

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERAL**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELÉCTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**LUIS ENRIQUE HUATUCO CAÑARI**

**PROMOCIÓN  
2009- I**

**LIMA – PERÚ  
2013**

**CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE FAJA  
TRANSPORTADORA DE MINERAL**

Quiero dedicar el esfuerzo para la realización de este informe a mis padres y a mi abuelita, por todo el apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi vida.

## SUMARIO

La empresa minera Shougang Hierro Perú inicia sus actividades mineras el año 1993 con equipos de los años 50 donde la lógica de control era mediante relés y cables duros; en tal sentido por la antigüedad de las instalaciones constantemente se presentaban fallas eléctricas y era casi imposible localizarla alargando el tiempo de equipos parados y pérdida de dinero por parada de producción. Se decide entonces automatizar el control de los motores mediante el uso de PLCs por etapas: primero automatizando alrededor de 8 Km. de faja con PLCs SIEMENS y segundo automatizando alrededor de 9 Km. usando PLCs Allen Bradley logrando así la automatización completa de la faja transportadora de alrededor de 17 Km.

Cabe resaltar que la migración de control de motores conllevó a realizar un tendido de fibra óptica (17 Km.) y así eliminar la transmisión de señales mediante cable duro o transmisoras y receptoras de señales por medio de variación de frecuencia que era uno de los principales causantes de fallas eléctricas, también se instalo un sistema de transmisión de señales y datos redundante mediante antenas (inalámbrico) en caso suceda rotura de fibra óptica.

## INDICE

<b>PROLOGO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>2</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
1.1 Controladores lógicos programables PLC's .....	2
1.1.1 Introducción .....	2
1.1.2 Campos de aplicación .....	3
1.1.3 Ventajas e inconvenientes .....	3
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ANTECEDENTES</b>	
<b>DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA MINA SHOUGANG HIERRO PERÚ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Introducción .....	5
2.2 Descripción del sistema eléctrico de la mina .....	5
2.3 Problemática del sistema eléctrico .....	6
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>10</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTROL DE LOS MOTORES</b>	
<b>ELÉCTRICOS DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS .....</b>	<b>10</b>
3.1 Descripción y funcionamiento de las fajas transportadoras .....	10
3.2 Descripción de los motores (Filosofía de control) .....	13
3.2.1 Fajas transportadoras inclinadas (Fajas alemanas) .....	16
3.2.2 Fajas transportadoras horizontales (Fajas japonesas) .....	18
3.2.3 Fajas transportadoras levemente inclinadas .....	22
3.2.4 Apilador móvil (Stacker con fajas 1407 y 1410) .....	25
3.2.5 Alimentadores de mineral .....	26
3.3 Control general de motores .....	27
3.3.1 Casa de supervisión y control de sistema (casa master) .....	27
3.4 Control eléctrico de bombeo de agua salada .....	29
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>31</b>

<b>EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>31</b>
4.1 Sistema eléctrico antiguo.....	31
4.1.1 Tablero de control principal (maestro).....	32
4.1.2 Sistema de control.....	33
4.1.3 Desventajas sistema de comunicación y control antiguo.....	34
4.2 Cambio a sistema eléctrico mediante PLC y Scada.....	34
4.2.1 Primera etapa (PLC Siemens).....	35
4.2.2 Segunda etapa (PLC Allen Bradley).....	39
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>43</b>
<b>SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO, SUPERVISION Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....</b>	<b>43</b>
5.1 Integración del PLC al control eléctrico de fajas (Siemens).....	43
5.1.1 Programación PLC.....	43
5.1.2 Comunicación de PLCs, dispositivo de control y SCADA.....	46
5.1.3 Instrumentación.....	51
5.2 Integración del PLC al control eléctrico de fajas (ALLEN BRADLEY).....	55
5.2.1 Programación PLC.....	55
5.2.2 Software y desarrollo del sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA).....	58
5.2.3 Comunicación de PLCs, dispositivo de control y SCADA.....	62
5.2.4 Instrumentación.....	71
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>100</b>

## PROLOGO

El presente informe tiene como propósito proporcionar información acerca de control de motores eléctricos aplicado al transporte de mineral de un proceso minero (Mina Shougang Hierro Perú) y modernización e incorporación de controladores PLC, componentes de instrumentación, dejando de lado los controles con lógica de relés y/o contactores obteniendo así beneficios como disminución en el mantenimiento, mejoramiento de los procesos, obtención de mayor precisión de datos de las maquinas, disminución del tiempo de localización de fallas eléctricas en el proceso, mayor confiabilidad y eficiencia del sistema de transporte.

Se desarrollo el sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) y así eliminar la visualización que era mediante focos indicadores en un tablero de monitoreo.

En el presente informe se detallan los siguientes capítulos:

El capítulo I, contiene la teoría básica de los PLCs (controlador lógico programable)

El capítulo II, se hace una descripción del sistema eléctrico de la faja transportadora de mineral (sub estaciones eléctricas, motores, diagrama unifilar, etc.), también se realiza una descripción de los antecedentes y problemática que tenía con el sistema de control eléctrico

El capítulo III, se realiza una descripción del control eléctrico de los motores pertenecientes a la faja transportadora (nombramiento de fajas, filosofía de control y control operacional)

El capítulo IV, se realiza un contraste de sistema de control antiguo con el sistema de control mediante el PLC y SCADA así como también el tipo de controladores utilizados

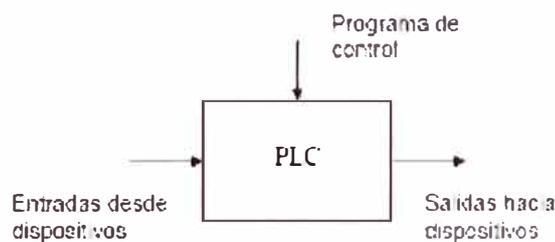
El capítulo V, se realiza una descripción del tipo de programación (Siemens y Allen Bradley), supervisión monitoreo y adquisición de datos mediante el SCADA

## CAPITULO I MARCO TEÓRICO

### 1.1 Controladores lógicos programables PLC's

#### 1.1.1 Introducción

Un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en ingles) se define como un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de configuración de secuencias, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinarias y procesos.



**Fig. 1.4** Controlador lógico

Este tipo de procesos se denomina lógico debido a que su programación básicamente tiene que ver con la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación. Los dispositivos de entrada (por ejemplo, un interruptor) y los dispositivos de salida (por ejemplo, un motor), que están bajo control, se conectan al PLC; de esta manera el controlador monitorea las entradas y salidas, de acuerdo con el programa diseñado por el operador para el PLC y que este conserva en memoria, y de esta manera se controlan máquinas o procesos.

En un principio, el propósito de estos controladores fue sustituir la conexión física de relevadores de los sistemas de control lógicos y de sincronización. Los PLC's tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrear las conexiones de los dispositivos de entrada y de salida; basta con que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondientes.

Si bien los PLC's son similares a las computadoras, tienen características específicas que permiten su empleo como controladores. Estas son:

- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.

- La interfaz para las entradas y las salidas esta dentro del controlador.
- Es muy fácil programarlos, así como entender el lenguaje de programación. La programación básicamente consiste en operaciones de lógica y conmutación.

### **1.1.2 Campos de aplicación**

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplia constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variable
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobra de maquinas
- Maquinarias industriales de plástico
- Maquinarias de embalajes
- Maniobras de instalaciones de aire acondicionado, calefacción, seguridad, etc.
- Señalización y control

### **1.1.3 Ventajas e inconvenientes**

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones me obligan a referirme a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

**a) Ventajas**

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del modulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos lazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni adir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autónomas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias maquinas con un mismo autónoma.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la maquina queda fuera de servicio, el autónoma sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

**b) Inconvenientes**

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día este inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- El costo inicial también puede ser un inconveniente.

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA MINA SHOUGANG HIERRO PERÚ**

#### **2.1 Introducción**

La empresa Shougang Hierro Perú, es una compañía minera dedicada a la extracción y proceso de mineral de hierro, cuyas instalaciones de producción se encuentra ubicado en el Distrito de San Juan de Marcona, Provincia de Nazca, Departamento de Ica.

En este capítulo se realiza una descripción del sistema eléctrico que se emplea para el transporte del mineral y también se describe los problemas que se tenía en el sistema de control.

#### **2.2 Descripción del sistema eléctrico de la mina**

La mina Shougang Hierro Perú, se conecta a la barra de Marcona 60 kV a través de la línea L6629 de 4km de longitud, y consume energía del sistema interconectado y de la C.T. San Nicolas, central que cuenta con tres grupos de generación turbo vapor conectados a la misma barra San Nicolás de 13.8 kV. La función de los grupos térmicos es de regular la tensión de operación de la mina.

En la figura 2.1, se muestra el sistema eléctrico de la mina Shougang y los motores eléctricos que pertenecen al sistema de transporte de mineral están remarcados con cuadro de color rojo

El sistema eléctrico que se utiliza para el transporte del mineral se basa en motores asíncronos, los cuales se conectan a diferentes subestaciones eléctricas pertenecientes a Shougang Hierro Perú, a continuación se describe dichos motores:

- Motor Stacker 300hp – 4.16kV, se alimenta de la subestación eléctrica N° 3 a través de un transformador con ID 364-898.
- Los Motores de la casa 7B-H son de 268hp – 0.48kV, y se alimentan de la subestación eléctrica N° 3 a través de un transformador con ID 364-898
- Los Motores de la casa 6B-H y 7B-T son de 268hp – 0.48kV, se alimentan de la subestación eléctrica N° 3 a través de un transformador con ID 364-898

- Los motores de la casa 3 son de 300hp – 4.16kV, se alimentan de la subestación eléctrica 2B.
- Los motores de la casa 2 son de 300hp – 4.16kV, se alimentan de la subestación eléctrica 2C.
- Los motores de la casa 1 son de 300hp – 4.16kV, se alimentan de la subestación eléctrica 2C.
- Los motores de la casa 1A cabeza son de 268hp – 0.48kV, se alimentan de la subestación eléctrica 2C.
- Los motores de la casa 1A cola son de 268hp – 0.48kV, se alimentan de la subestación eléctrica 1B.
- El motor de la casa planta 2 es de 400hp – 4.16kV, se alimentan de la subestación eléctrica 1B.

En la figura 2.2, se muestran las corrientes, tensiones, potencias en una operación normal del sistema eléctrico de la mina Shougang.

### **2.3 Problemática del sistema eléctrico**

Los controles con lógica de relés y/o contactores eran de grandes dimensiones y de difícil localización de fallas, presentaba poca confiabilidad e ineficiencia del sistema de transporte de mineral.

El propósito del sistema de fajas transportadoras es la búsqueda de eficiencia en el transporte de crudo (material extraído de la mina y no procesado). Esta eficiencia se traduce en un menor costo de operación por tonelada transportada.

Por otra parte, el uso de volquetes para transporte del mineral implica no sólo el costo por adquisición y mantenimiento de los vehículos, si no también más personal a controlar, así como el mantenimiento de las vías.

La inversión inicial para la infraestructura del sistema de fajas es rápidamente recuperada. La producción (transporte de mineral) es en promedio de 2,000 TMS/hora (unos 40,000 en promedio por día). Para ese nivel de producción es impensable otro sistema distinto al de las fajas.

Previa a la modernización, como fue mencionada, el sistema se basaba en tarjetas transmisoras y receptoras de varias frecuencias para enviar señales discretas de control de una casa motriz a otra. Se contaba con un tablero de luces indicadoras que servían para que el operador conociera el estado del sistema. Esto era conocido como “Telecontrol”.

La antigüedad del “Telecontrol” ya no garantizaba la eficiencia mínima del sistema, el cual se establecía en un 95%. Alarmas diversas obligaban a paradas constantes, debido principalmente a la fatiga de los dispositivos de control (contactores, temporizadores, etc.). Las constantes fallas y la falta de un sistema de monitoreo de los estados de los diversos elementos que la conforman, afectaban considerablemente el desempeño de la planta, por no saberse con certeza que o cuales dispositivos eran los que producían la falla.

