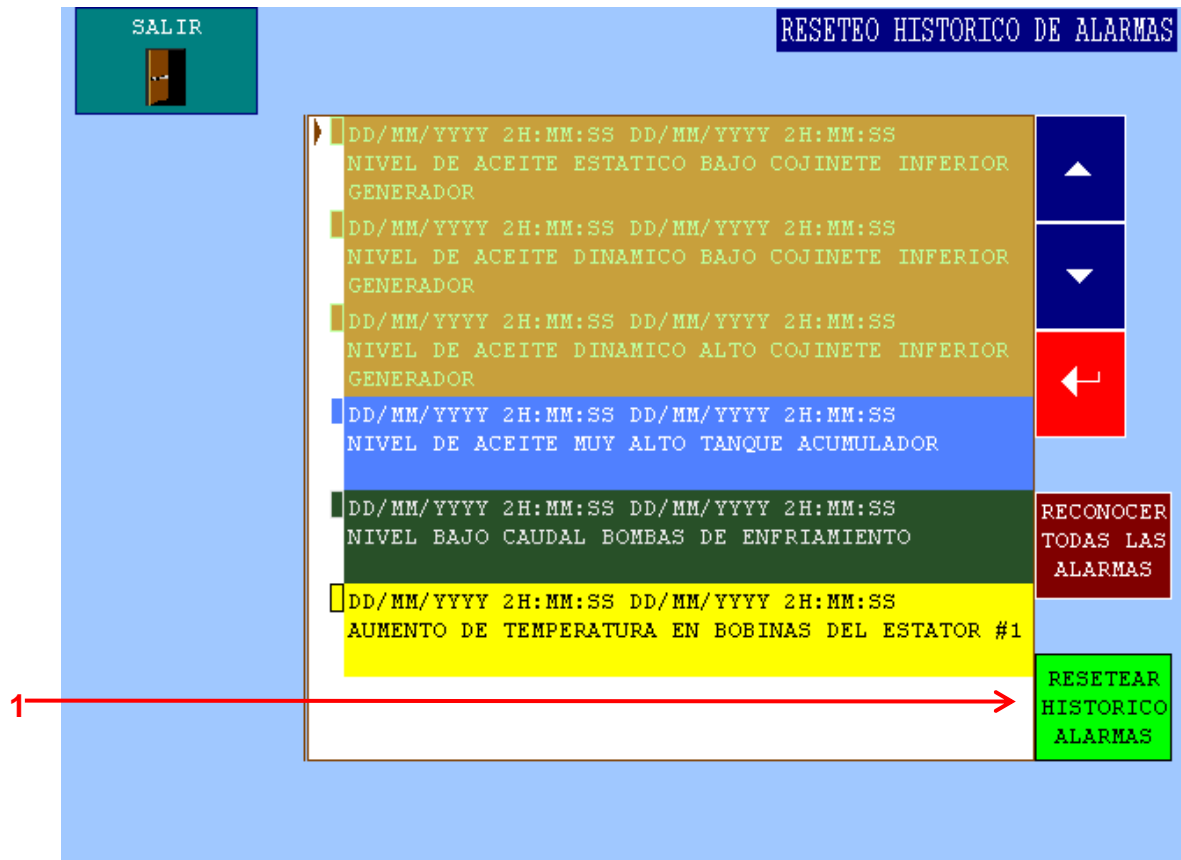
- Desplazarse hacia arriba del listado de histórico de alarmas.
- Desplazarse hacia abajo del listado de histórico de alarmas.
- Reconocer la alarma en la que se encuentra ubicado el cursor en ese momento.



Elemento N°8: Tipo control, permite reconocer todas las alarmas que se encuentren activas en ese momento. Este control es especialmente cuando se han disparado varias alarmas y se quiere evitar ir reconociendo cada una de ellas.

Sin embargo el operador debe tener cuidado de no abusar del uso de esta opción pues siempre se debería tomar en cuenta que alarmas se han ido presentando y no sencillamente reconocerlas sin analizarlas.