Dada la longitud del sistema de fajas, este debe ser administrado por etapas. Cada etapa debe contar con su propio sistema de transformación de energía de media tensión, unidades de control de arranque de motores, equipos auxiliares y alumbrado.

La modernización implica el cambio de todo el sistema de control obsoleto manteniendo el sistema de transformación de energía y las unidades de control de arranque de motores, etc. Para ello se recurre a la utilización de PLC’s que trabajan coordinadamente con los PLC’s de las demás etapas, además de nuevos dispositivos de instrumentación. Para la eficiencia del sistema, el funcionamiento de los PLC’s debe ser debidamente programado, basándose en la metodología de transporte del mineral y la interacción entre cada etapa (cada faja).

Para asegurar el flujo de comunicaciones, se hace uso de una red de fibra óptica que fue montado sobre la infraestructura (postes) que proveían Internet y telefonía a las oficinas de la mina; esto fue hecho principalmente porque no se contaba con línea de vista para implementar el enlace inalámbrico. En uno de los tramos se recurre a una redundancia de red (en la pendiente) haciendo uso de un enlace inalámbrico.

Era necesario también centralizar la supervisión de todo el sistema de fajas, ya no mediante tableros, sino recurriendo al uso de PCs en las cuales se habilita y configura a medida un SCADA.

La modernización del sistema de monitoreo y control en la mina Marcona era indispensable para garantizar la expansión de la producción. El modelo implementado podría ser fácilmente escalado, integrado y abierto a futuras modificaciones.



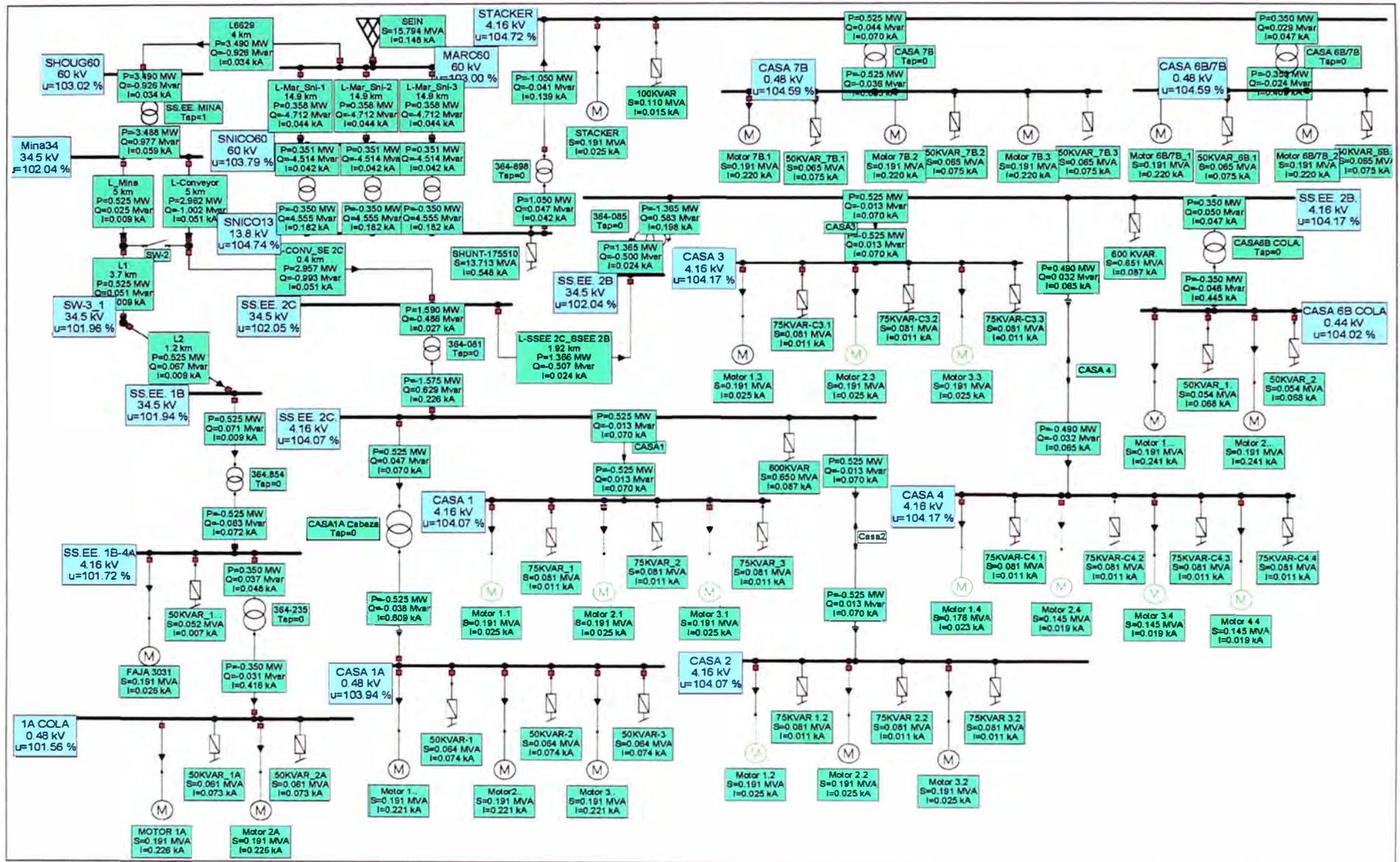


Fig. 2.2 Flujo en operación normal del sistema eléctrico de la mina Shougang [3]

**CAPITULO III**  
**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTROL DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS**

**3.1 Descripción y funcionamiento de las fajas transportadoras**

Las Fajas Transportadoras de mineral (Conveyor) está constituida por 13 casas motrices y 14 fajas transportadoras, tal como se muestra en la figura 3.1, las cuales transportan mineral desde las plantas chancadoras de la mina hasta los depósitos ubicados en la zona de molienda a orillas del mar una distancia aproximadamente de 17 km como se muestra en la figura 3.2.

La denominación y/o nombre de cada una de las casas motrices y cada una de las fajas están especificados en la tabla 3.1

**Tabla 3.1** Relación de Fajas Transportadoras con sus respectivas Casas Motrices

Faja 3031	(*)
Faja 1A	Casa 1A Cola
	Casa 1A Cabeza
Faja C12M	(*)
Faja 1B	Casa 1B Cola
	Casa 1B Cabeza
Faja 1C	Casa 1C
Faja 1	Casa 1
Faja 2	Casa 2
Faja 3	Casa 3
Faja 4	Casa 4
Faja 5	(*)
Faja 6B	Casa 6B Cola
	Casa 6B/7B (**)
Faja 7B	Casa 6B/7B (**)
	Casa 7B Cabeza
Faja 1407	Casa Stacker
Faja 1410	

(\*) Su casa motriz y de control está incorporado a la casa motriz siguiente.

(\*\*) Casa motriz que tiene el control de parte de los motores de 02 fajas también conocido como casa de transferencia.

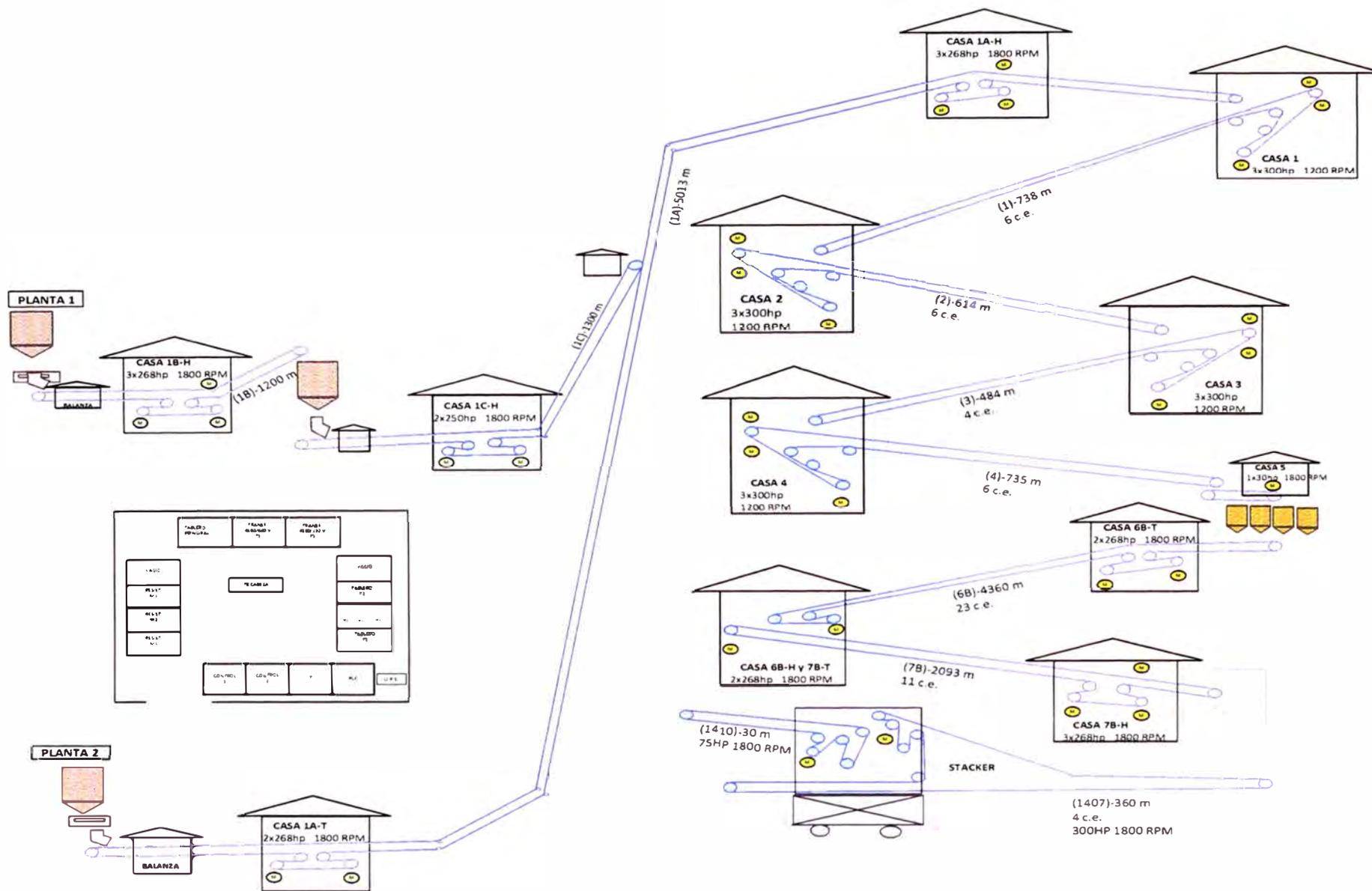


Fig. 3.1 Disposición de casas motrices



Fig. 3.2 Ubicación de faja transportadora mina Shougang Hierro Perú

### 3.2 Descripción de los motores (Filosofía de control)

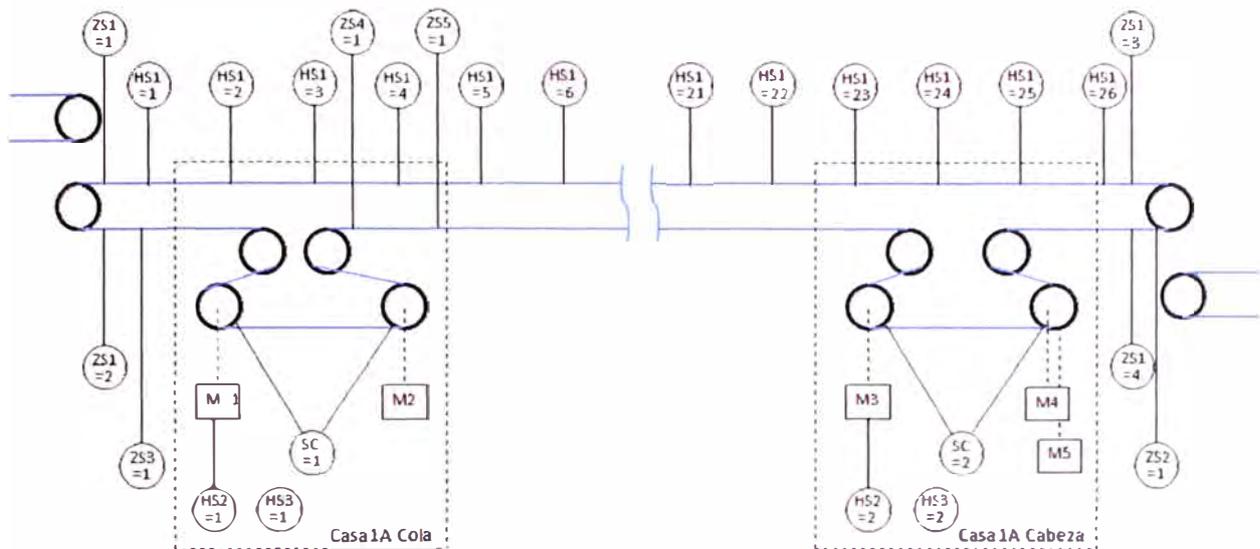


Fig. 3.3 Diagrama de Flujo de Proceso

Las fajas tienen dispositivos de control, tal como se muestra en la figura 3.3 cada una de las cuales se describen de la siguiente manera:

#### a) Switch Faja fuera de línea (ZS1)

Dispositivo en forma de barras dispuestos a ambos lados de la faja tanto en la cola como en la cabeza, de tal manera que si la faja se corre hacia un lado fuera de su centro normal de trabajo, empuja una de las barras accionando un switch de contacto seco, enviando la señal al sistema de control. Este dispositivo genera una falla por faja fuera de línea.

#### b) Switch atoro de chute (ZS2)

Dispositivo instalado en el chute de descarga a la faja siguiente, generalmente se usan switches de inclinación que acciona un switch de contacto seco cuando se produce un rebalse del material transportado dentro del chute de descarga ya sea porque la faja siguiente está detenida o no pasa material a la siguiente faja. Este dispositivo genera una falla por atoro de chute.

#### c) Switch de faja rota (ZS3)

Dispositivo instalado generalmente en la cola de una faja en el lado de retorno dispuesto de tal manera que pueda detectar cuando alguna parte de la faja se ha desprendido o colgado moviendo el mecanismo de detección y accionando un switch de contacto seco. Este dispositivo genera una falla por faja rota.

#### d) Switch de tensor límite mínimo (ZS4)

Switch del tipo final de carrera que es accionado cuando la polea tensora se ha desplazado a una posición dada, detectando un aflojamiento de la faja que pudiera ocasionar

resbalamiento o deterioro prematuro de la faja. En algunas situaciones también se utiliza otro switch para el límite mínimo-mínimo como seguridad en caso el límite principal falle. Este dispositivo genera una falla por límite mínimo tensor.

**e) Switch de tensor límite máximo (ZS5)**

Switch del tipo final de carrera que es accionado cuando la polea tensora se ha desplazado a una posición dada, detectando un tensionado excesivo de la faja que pudiera ocasionar sobreesfuerzos a la faja o desprendimiento de parches y empalmes de la misma. En algunas situaciones también se utiliza otro switch para el límite máximo-máximo como seguridad en caso el límite principal falle. Este dispositivo genera una falla por límite máximo tensor.

**f) Switch de Cuerda de emergencia (HS1)**

Switch de accionamiento y enclavamiento manual distribuido a lo largo de una faja. Estos switches son accionados tirando de una cuerda tendido a un lado de la faja, de tal manera que sea accesible a cualquier trabajador en casos de emergencia. Este dispositivo genera una falla por cuerda jalada.

**g) Switch selector de modo (HS2)**

Switch de tres posiciones fijas; manual, off y automático el cual determina el tipo de arranque de la faja. Este dispositivo genera una alarma cuando el selector está en la posición off.

**h) Switch arranque manual (HS3)**

Switch de una posición fija y dos momentáneas: off, start y stop; utilizado para el arranque y parada de la faja. Este dispositivo no genera fallas o alarmas.

**i) Control de patinamiento (SC)**

Control electrónico diseñado para la detección de resbalamiento o patinamiento de la faja en base a señales enviadas por taco-generadores instalados en las poleas motrices de la faja. La señal enviada al tablero de control es a través de contactos secos activados a diferentes porcentajes de aceleración y/o patinamiento. Este dispositivo genera diversas fallas por patinamiento y sobrevelocidad.

Adicionalmente a los dispositivos de control de campo se tienen diversos accionamientos y controles ubicados dentro de los tableros de control necesarios para la operación de la faja tales como: control de tensionador, contactores principales de motores, tablero de contactores de aceleración de motores, selector de prueba de motores, prueba de alarmas, reseteo de fallas, etc. Todos estos accionamientos y controles generan sus propias fallas y alarmas como falta de confirmación, sobrecargas y diversos estados.

Todos estos elementos de control tanto externos como locales son considerados para una adecuada operación de la faja tanto para determinar las alarmas y fallas del proceso y determinar la secuencia de arranque y parada de la faja.

Para determinar la secuencia de arranque y parada de la faja se debe considerar diversas condiciones o sub-procesos, tales como: la operación del motor tensionador, la activación de la alarma sonora, operación de los frenos, control de voltaje, operación de la compresora principal, secuencia de funcionamiento en modo prueba, entre los más importantes los cuales se pasan a describir:

➤ **Control de motor tensionador**

Involucra la operación automática del tensionador durante la secuencia de arranque y funcionamiento de la faja, asimismo involucra la operación manual del tensionador para procesos de reparación de la faja.

➤ **Control de alarma de arranque y/o falla**

Determina el tipo de operación de la alarma sonora dependiendo del tipo de alarma o falla; por ejemplo cuando se trata de una falla de origen eléctrico, la alarma suena de forma intermitente diferente a si se trata de una falla de origen mecánico.

➤ **Control de frenos**

Involucra la secuencia de apertura y cierre de los frenos. En las casas japonesas se usan frenos que son accionados por motores hidráulicos y cerrados por resorte, mientras que en las casas alemanas se usan frenos accionados por pesas levantadas neumáticamente. En ambos casos se usan diversos switch tipo final de carrera y switch de presión para las confirmaciones de estado de frenos.

➤ **Control de voltaje**

Controla un contactor que alimenta de tensión de control 220-110 voltios a los circuitos de accionamiento y aceleración de los motores. Este contactor se energiza cuando todas las condiciones están dadas y no hay presencia de fallas y alarmas previas al arranque.

➤ **Control de compresora**

Controla el arranque y parada de la compresora principal para la operación de los frenos en el caso de las fajas alemanas.

➤ **Control de secuencia de prueba**

Rutina que se encarga de la prueba de accionamiento de todos los dispositivos que intervienen durante la secuencia de arranque y aceleración de los motores utilizando solamente el voltaje de control y bloqueando la tensión de fuerza de 440 voltios.

El control del proceso tiene como objetivo la operación de la faja de una manera segura, óptima y coordinada con las demás fajas. Para lograr esto se tienen dos subprocesos principales, el control operacional y las paradas de emergencia por fallas y alarmas.

- **Control Operacional:**

Abarca todas las operaciones manuales, continuas y automáticas requeridas para la correcta operación del proceso (descritas anteriormente) y conservación del mismo dentro de secuencias de control manual y control automático.

- **Paradas de emergencia**

La parada de emergencia consiste en la protección contra daños a las personas, equipos, producción y medio ambiente. Las paradas de emergencia, son aquellos acontecimientos que generan la parada de la secuencia de arranque de la faja (descritas anteriormente) en el caso de que esté en funcionamiento, o evita el arranque en caso esté detenida. Las paradas de emergencia son originadas por dispositivos de campo y fallas de confirmación.

A continuación en esta sección se describe la filosofía de control de las fajas, con la finalidad de mostrar la secuencia de funcionamiento incluyendo las secuencias de operación del tensionador, la operación del frenos, los tipos de alarmas y fallas que se puedan presentar y tipos de arranque manual y automático. Estas se agrupan de la siguiente manera; al finalizar la sección se hace un resumen de la operación:

- Fajas Alemanas: Faja 1, Faja 2, Faja 3, Faja 4.
- Fajas Japonesas: Faja 1A, Faja 1B, Faja 6B, Faja 7B.
- Faja 1C.
- Faja 5.
- Faja 1407 y 1410 (Stacker).
- Faja C12M y 3031.
- Alimentadores 1A y 1B.

### **3.2.1 Fajas transportadoras inclinadas (Fajas alemanas)**

Dentro del total de fajas transportadora se encuentran las fajas transportadoras inclinadas que son: faja 1, faja 2, faja 3 y faja 4. El proceso de arranque y parada se describe a continuación:

#### **a) Control Operacional**

El control operacional es descrito en cinco sub secciones:

##### **a.1) Condiciones previas al arranque**

En primer lugar se debe garantizar la correcta operación del sistema neumático de frenos, para esto se debe arrancar el compresor de aire y confirmar la presión de aire adecuada del sistema mediante el monitoreo de presostatos de 45 lb. y 75 lb. (e51, e58, e151, e158, e52, e59). Confirmado esto se energizarán las válvulas para levantar las campanas de freno (s21, s24, s27).

### **a.2) Control de voltaje**

Una vez que se cumplen las condiciones previas, y que no se tenga ninguna falla o alarma que genere parada de emergencia, y que se tenga señal de control de voltaje de la Casa 1, se energizará el voltaje de control propio de la casa (c16). Esta servirá para la energización de los equipos involucrados en la operación de la faja.

### **a.3) Arranque manual**

Con el control de voltaje energizado, el selector local de modo en la posición MANUAL, la secuencia de arranque se inicia accionándose el selector local (b51b\_STR) en START y se detiene con el selector local en STOP. La faja también se detiene si alguna parada de emergencia es accionada.

### **a.4) Arranque automático**

Con el control de voltaje energizado, el selector local de modo en la posición AUTO, la secuencia de arranque se iniciará si y sólo si la faja aguas abajo está encendida en modo automático, la secuencia se detendrá si la faja aguas abajo se detiene u ocurre una parada de emergencia en la propia casa. Cuando una parada de emergencia suceda será necesario “resetear” la falla.

### **a.5) Secuencia de arranque**

Se clasifica desde el Paso 0 hasta el Paso 5:

#### **Paso 0**

Se abre las zapatas de freno (válvulas s23, s26, s29), una por cada motor.

#### **Paso 1**

Se confirman los frenos abiertos por intermedio de microswitch (b41, b42, b43), luego se activa el contactor principal del motor 1 (c11).

#### **Paso 2**

Se confirma la velocidad del motor 1 al 50% (u31), luego se activa el primer banco de resistencia (c21).

#### **Paso 3**

Se confirma la velocidad del motor 1 al 81% (u31), y se activa el banco de resistencia (c22).

#### **Paso 4**

Se confirma la velocidad del motor 1 al 95% (u31), luego se activa el tercer banco de resistencia (c23). También se activa el contactor principal del motor 2 (c12) y del motor 3 (c19).

#### **Paso 5**

Se confirma la velocidad de la faja al 95% (u31), luego se activa la confirmación de secuencia para la faja anterior (aguas arriba).