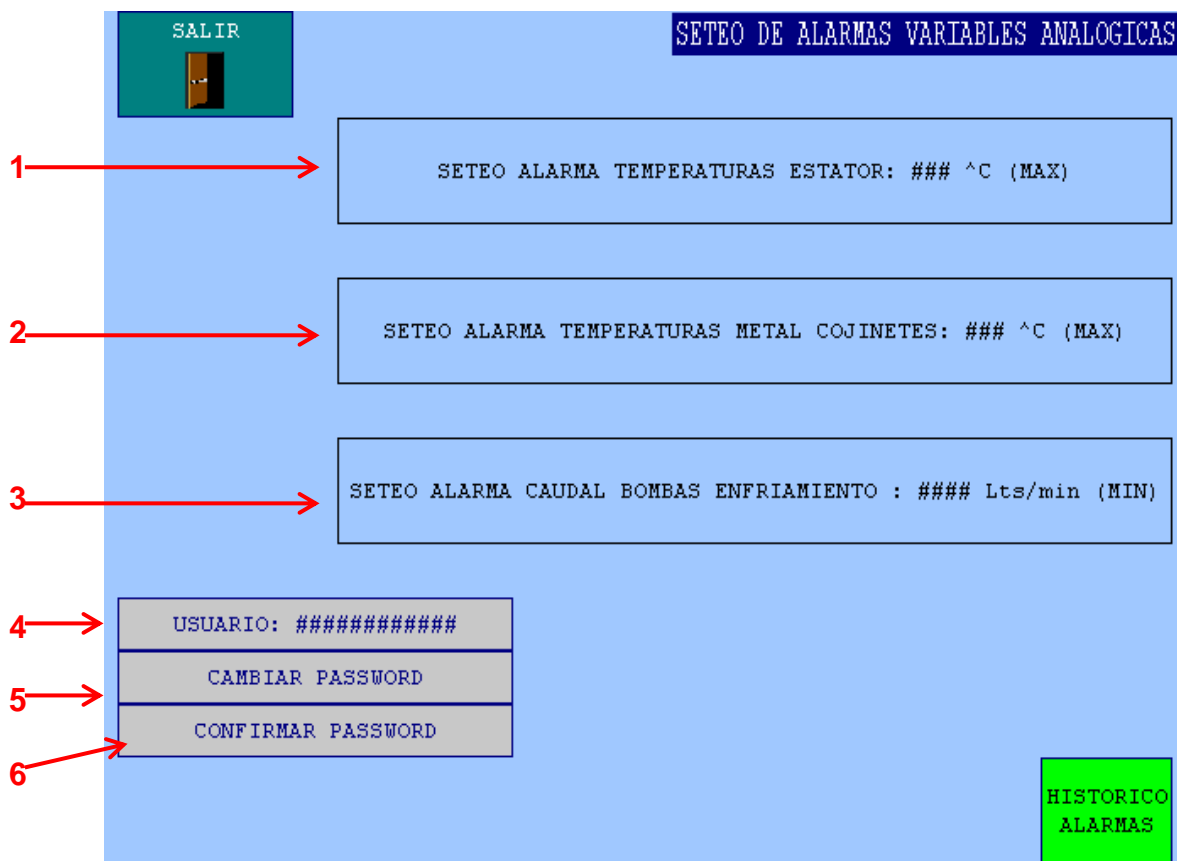
4.12. RESETEAR HISTORICO ALARMAS



Anexo 4. Figura 14. Pantalla Nivel Aceite Cojinetes

La pantalla (Figura 14) de interfase es similar a la pantalla "HISTORICO DE ALARMAS" con la excepción que posee el elemento de control "RESETEAR HISTORICO ALARMAS" (Elemento N°1). Dicho control permite borrar todas las alarmas que se encuentran registradas en el listado. Ahora bien en vista que esta acción causa la perdida de toda la información de activación de alarmas, solo debe ser manipulada por alguien que tenga la debida autorización para hacerlo, razón por la cual el acceso a esta pantalla está restringido mediante contraseña o password.

4.13. SETEO DE ALARMAS VARIABLES ANALÓGICAS



Anexo 4. Figura 15. Pantalla Nivel Aceite Cojinetes

En este interfase (Figura 15) se realiza el seteo de los valores a los cuales se produce el disparo de las alarmas analógicas. Por ser valores críticos que influyen en la activación de las alarmas, el acceso a esta interfase se encuentra protegida por contraseña. En esta pantalla se encuentran los siguientes elementos:

Elemento N°1: Tipo control, permite setear el valor de la alarma para las temperaturas del estator de la U1. Según el manual de la U1, este valor debe ser seteado a 80°C.

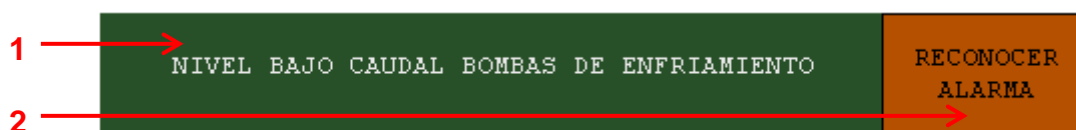
Elemento N°2: Tipo control, permite setear el valor de la alarma para las temperaturas del metal de los cojinetes de la U1. Según el manual de la U1, este valor debe ser seteado a 70°C.

Elemento N°3: Tipo control, permite setear el valor de la alarma para el caudal de las bombas de enfriamiento. Según datos de operación, este valor debe ser seteado a 4500 Lts/min.

Elemento N°4: Tipo control, va presentando los nombres de operadores o usuarios que han sido configurados previamente en la programación del PanelView, y a los que se ha asignado una contraseña para tener acceso a las opciones que se encuentran protegidas en el HMI.

Elemento N°5: Tipo control, permite cambiar la contraseña o password del usuario con la que se ingresó a esta pantalla. En caso de utilizar este control, por defecto el PanelView pedirá confirmar la nueva contraseña, para lo que se utiliza el control “CONFIRMAR PASSWORD” (*Elemento N°6*).

4.14. BANNER O ANUNCIO DE ALARMA ACTIVADA



Anexo 4. Figura 16. Pantalla Nivel Aceite Cojinetes

Este anuncio sirve como mensaje indicador de la activación de una alarma (Figura 16). Posee dos elementos:

Elemento N°1: Tipo indicador, muestra el nombre de la alarma activada. Su color de fondo depende del subsistema al que pertenece la alarma de igual forma como ya se describió para el Histórico de Alarmas.

Elemento N°2: Tipo control, sirve para reconocer la alarma activada. Al pulsar este control se grava en el “Histórico de Alarmas” la hora y fecha en que el operador del equipo detectó la activación de la alarma.