#### **b) Paradas de emergencia**

Las siguientes son los principales eventos que motivan una parada de emergencia:

- Falla de confirmación de presostatos de frenos (e51, e58, e151, e158, e52, e59).
- Falla de velocidad 50% (u31) después de 20 segundos.
- Falla de velocidad 81% (u31) después de 20 segundos.
- Falla de velocidad 95% (u31) después de 20 segundos.
- Falla por faja fuera de línea paso 1 (cola).
- Falla por faja fuera de línea paso 2 (cabeza).
- Falla por atoro de chute.
- Falla por cuerda jalada (pull cord).
- Falla por patinamiento.
- Falla por faja rota.
- Falla por sobrevelocidad.
- Falla por sobrecarga motor 1.
- Falla por sobrecarga motor 2.
- Falla por sobrecarga motor 3.
- Falla por sobrecarga de compresor.
- Falla por parada de emergencia.

#### **3.2.2 Fajas transportadoras horizontales (Fajas japonesas)**

Dentro del total de fajas transportadora se encuentran las fajas transportadoras horizontales que son: Faja 1A, Faja 1B, Faja 6B y Faja 7B. El proceso de arranque y parada se describe a continuación:

#### **a) Control Operacional**

Se analiza en cinco subsecciones en las cuales se describe el proceso de arranque y parada de los motores de las fajas japonesas.

A continuación se muestra la secuencia de arranque de la faja (figura 3.4).

## Memoria descriptiva de casa Alemana

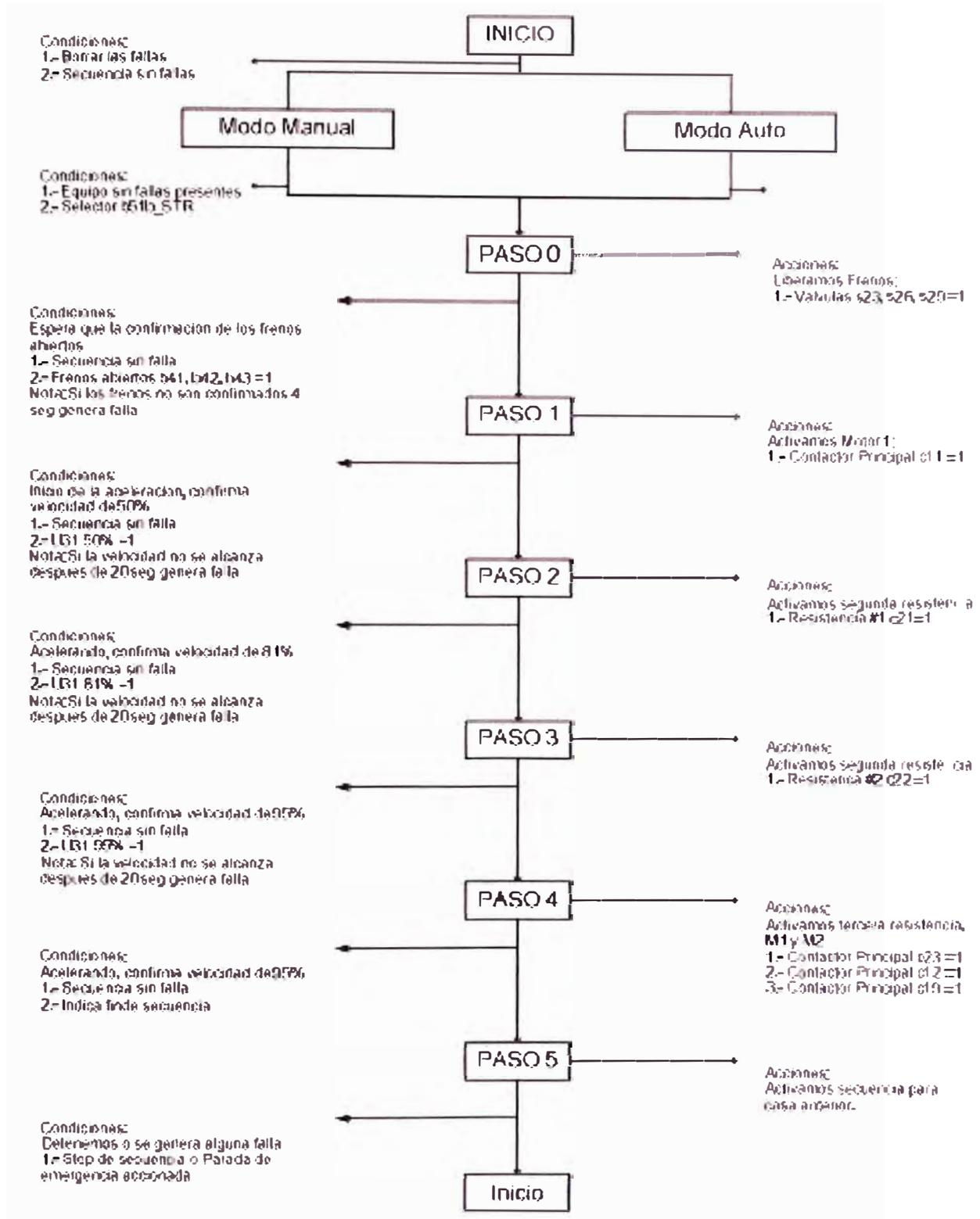


Fig. 3.4 Diagrama de flujo de Fajas Alemanas

### a.1) Control de voltaje

Una vez que se tenga la señal de control de voltaje de la Casa 1 y no se tenga ninguna falla o alarma que genere parada de emergencia, se energizará el control de voltaje de la casa (CVON), la cual sirve para la energización del tablero de control.

### **a.2) Arranque manual**

Con el control de voltaje energizado, y el selector local de modo en la posición MANUAL (ya sea en cola o en cabeza), la secuencia de arranque se inicia accionándose el selector local de arranque en START y se detiene con el selector local en STOP. La faja también se detiene si alguna parada de emergencia es accionada.

### **a.3) Arranque automático**

Con el control de voltaje energizado, y el selector local de modo en la posición AUTO (tanto en cola y en cabeza), la secuencia de arranque se iniciará si y sólo si la faja aguas abajo está encendida en modo automático, la secuencia se detendrá si la faja aguas abajo se detiene u ocurre una parada de emergencia en la propia casa. Cuando una parada de emergencia suceda será necesario “resetear” la falla.

### **a.4) Secuencia de arranque**

Se establece en tres pasos:

#### **Paso 0**

Se acciona el motor del tensionador (ITN).

#### **Paso 1**

Se confirma la tensión adecuada de la faja para el arranque por intermedio de un límite switch, luego se liberan los frenos mediante la apertura de zapatas a través de pequeños motores hidráulicos (un freno por cada motor).

#### **Paso 2**

Se confirma la apertura de frenos por intermedio de los micro switches (BRX), luego se activa el contactor principal de motor 1 (1M).

Luego se inicia la secuencia de aceleración de diez etapas mediante el accionamiento de diversos contactores. En forma paralela y sincronizada se arrancan los motores respectivos, dependiendo de la cantidad de motores que se tenga, con la misma secuencia de etapas que el primer motor, por ejemplo:

#### **Faja 1A**

Se arranca el motor 1, dos segundos después se arranca el motor 2 y 3 al mismo tiempo (1A Cola) y los motores 4 y 5 al mismo tiempo (1A Cabeza).

#### **Faja 1B**

Se arranca el motor 1, 1.5 segundos después se arranca el motor 2 y 3 al mismo tiempo.

#### **Faja 6B**

Se arranca el motor 1, dos segundos después se arranca el motor 2 y el motor 3 (6B/7B).

## **Faja 7B**

Se arranca el motor 1 (6B/7B), dos segundos después se arranca el motor 2, 3 y 4 al mismo tiempo (7B Cabeza).

### **a.5) Secuencia de aceleración**

Son las etapas consecutivas a la secuencia de arranque. Se repite para cada motor de la faja. Previamente se confirma el accionamiento del contactor principal,

- **Etapa 1:** Luego de 2 segundos se acciona el contactor 1U.
- **Etapa 2:** Luego de 12 segundos se acciona el contactor 2U.
- **Etapa 3:** Luego de 3 segundos se acciona el contactor 1A.
- **Etapa 4:** Luego de 3 segundos se acciona el contactor 2A.
- **Etapa 5:** Luego de 3 segundos se acciona el contactor 3A.
- **Etapa 6:** Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 4A.
- **Etapa 7:** Luego de 2.5 segundos, se acciona el contactor 5A.
- **Etapa 8:** Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 6A.
- **Etapa 9:** Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 7A.
- **Etapa 10:** Luego de 1 segundo se acciona el contactor 8A.
- **Etapa 11:** Luego de 3 segundos se desactivan los contactores 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A y 7A con lo cual finaliza la secuencia de arranque del motor.
- **Etapa 12:** Finalizada la secuencia de arranque, y mientras no se presente ninguna parada de emergencia, se da confirmación de secuencia para la faja anterior (aguas arriba).

### **b) Paradas de emergencia**

Las siguientes son los principales eventos que motivan una parada de emergencia:

- Falla de confirmación de frenos liberados.
- Falla por faja fuera de línea paso 1 (cola).
- Falla por faja fuera de línea paso 2 (cabeza).
- Falla por atoro de chute.
- Falla por cuerda jalada (pull cord).
- Falla por patinamiento.
- Falla por faja rota.
- Falla por falta de presión (75 psi).
- Falla por sobre velocidad.
- Falla por velocidad solo al 50%.

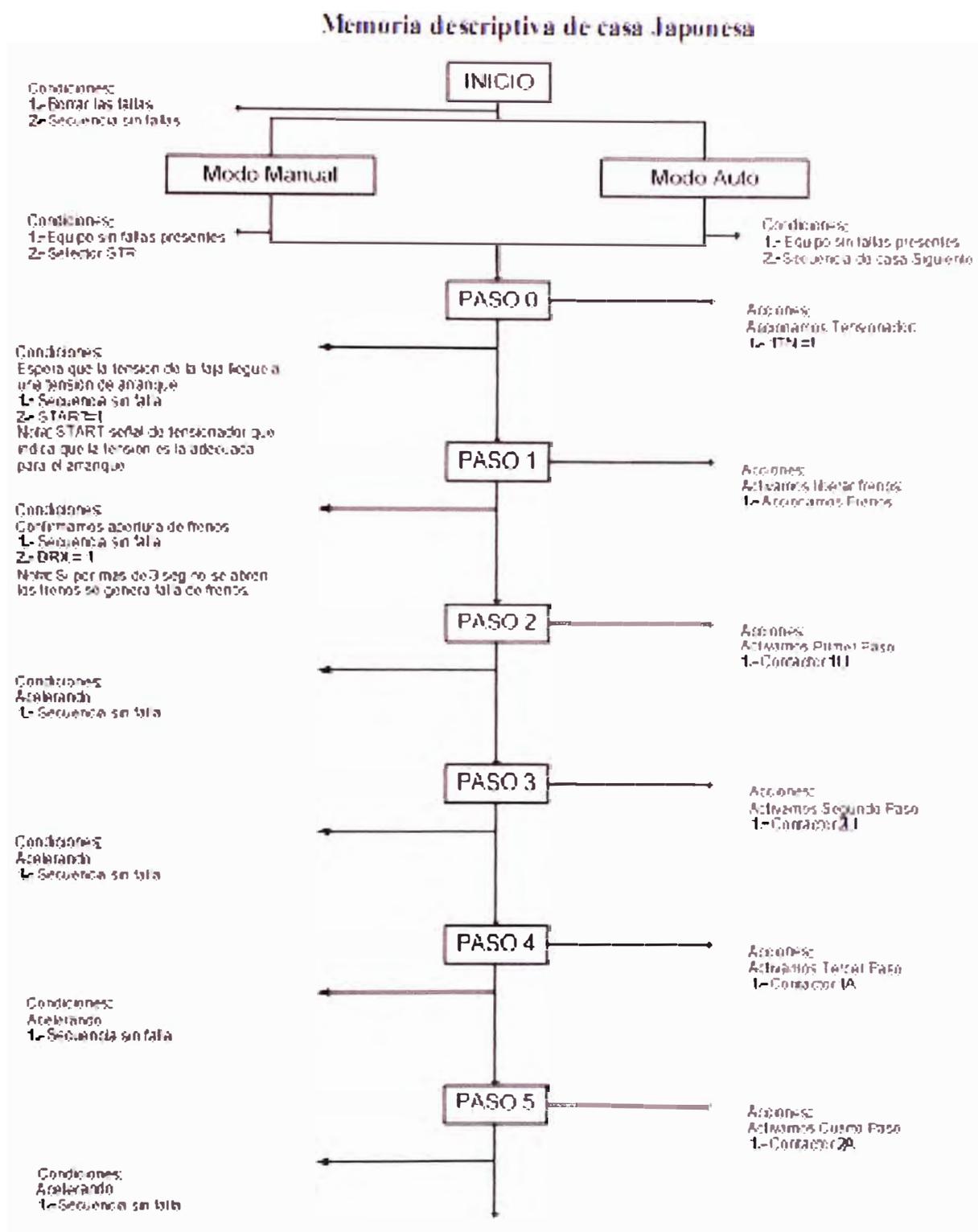


Fig. 3.5 Diagrama de flujo de Fajas Japonesas

### 3.2.3 Fajas transportadoras levemente inclinadas

Describiremos el proceso de arranque y parada de las siguientes fajas transportadoras:

#### Faja 1C

##### a) Control Operacional

Se analiza en cuatro subsecciones.