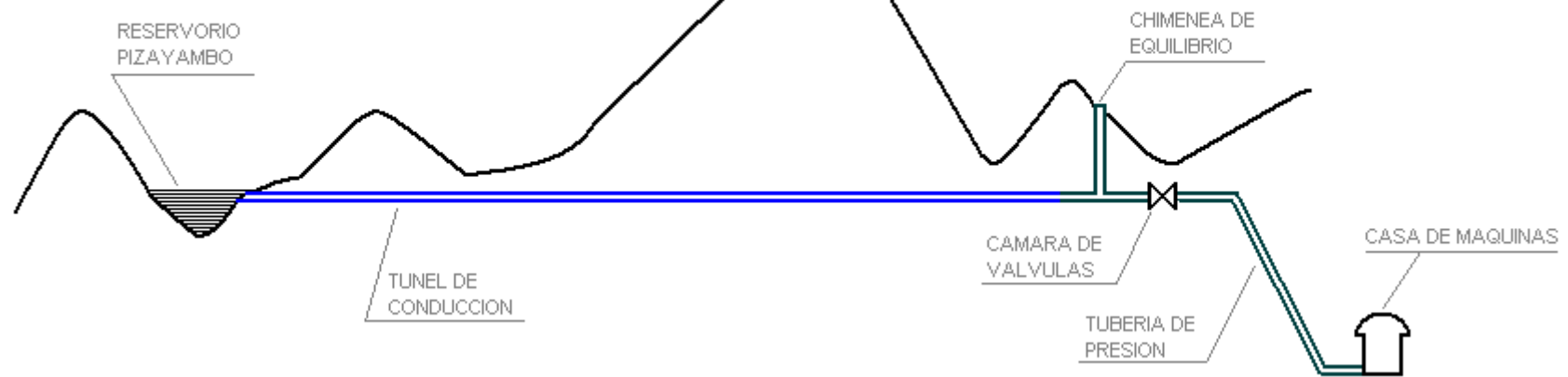
ANEXO 5: PLANOS ELECTRICOS DEL PROYECTO

ANEXO 6: GLOSARIO

AC	Corriente Alterna
Banner	Anuncio o mensaje de alarma en el HMI
CAN	Red de Controladores de Area (Controller Area Network)
CPU	Unidad de Procesamiento Central (Central Process Unit)
CV	Caballos de Vapor
DCS	Sistemas de Control Distribuido (Distributed Control System)
Dinámico	Estado en el cual la unidad generadora se encuentra girando
Download	Descarga de información o programas desde el PC hacia un dispositivo
Estático	Estado en el cual la unidad generadora se encuentra detenida
f.e.m.	Fuerza Electro Motriz
Flex I/O	Módulos de entradas o salidas remotas del PLC
Flujómetro	Dispositivo para medición de flujo
FOW	Enfriamiento con aceite forzado y agua (Forced Oil and Water)
HMI	Interfase Persona Máquina (Human Machine Interface)
Hz	Hertz
I/O	Entradas/Salidas
KVAC	Kilovoltios de corriente alterna
Ladder	Método de programación de dispositivos PLCs, también llamado método de "Escalera"
LPM o Lts./Min.	Litros/Minuto
m³/seg.	Metros cúbicos/segundo
mA	Miliamperios
mbar	Milibares
Mbps	Megabits por segundo
Memograph	Dispositivo de visualización gráfico para representar variables versus tiempo

M.C.M.	Unidad de área del sistema norteamericano de calibres de conductores eléctricos, igual a 1000 circular mils (CM). Actualmente conocida como kCM (kiloCircularMil)
mseg.	Milisegundos
MVA	Mega Volta-Amperios
MW	Megavatios
Oleodinámico	Sistema hidráulico de la unidad generadora
PanelView	Dispositivo de visualización para desarrollar HMIs
PC	Computador personal
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)
Presóstato	Interruptor que actua por condición de presión
Rack	Chasis donde se ubican los módulos del PLC
Radiador	Elemento que enfría la temperatura del líquido circulante
RIO	Red de entradas y salidas remotas (Remote Input Output)
RPMs	Revoluciones por minuto
RSLinx	Software que permite realizar la comunicación entre el PLC y el software de programación RSLogix 500
RSLogix 500	Software de programación Ladder del PLC SLC500
RTDs	Sensor Térmico Resistivo
RTU	Unidad Terminal Remota (Remote Terminal Unit)
Rung	Escalón donde se ubican las instrucciones de programación del PLC
Sala de Control	Sitio desde donde se realiza la operación de las Unidades Generadoras
SCADA	Sistema Supervisorio de Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition)
SLC500	Tipo de familia de PLCs del fabricante Allen Bradley
U1 o U2	Unidad Generadora N°1 o Unidad Generadora N°2
Upload	Descarga de información o programas desde un dispositivo hacia el PC
Vcd	Voltaje Corriente Directa
Veleta	Dispositivo detector de flujo de agua

**ANEXO 7: DIAGRAMA Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ**



Anexo 7. Figura 1. Diagrama de la Central Hidroeléctrica Pucará

CARACTERÍSTICAS CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Laguna Pisayambo

Altitud: 3537 m.s.n.m.

Extensión: 1.8 Km²

Precipitación media anual: 1600 mm

Extensión Global de la Zona de Influencia: 205 Km²

Central Pucará

Altitud: 3094 m.s.n.m.

Precipitación Media Anual: ~1200 mm

Energía Promedio generada anualmente: 310*10⁶ K.W.H.

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

Presas

Tipo: Tierra

Longitud: 820 m

Altura: 41.20 m

Altitud de la Corona: 3569.20 m.s.n.m.

Nivel mínimo operativo: 3541 m.s.n.m.

Nivel máximo operativo: 3565 m.s.n.m.

Longitud del Desague de Fondo: 238 m

Diámetro del Ducto: 2.20 m

Válvula Mariposa: 1 unidad

Válvula Howel Bunger: 1 Unidad

Capacidad útil del embalse: 90*10⁶ m³

Cuencas cooperantes: Río Talatag, Río El Golpe, Río

Quillopaccha, Río Agualongopungo

Capacidad del Vertedero: 250 m³/seg.

Tipo: Fijo en Abanico

Sección Rápida: Rectangular

SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Longitud: 5475 m

Diámetro: 2.60 m

Tipo: Circular

Pendiente: 0.669 %

Capacidad: 18.60 m³/seg.

CHIMENEA DE EQUILIBRIO

Elevación: 117 m

Diámetro Blindaje: 5 m

Diámetro Cilindro Vertical: 3.4 m

Tipo: Diferencial

CÁMARA DE VÁLVULAS

Elevación: 8.60 m

Longitud: 8.40 m

Ancho: 10 m

Diámetro Interior Válvula: 2135 m

Tipo de Válvula: Mariposa

Cierre: Automático

Accesorios: Complejo de BY-PASS

TUBERÍA DE PRESION

Longitud Total: 688.51 m

Longitud tramo Horizontal Superior: 112.24 m

Pendiente: 0.669 %

Longitud Tramo Inclinado: 541.77 m

Pendiente (TG 50°): 119.18 %

Longitud Tramo Horizontal Inferior: 34.50 m

Diámetros: 2.20 m y 1.90 m

Espesores: 3/8" - 1^{3/8}"

Altura Neta de Caída Media: 444 m

CASA DE MÁQUINAS

Longitud: 47.50 m

Ancho: 12 m

Elevación: 25.45 m

Energía Generadora Anual: 310x10⁶ K.W.H.

TURBINAS

Número de Unidades: 2

Tipo: Pelton - 6 Inyectores - Eje Vertical

Potencia cada Unidad: 49600 C.V.

Caudal Nominal cada Unidad: 9.3 m³/seg.

GENERADORES

Número de Unidades: 2

Potencia Nominal cada Unidad: 40000 K.V.A

Factor de Potencia: 0.95

Tensión Nominal: 13.8 KV.

Frecuencia: 60 HZ.

Velocidad Nominal: 514 R.P.M.

TRANSFORMADORES DE ELEVACION

Número de Unidades: 2

Tipo de Enfriamiento: FOW

Capacidad cada Unidad: 40000 K.V.A.

Número de Fases: 3

Número de Devanados: 2

Relación de Transformación: 13.8 KV - 138 KV

Conexiones: DELTA / ESTRELLA

SUBESTACION PUCARÁ

Esquema 138 KV - Barra Principal y Barra de Transferencia

Número de entradas: 2 con Cable 138 KV

Número de Salidas: 2 Líneas 138 KV

LINEA DE TRANSMISION

Pucará - Quito (La Vicentina)

Voltaje: 138 KV

Número de circuitos: 1

Número de Hilos de Guardia: 1

Conductor: 477 M.C.M.

Disposición: Triangular

Longitud: 107 Km

Pucará -Ambato

Voltaje: 138 KV

Número de Circuitos: 1

Número de Hilos de Guardia: 1

Conductor: 477 M.C.M.

Disposición: Triangular

Longitud: 30 Km

BIBLIOGRAFIA

- S. G. MACKAY, “Data Communications for Instrumentation and Control”, Australia 2000
- O. RAMIRO, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Mc. Graw Hill Interamericana, 1^{ra} edición
- HIDROAGOYAN, “Generadores Hidráulicos” – Presentaciones de Reciclaje de Información de la Central Hidroeléctrica Pucará 2004
- J. RODRÍGUEZ , “Instrumentación Industrial“, Latacunga 1999
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “SLC 500 Systems-Bulletin 1746 and 1747-Selection Guide”, USA 2004
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “Visualization Platforms Selection Guide”, USA 2004
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “Remote I/O Scanner User Manual”, USA 2001
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “Remote I/O Adapter User Manual”, USA 2001

- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “Allen Bradley I/O Modules Wiring Diagrams”, USA 2003
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “Getting Results with RSLogix 500”, USA 2001
- ROCKWELL AUTOMATION, Folleto “FLEX I/O and FLEX EX Selection Guide”, USA 2004
- <http://www.eeq.com.ec/generacion/CentralesHidroelectricas>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/micro/micros.html>
- <http://www.textoscientificos.com/energia/centrales-electricas/hidraulicas>

AUTORÍA

Latacunga, Febrero 2007

Elaborado por:

Juan Fernando Balseca Acosta

EL COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA ESPECIALIDAD EN INSTRUMENTACIÓN

Ing. Armando Alvarez

EL SECRETARIO ACADÉMICO DE LA ESPE-L

Ab. Eduardo Vásquez Alcázar