### **a.1) Control de voltaje**

Una vez que se tenga la señal de control de voltaje la de Casa 1 y no se tenga ninguna falla o alarma que genere parada de emergencia, se energizará el control de voltaje propio de la casa (CVON).

Esta señal de control de voltaje propia de la Casa 1 servirá para la energización de los equipos involucrados en la operación de la faja.

### **a.2) Arranque manual**

Una vez que el selector local de modo está en la posición MANUAL en cabeza, la secuencia de arranque se inicia accionándose el selector local de arranque en START y se detiene con el selector local en STOP. La faja también se detiene si alguna parada de emergencia es accionada.

### **a.3) Arranque automático**

Con el control de voltaje energizado, y el selector local de modo en la posición AUTO en cabeza, la secuencia de arranque se iniciará si y sólo si la faja 1A está encendida en modo automático, la secuencia se detendrá si la faja 1A se detiene u ocurre una parada de emergencia en la propia casa. Cuando ocurra una parada de emergencia será necesario “resetear” la falla.

### **a.4) Secuencia de arranque**

Se realiza en cuatro pasos:

**Paso 0:** Se acciona el motor hidráulico para tensionar la faja por intermedio de un pistón hidráulico.

**Paso 1:** Se confirma la tensión adecuada de la faja para el arranque por intermedio de un sensor de presión en el pistón hidráulico, luego se inicia la secuencia de arranque del motor 1 mediante el accionamiento de un arrancador suave (soft start).

**Paso 2:** Dos segundos después, se inicia la secuencia de arranque del motor 2 mediante el accionamiento de un arrancador suave (soft start).

**Paso 3:** Una vez confirmado el accionamiento del contactor principal de ambos arrancadores suaves, se da por concluido la secuencia de arranque, enviando la señal de confirmación a la faja anterior (aguas arriba).

### **b) Paradas de emergencia**

Las siguientes son los principales eventos que motivan una parada de emergencia:

Falla de baja presión del sistema hidráulico del pistón tensionador.

Falla de sobrevelocidad.

Falla de patinamiento.

Falla por faja fuera de línea paso 1 (cola).

Falla por faja fuera de línea paso 2 (cabeza).

Falla por atoro de chute.

Falla por cuerda jalada (pull cord).

Falla por faja rota.

Falla por sobrecarga motor 1.

Falla por sobrecarga motor 2.

Falla por sobrecarga de bomba hidráulica.

Falla por parada de emergencia.

## **Faja 5**

### **a) Control Operacional**

Se describe el arranque manual, el arranque automático y la secuencia de arranque

#### **a.1) Arranque manual**

Con el control de voltaje de la casa 6B Cola energizado, sin la presencia de fallas, y el selector local de modo en la posición MANUAL, se puede arrancar y parar la faja desde una botonera junto al motor.

#### **a.2) Arranque automático**

Con el control de voltaje de la casa 6B Cola energizado, sin presencia de fallas, el selector local de modo en la posición AUTO, la secuencia de arranque se iniciará si y sólo si la faja 6B está encendida en modo automático, la secuencia se detendrá si la faja 6B se detiene u ocurre una parada de emergencia en la propia casa. Cuando una parada de emergencia suceda será necesario “resetear” la falla.

#### **a.3) Secuencia de arranque**

Posee sólo un paso (Paso 0); se acciona el contactor principal de la faja 5 en el modo arranque directo

### **b) Paradas de emergencia**

Se consideran los siguientes eventos:

Falla por faja fuera de línea.

Falla por atoro de chute.

Falla por cuerda jalada (pull cord).

Falla por faja rota.

Falla por sobrecarga motor.

Falla por parada de emergencia.

### **Faja C12M y 3031**

#### **a) Control Operacional**

Se explica el arranque manual, el arranque automático y la secuencia de arranque.

##### **a.1) Arranque manual**

Una vez que el selector local de modo está en la posición MANUAL y sin presencia de fallas, el control de arranque y parada de la faja es a través de la botonera junto al motor. La faja también se detiene si alguna parada de emergencia es activada.

##### **a.2) Arranque automático**

Una vez que el selector local de modo está en la posición AUTO y sin presencia de fallas, la secuencia de arranque se iniciará en forma automática, generalmente se detiene la faja cuando la tolva de compensación al cual alimenta llega a su nivel máximo. Cuando ocurre una parada de emergencia será necesario “resetear” la falla a excepción de la parada por nivel alto de tolva.

##### **a.3) Secuencia de arranque**

Consta de un solo paso (Paso 0). Estas fajas se accionan a través de un contactor principal con tres etapas de aceleración por intermedio de accionamientos de contactores de un banco de resistencias.

#### **b) Paradas de emergencia**

Se consideran los siguientes eventos:

- Falla por faja fuera de línea (cola).
- Falla por cuerda jalada (pull cord).
- Falla por sobrecarga motor.
- Falla por nivel alto de tolva.
- Falla por sobretemperatura (re-arranques)

### **3.2.4 Apilador móvil (Stacker con fajas 1407 y 1410)**

#### **a) Control Operacional**

Consta de sólo el arranque manual, el arranque automático y la secuencia de arranque.

##### **a.1) Arranque manual**

Por tratarse de fajas relativamente pequeñas comparadas con el resto de fajas, el arranque y parada se puede comandar desde una botonera Start/Stop ubicado junto al motor.

##### **a.2) Arranque automático**

Una vez que se tenga la señal de control de voltaje de la Casa 1 y sin presencia de fallas.

La secuencia de arranque y parada se iniciará mediante una señal de arranque proveniente de un selector en la Casa 1. Cuando ocurra parada de emergencia suceda será necesario “resetear” la falla.

### **a.3) Secuencia de arranque**

Consta de un único paso (Paso 0). Estas fajas se accionan a través de un contactor principal en el modo arranque directo.

### **b) Paradas de emergencia**

Se consideran los siguientes eventos:

Falla por faja fuera de línea 1407.

Falla por atoro de chute.

Falla por cuerda jalada (pull cord).

Falla por sobrecarga de motor.

Falla por parada de emergencia stacker.

## **3.2.5 Alimentadores de mineral**

### **a) Control operacional**

Se describe el control de voltaje, el arranque manual, el arranque automático y la secuencia de arranque.

#### **a.1) Control de voltaje**

Una vez que se tenga la señal de control de voltaje de la Casa 1 y no se tenga ninguna falla o alarma que genere parada de emergencia, se energizará el voltaje de control propio de la casa (CVON). Esta servirá para la energización de los equipos involucrados en la operación de los alimentadores.

#### **a.2) Arranque manual**

Una vez el selector local de modo se encuentre en la posición MANUAL y sin presencia de fallas, el control de arranque y parada de los alimentadores es a través de la botonera junto al motor. El alimentador también se detiene si alguna parada de emergencia es activada.

#### **a.3) Arranque automático**

Una vez que el selector local de modo esté en la posición AUTO y sin presencia de fallas, la secuencia de arranque se iniciará si y sólo si la faja aguas abajo está encendida en modo automático, la secuencia se detendrá si la faja aguas abajo se detiene u ocurre una parada de emergencia en la propia casa. Cuando ocurra una parada de emergencia será necesario “resetear” la falla.

#### **a.4) Secuencia de arranque**

Consta de un solo paso (Paso 0). Estos alimentadores se accionan a través de un variador de velocidad controlado por señales de comando digitales y analógicas.

#### **b) Paradas de emergencia**

Falla por sobrecarga de motor.

Falla por atoro de chute.

Falla por parada de emergencia.

Falla de variador de velocidad.

### **3.3 Control general de motores**

#### **3.3.1 Casa de supervisión y control de sistema (casa master)**

##### **a) Modo Automático**

El sistema es controlado por un operador ubicado en la Casa 1 (Casa Master). Una vez confirmado que todo el sistema se encuentra operativo tanto por parte de la supervisión mecánica como eléctrica, debe esperar la confirmación del supervisor de operaciones para el arranque secuencial de las fajas. Para esto todas las casas del sistema deben estar sin fallas o alarmas y los selectores locales de modo en la posición AUTOMÁTICO. Una vez que todo lo anterior se cumple, el operador podrá iniciar el arranque secuencial del sistema, colocando en ON el selector de control de voltaje.

El arranque secuencial del sistema se inicia desde la última faja hasta la primera, en el orden siguiente: faja 1410, 1407, 7B, 6B, 5, 4, 3, 2, 1, 1A en el caso de jalado con la Planta 2, para el caso de jalado de la Planta 1, también se arrancan las fajas 1C y 1B.

Para el arranque de cada faja, esta debe recibir la señal de confirmación que la faja siguiente (aguas abajo) ya está trabajando, transcurrirá un tiempo determinado para cada faja para luego sonar la alarma de seguridad. Ciertas fajas (ya explicado en la sección 3.2) deberán completar una etapa previa al arranque que comprende la apertura de frenos y/o tensionado de la faja.

La secuencia de arranque de la faja comprende el accionamiento de todos los contactores principales de los motores en forma coordinada sobre todo si se tiene motores en casas distantes. Asimismo en forma paralela se inicia la secuencia de aceleración por etapas de los motores que se requiera. Una vez terminada la secuencia de arranque y aceleración se envía la señal de confirmación de faja trabajando a la faja anterior (aguas arriba).

Cada vez que se produzca la parada de una faja por falla o parada de emergencia todas las fajas ubicadas aguas arriba se pararán inmediatamente por secuencia, mientras que las fajas ubicadas aguas abajo continuaran trabajando. Una vez que la causa de la falla sea

detectada, eliminada y repuesta, la secuencia de arranque se volverá a iniciar desde la faja parada tal como se explicó anteriormente.

En resumen a lo explicado en la sección 3.2, las paradas de emergencia comúnmente ocurrirán en los siguientes casos:

- Accionamiento de los switches de cuerda de emergencia.

- Accionamiento del pulsador de emergencia.

- La faja se ha embalado.

- La faja se ha desalineado.

- La tensión de las fajas alcanzó la máxima o mínima tensión admisible.

- Falla del control de voltaje.

- Falla de presión baja de aire para frenos.

- Sobrecarga de la faja.

- Atoro de chute.

- Rotura de faja.

Las paradas por falla son propiamente de cada faja, producidas por fallas de confirmaciones en las diferentes etapas de arranque y operación de la faja.

#### **b) Modo Manual**

En este modo de operación es posible operar cada faja por separado, sin importar si la faja siguiente o anterior está trabajando u operando. Para esto es necesario colocar el selector local de modo en la posición MANUAL.

La secuencia de arranque se iniciará colocando el selector de arranque en la posición ON durante un instante, a partir de ese momento la secuencia de arranque será idéntica a la secuencia de arranque en el modo automático. La faja podrá ser parada en forma normal colocando el selector de arranque en la posición OFF. Todas las paradas de la faja por falla o parada de emergencia continuarán activas a excepción de las paradas por secuencia.

#### **c) Modo Bloqueo**

En este modo de operación NO es posible arrancar la faja ni en modo remoto o local. Esto se consigue colocando el selector local de modo en la posición OFF.

#### **d) Alimentación del sistema**

Una vez que se tiene todo el sistema de fajas trabajando, se debe “alimentar” el mineral sobre la faja. Para esto se utiliza alimentadores variables accionados por variadores de velocidad, que extraen el mineral de una tolva de compensación y lo vierten sobre la faja. Para la regulación de estos variadores de velocidad se utiliza un controlador PID, el flujo

de tonelaje de referencia es reseteado por el operador de Casa 1 en el modo remoto o a través de un potenciómetro en la cola de la faja más cercana en el modo manual. El controlador PID utiliza la señal de una balanza para su algoritmo.

### **3.4 Control eléctrico de bombeo de agua salada**

Para el control de las bombas de cuatro tolvas (figura 3.6) se tiene como referencia, encendido en automático, el nivel de tanque TOP, por lo tanto estas bombas tienen 2 modos de encendido y en caso que el nivel de tanque de 4 tolvas este por debajo del mínimo ninguna bomba encenderá por seguridad.

#### **a) Modo Manual**

El control de las bombas al mismo tiempo que son independientes se pueden controlar de modo manual, el modo manual se refiere al encendido y el apagado de las bombas en cuando el operador lo desee hacer, solo tendrá que ingresar al Popup de la bomba haciendo clic sobre la bomba que desee tener control, y luego cambie a modo manual después de esto la bomba será controlado directamente por el operador, para encender solo tiene que hacer clic sobre el botón ARRANCAR y para detenerlo tendrá que hacer clic sobre el botón DETENER.

#### **b) Modo Automático**

El control automático se refiere a un encendido y apagado de las bombas dependiendo de un nivel de referencia que en este caso es el Nivel del Tanque TOP, cuando se tenga un nivel de tanque por debajo de la alarma baja “L” las bombas que estén seleccionadas en modo automático encenderán y cuando nivel este por encima de la alarma de nivel alto “H” las bombas se detendrán. El encendido automático de las bombas se tiene 2 estados que son llenando y vaciando.

##### **Llenado**

Que se encuentra en proceso de llenado, las bombas encenderán se colocan en modo automático.

##### **Vaciando**

Que se encuentra en proceso de vaciado, las bombas no encenderán si se colocan en modo automático, solo encenderán cuando pasen a modo proceso de llenado.

La parada de emergencia del bombeo de agua salada se realizara por:

- Bloqueo desde la botonera de parada de emergencia.

- Tanques llenos.

- Falta de agua (switch de flujo).

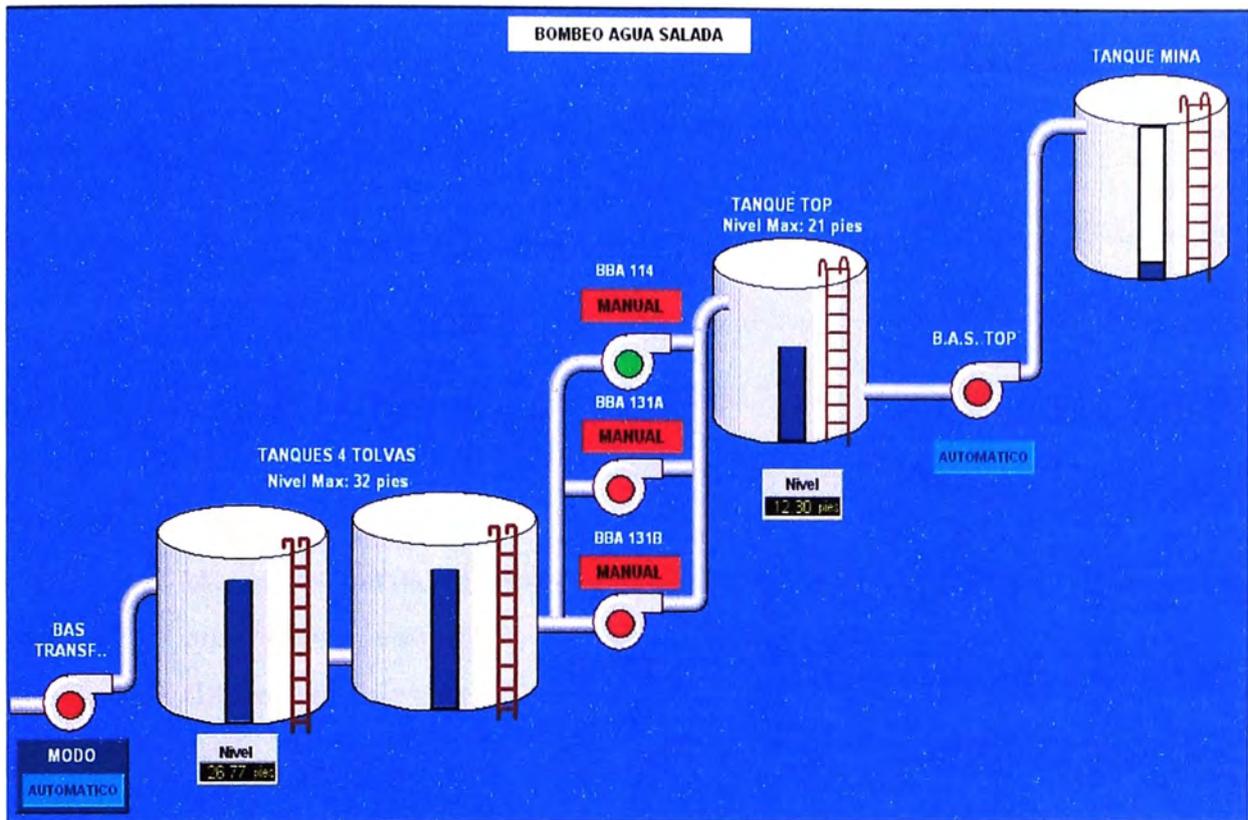


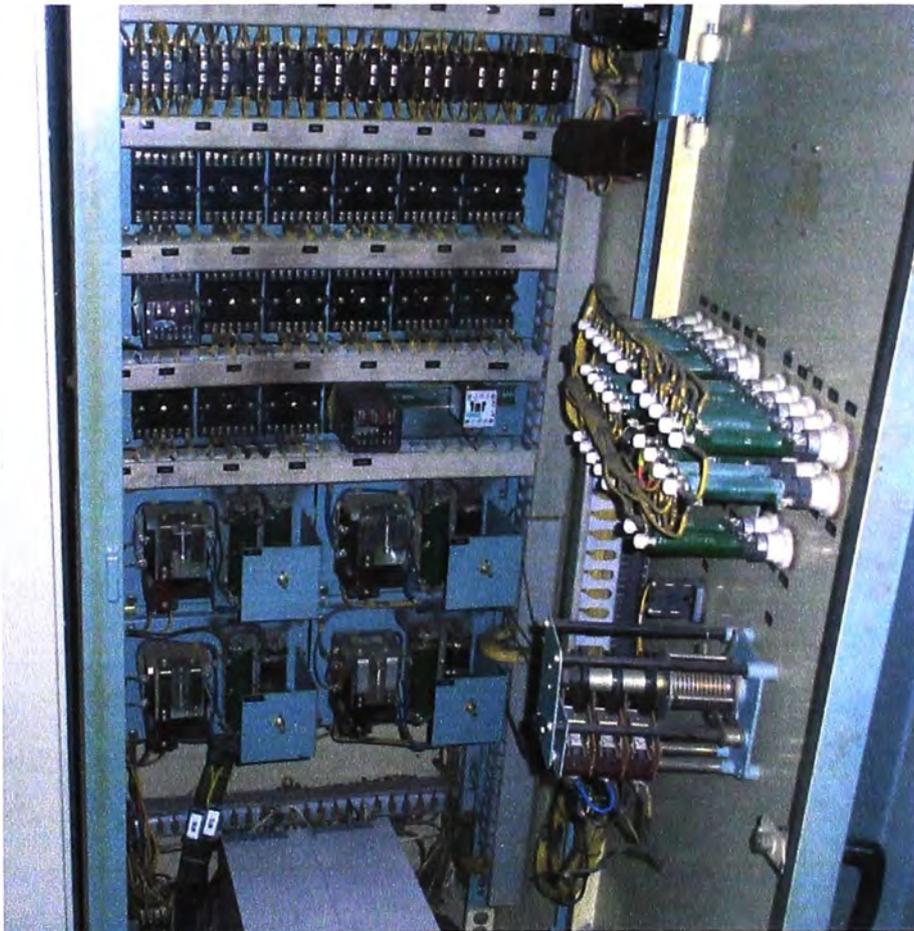
Figura 3.6 Diagrama de ubicación de bombeo de agua salada[9]

## CAPITULO IV

### EVALUACION DEL SISTEMA DE CONTROL

#### 4.1 Sistema eléctrico antiguo

El sistema de control y monitoreo del proceso de transporte de mineral eran en base a componentes de semiconductores de baja potencia (ejemplo: diodos, condensadores, etc.), dispositivos electromecánicos (ejemplo: contactores, relés) y dispositivos estáticos como transformadores, bobinas, emisores y receptores de frecuencia; los cuales eran demasiado grandes con alto consumo de energía y sin repuestos (ver figura 4.1).



**Fig. 4.1** Sistema eléctrico antiguo.

Casa 1, que es la casa encargada de monitorear el transporte de mineral recibía y mandaba las señales a otras casas motrices de esta manera era posible que cada uno envíe y reciba



- Lámparas indicadoras.
- Switch selectores.
- Botoneras de emergencia.

En este tablero el operador podía observar básicamente el estado de los motores de todas las fajas del sistema y la evidencia de alarmas y/o fallas por cada casa. Para enviar información a una casa se disponía de switch y pulsadores. En la figura 4.3 se observa el tablero de telecontrol, en la actualidad en desuso.

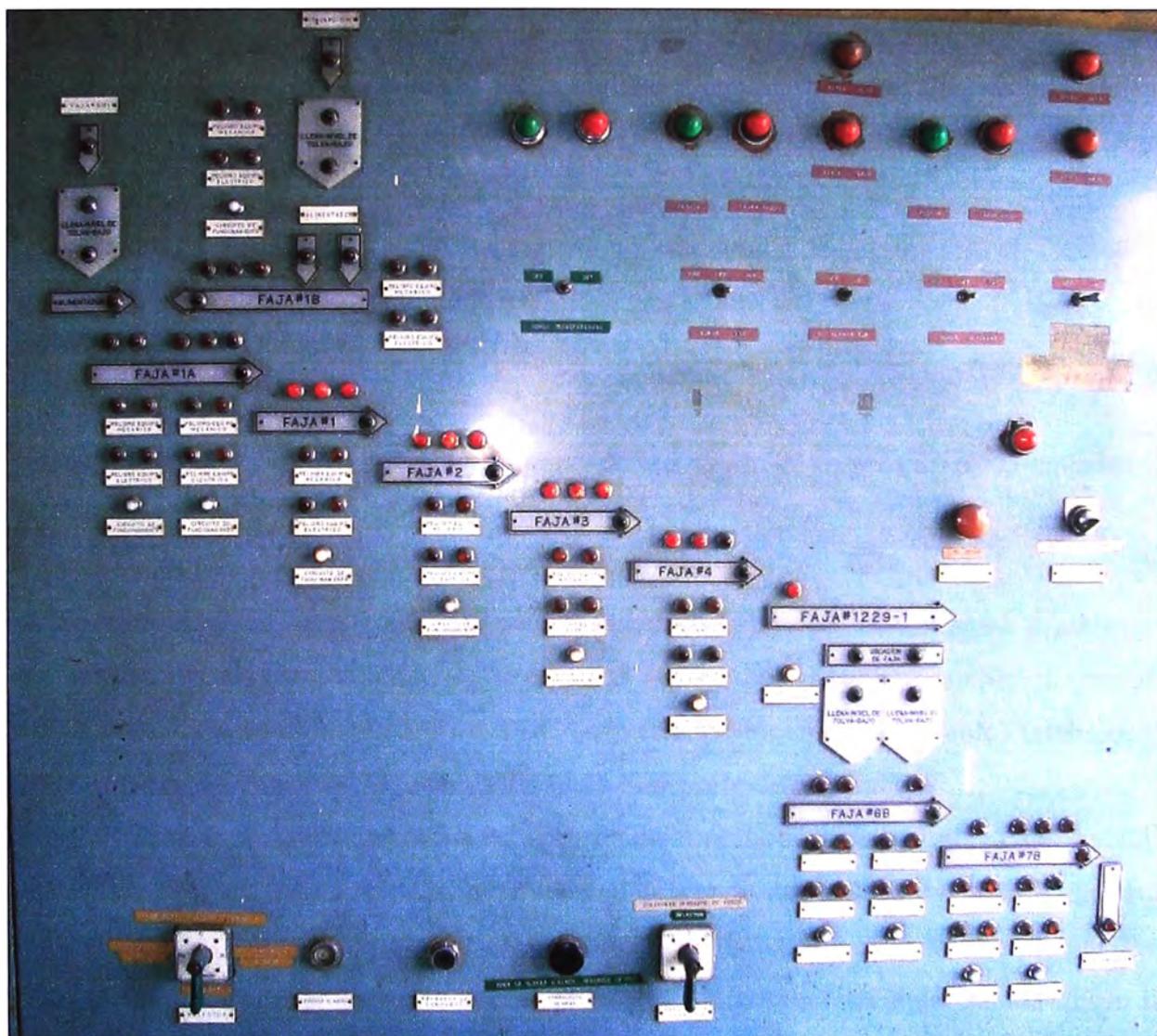


Fig. 4.3 Tablero de control antiguo

#### 4.1.2 Sistema de control

Las señales de control necesarias para la secuencia de funcionamiento de una faja a otra, así como también las señales necesarias para la sincronización de arranque de motores y paradas de emergencia, son llevadas a través de cableado duro tendido a lo largo de todas las fajas en forma de cascada.

Entre cada casa se tienen uno o dos cables multiconductores de hasta 24 líneas, debido a la distancia de estos cables entre casa y casa se utiliza voltaje DC (corriente continua) con la finalidad de compensar la caída de tensión. Esto obligaba al uso de una serie de dispositivos como fuentes DC, contactores DC, relés de enclavamiento DC de alto costo y excesiva disipación de calor.

#### **4.1.3 Desventajas sistema de comunicación y control antiguo**

Una de las principales desventajas era la baja confiabilidad del cableado tendido a lo largo de la faja; el cableado requería mantenimiento constante por exposición al medio ambiente agresivo existente en la zona (rozamientos, caída de piedras, clima severo, etc.). La falta de mantenimiento provocaba constantes paradas fantasmas, pérdida de producción e incumplimiento del programa de jalado.

El sistema de comunicación era obsoleto; se carecía de repuestos en el mercado y representaba un alto costo su adquisición.

La información disponible para el operador de casa 1 era insuficiente para una toma de decisiones oportuna y confiable.

El sistema antiguo impedía el cumplimiento de los planes de expansión de la empresa; es decir el aumento de producción del Conveyor.

#### **4.2 Cambio a sistema eléctrico mediante PLC y Scada**

Se requería mejorar la eficiencia y confiabilidad del transporte de mineral y así lograr mejores beneficios económicos para la empresa motivo por el cual se cambio el control y monitoreo del sistema mediante los PLC (controlador lógico programable) también por tener proyectado un incremento de cantidad de transporte de mineral.

El proceso que se automatizo fue el control de arranque de los motores de las fajas transportadoras en forma automática y manual logrando así realizar la misma lógica de control detallada en el capítulo III reemplazando la lógica de contactores, motor-timer, relés, etc. Así como también incorporar el control de bombeo de agua salada desde las orillas de mar hasta las diferentes áreas de la mina.

El sistema de envío y recepción de señales se realizo mediante el tendido de fibra óptica a lo largo de todo el tramo del sistema (alrededor de 17 Km.).

Con respecto a las señales de paradas o arranques (instrumentación) se mantuvo en su mayoría por ser señales discretas sin embargo se agrego dispositivos de monitoreo y control de parámetros eléctricos de motores y consumo de energía eléctrica cuyas especificaciones se detallan en la figura 2.2.

Para monitoreo y supervisión de datos se uso el sistema SCADA en donde se puede visualizar el sistema completo de transporte de mineral y el detallado de comportamiento de cada faja y de sistema de bombeo de agua salada el cual está ubicado de en la casa 1 por tener un lugar geográfico y de posición del total de fajas favorable.

Dado el tamaño de la faja aprobaron realizarlo en dos etapas:

La primera etapa abarcó la automatización de las fajas 1A, 1B, 1C, C12M y 3031 con equipamiento SIEMENS.

La segunda etapa abarcó la automatización de las fajas 1, 2, 3, 4, 5, 6B, 7B, 1407 y 1410 con equipamiento ALLEN BRADLEY.

Para una explicación más ordenada, cada etapa de implementación es dividida en tres secciones: control, instrumentación, comunicación:

- a) **Control:** PLC (Modelo, Dimensionamiento de puntos, software de programación, enlaces entre CPUs); Tablero de Control (Consideraciones de instalación); SCADA (Datos técnicos, Filosofía de pantallas, Tipo de comunicación, Kepsver OPC); Hardware (Datos técnicos PC Industrial)
- b) **Instrumentación:** Sensores (equipos multifunción, balanza); Buses de campo (Profibus, Device Net, Ethernet)
- c) **Comunicación:** Topología (Red Ethernet, radio modem, switch); red fibra óptica (montaje, datos técnicos, pruebas, equipamiento); enlaces Inalámbricos y redundantes.

#### 4.2.1 Primera etapa (PLC Siemens)

Se utilizaron controladores Siemens, modelo S7-300 y CPU 315-2DP, cuya ventaja principal es tener un diseño modular, suficiente capacidad de procesamiento para el proceso, ranura para memory card y contar por defecto con dos puertos integrados para comunicación MPI y PROFIBUS-DP.

Para el enlace entre los PLC se utiliza un módulo procesador de comunicaciones modelo CP 343-1 Lean (figura 4.4) para la comunicación Industrial Ethernet.

Para la conexión de señales se utilizan diversos módulos de entrada y salida del tipo digital y analógica. En lo que respecta a las señales digitales se tomó como estándar la tensión de 24 voltios, para los módulos analógicos se tomó como estándar las señales 4-20 ma y 0-5Vdc. La cantidad de módulos utilizados varían dependiendo del requerimiento de casa de control.

En la mayoría de casos se superaba el máximo de ocho módulos de entrada y salida por rack, por lo que se tuvo que recurrir a racks de expansión a través del módulo IM-153

como esclavo DP en la configuración de periferia descentralizada ET 200M. Esta configuración permite un intercambio cíclico de datos entre el CPU del PLC y las unidades periféricas descentralizadas (racks de expansión).



Fig. 4.4 Módulos utilizados Siemens

Finalmente la configuración usada en una casa es la siguiente: Una red Profibus con un CPU 315-2DP como maestro y unidades periféricas descentralizadas IM-153 como esclavos. La velocidad de transferencia es de 1.5 Mbit/s (figura 4.5).

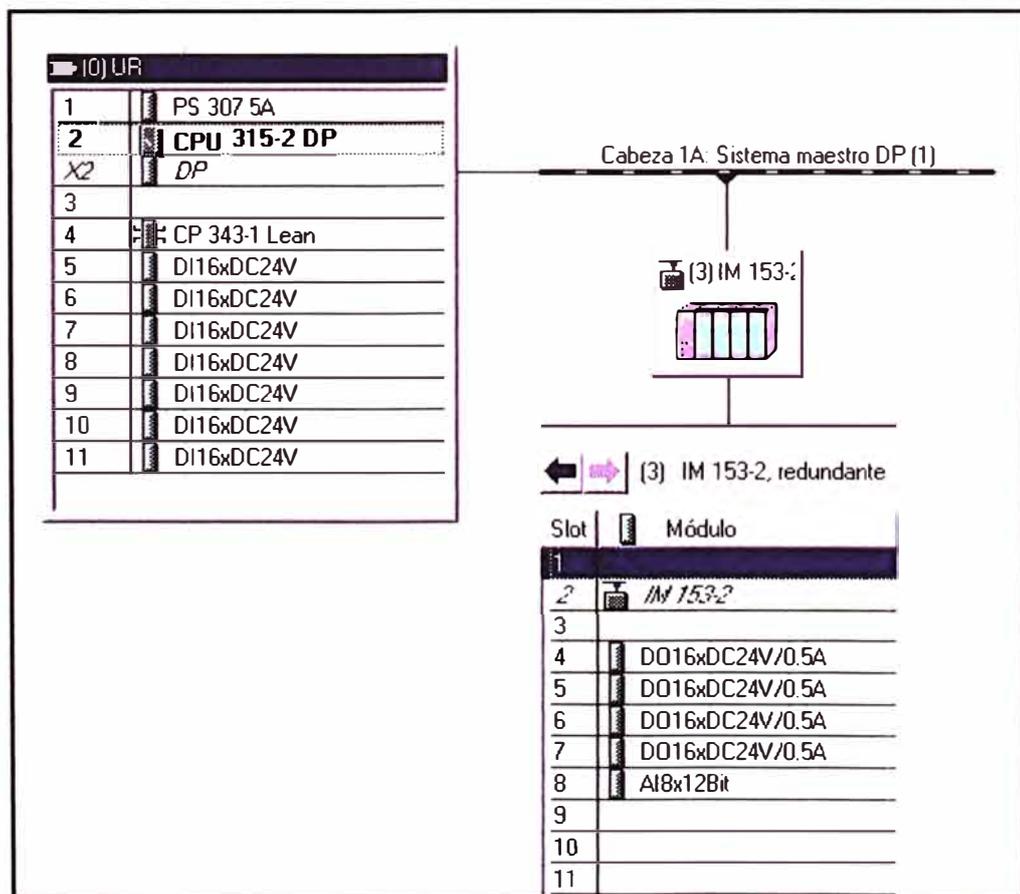


Fig. 4.5 Configuración típica usada en una casa

El software de programación usado para la gamas de PLC Siemens es el STEP 7 Profesional versión 5.3. Con el STEP 7 es posible configurar el hardware del PLC, configurar las redes de comunicación, simulación de programas y administración de proyectos complejos integrándolo con una infinidad de dispositivos esclavos y maestros. Este software permite la programación en varios lenguajes estandarizados incluidos dentro de la norma IEC 1131-3 tales como el lenguaje de programación KOP (esquemas de contactos), AWL (lista de instrucciones) y FUP (diagrama de funciones).

La distribución de módulos usados en cada casa se muestra en las siguientes tablas (4.1 a 4.3), indicando el slot que ocupa cada módulo. El slot 1 no se muestra pues es separado para la fuente de 24 voltios, asimismo el slot 3 es ocupado por el maestro DP que viene integrado en este tipo de CPU. Esta disposición de módulos es configurado en la opción de Hardware Configuración del STEP 7.

**Tabla 4.1** Descripción de contenido de tableros PLC

FAJA 1A					
PLC Casa 1A Cola			PLC Casa 1A Cabeza		
Rack 0	Slot 2	CPU 315-2DP	Rack 0	Slot 2	CPU 315-2DP
	Slot 4	CP 343-1 Lean		Slot 4	CP 343-1 Lean
	Slot 5	DI16 x DC24V		Slot 5	DI16 x DC24V
	Slot 6	DI16 x DC24V		Slot 6	DI16 x DC24V
	Slot 7	DI16 x DC24V		Slot 7	DI16 x DC24V
	Slot 8	DI16 x DC24V		Slot 8	DI16 x DC24V
	Slot 9	DI16 x DC24V		Slot 9	DI16 x DC24V
	Slot 10	DI16 x DC24V		Slot 10	DI16 x DC24V
	Slot 11	DI16 x DC24V		Slot 11	DI16 x DC24V
Rack 1	Slot 2	IM 153-2	Rack 0	Slot 2	IM 153-2
	Slot 4	DI16 x DC24V		Slot 4	DO16 X DC24V/0.5A
	Slot 5	DI16 x DC24V		Slot 5	DO16 X DC24V/0.5A
	Slot 6	DO16 X DC24V/0.5A		Slot 6	DO16 X DC24V/0.5A
	Slot 7	DO16 X DC24V/0.5A		Slot 7	DO16 X DC24V/0.5A
	Slot 8	DO16 X DC24V/0.5A		Slot 8	AI8 X 12Bit
	Slot 9	DO16 X DC24V/0.5A			
	Slot 10	AI8 X 12Bit			
	Slot 11	AO8 X 12Bit			

**Tabla 4.2** Descripción de contenido de tableros PLC

<b>FAJA 1B</b>							
PLC Casa 1B Cola			PLC Casa 1B Cabeza				
<b>Rack 0</b>	Slot 2	CPU 315-2DP	<b>Rack 0</b>	Slot 2	CPU 315-2DP		
	Slot 4	CP 343-1 Lean		Slot 4	CP 343-1 Lean		
	Slot 5	DI16 x DC24V		Slot 5	DI16 x DC24V		
	Slot 6	DI16 x DC24V		Slot 6	DI16 x DC24V		
	Slot 7	DO16 X DC24V/0.5A		Slot 7	DI16 x DC24V		
	Slot 8	AI8 X 12Bit		Slot 8	DI16 x DC24V		
	Slot 9	AO8 X 12Bit		Slot 9	DI16 x DC24V		
				Slot 10	DI16 x DC24V		
		Slot 11		DI16 x DC24V			
					<b>Rack 1</b>	Slot 2	IM 153-2
		Slot 4		DI16 x DC24V			
		Slot 5	DI16 x DC24V				
		Slot 6	DO16 X DC24V/0.5 A				
		Slot 7	DO16 X DC24V/0.5 A				
		Slot 8	DO16 X DC24V/0.5 A				
		Slot 9	DO16 X DC24V/0.5 A				
		Slot 10	DO16 X DC24V/0.5 A				
		Slot 11	AI8 X 12Bit				

**Tabla 4.3** Descripción de contenido de tableros PLC

<b>FAJA 1C</b>			<b>FAJA 1</b>		
PLC Casa 1C Cabeza			PLC Casa 1		
<b>Rack 0</b>	Slot 2	CPU 315-2DP	<b>Rack 0</b>	Slot 2	CPU 315-2DP
	Slot 4	CP 343-1 Lean		Slot 4	CP 343-1 Lean
	Slot 5	DI16 x DC24V		Slot 5	DI16 x DC24V
	Slot 6	DI16 x DC24V		Slot 6	DO16 X DC24V/0.5A
	Slot 7	DI16 x DC24V		Slot 7	DI16 x DC24V
	Slot 8	DI16 x DC24V		Slot	AO8 X 12Bit

	Slot 9	DI16 x DC24V		8
	Slot 10	DI16 x DC24V		
	Slot 11	CP 340-RS485		
Rack 1	Slot 2	IM 153-2		
	Slot 4	DO16 X DC24V/0.5 A		
	Slot 5	DO16 X DC24V/0.5 A		
	Slot 6	DO16 X DC24V/0.5 A		
	Slot 7	DO16 X DC24V/0.5 A		
	Slot 8	AI8 X 12Bit		

#### 4.2.2 Segunda etapa (PLC Allen Bradley)

Se utilizaron controladores de la marca Allen Bradley (Figura 4.6) [19], para la casa 1 se utilizó el modelo 1756-L61 de la serie ControlLogix y para el resto de las casas el modelo 1769-L32E de la serie CompactLogix. En la casa 1 se usó otro modelo superior básicamente para dar mayor poder de procesamiento dado que inicialmente en esa casa se iba a disponer de mayor conectividad con otros dispositivos como enlaces de radio modem y comunicación con la red Ethernet de Siemens.

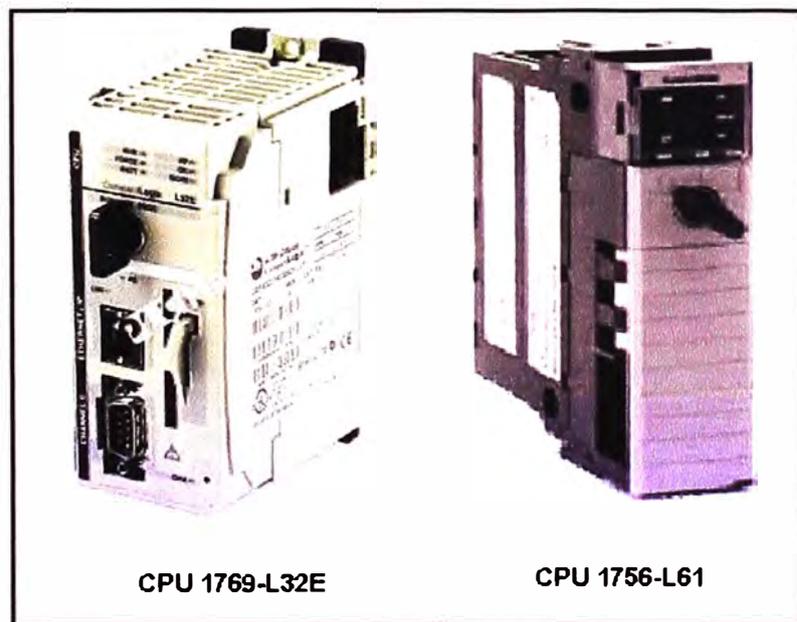


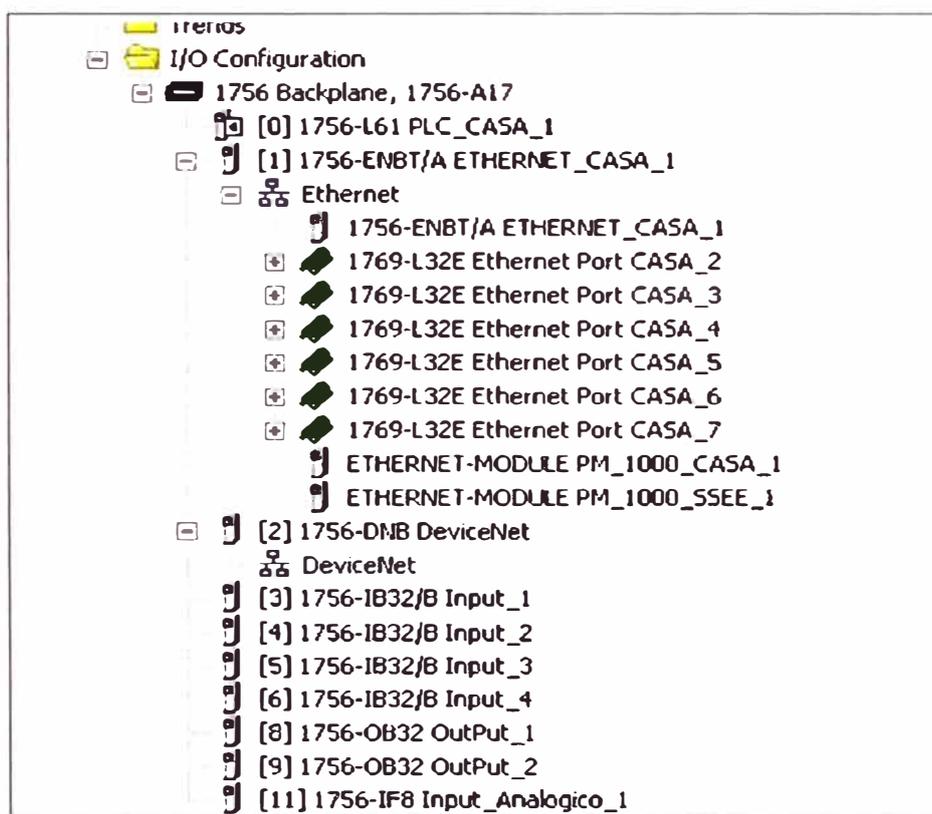
Fig. 4.6 Tipos de CPU Allen Bradley (Fuente: Ibídem)

El procesador de la serie ControlLogix dispone de una capacidad de memoria hasta 2 Megabytes, sin embargo requiere de un módulo independiente para la comunicación Ethernet (1756-ENBT). Su chasis de 13 slots y sus módulos de entradas y salidas de 32 puntos permite tener en un solo rack el hardware necesario para la Casa 1.

El procesador de la serie CompactLogix ofrece un sistema en arquitectura descentralizada, con un puerto de comunicación Ethernet incluido. Su característica flexible modular y sus módulos de entradas y salidas de 32 puntos hacen posible tener en una sola fila el hardware necesario para las demás casas de la parte central e inferior.

Para la conexión de señales se utilizaron diversos módulos de entrada y salida del tipo digital de 32 puntos y analógico de 8 puntos. En lo que respecta a las señales digitales se tomó como estándar la tensión de 24 voltios, para los módulos analógicos se tomó como estándar las señales 4-20 mA y 0-5 Vdc. La cantidad de módulos utilizados varían dependiendo del requerimiento de cada casa de control.

Para la comunicación de campo se adicionan módulos escáner para el control de las redes Device Net que se implementan en cada casa para lectura de parámetros eléctricos de motores y medidores multifunción. Para la Casa 1 se utiliza el escáner 1756-DNB y las demás casas utilizan como escáner el módulo 1769-SDN. La Figura 4.7 ilustra los componentes mencionados.



**Fig. 4.7** Configuración típica de Hardware PLC Allen Bradley (Fuente: Ref. [20])

Finalmente en cada casa se implementa un PLC Allen Bradley con módulos de entrada y salida digitales y analógicas.

Para el monitoreo de algunos parámetros eléctricos propios de cada casa se utiliza una red Device Net, otros datos son leídos a través de la red Ethernet utilizado principalmente para

la comunicación entre PLC de las demás casas y dispositivos con puerto de comunicación Ethernet.

La distribución de módulos usados en cada casa se muestra en la tabla 4.4, indicando el slot que ocupa cada módulo. En estos tipos de PLC, a diferencia de los PLC Siemens, el CPU ocupa siempre el slot 1, la fuente de alimentación se ubica generalmente en medio de otros módulos o en el último slot. A continuación se detalla la distribución de módulos en los PLC Allen Bradley.

**Tabla 4.4** Distribución módulos PLC Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

**FAJA 1**  
PLC CASA 1

	Slot	Codigo	Descripcion
<b>Rack 0</b>	Slot 1	1756-L61	CPU Procesador ControlLogix
	Slot 2	1756-ENBT	Módulo Ethernet 10/100 Mbps
	Slot 3	1756-DNB	Escáner Red Device Net
	Slot 4	1756-IB32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 5	1756-IB32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 6	1756-IB32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 7	1756-IB32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 8	1756-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 9	1756-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 10	1756-IF8	Módulo entrada analógica 8 ptos.
	Slot 11	1756-PA72	Fuente alimentación 5VDC - 10 A

**FAJA 2, 3, 4 y 7B**  
PLC CASA 2, 3, 4 y 7B cabeza

	Slot	Codigo	Descripcion
<b>Rack 0</b>	Slot 1	1769-L32	CPU Procesador CompactLogix
	Slot 2	1769-SDN	Escáner Red Device Net
	Slot 3	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 4	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 5	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 6	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 7	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 8	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 9	1769-IF8	Módulo entrada analógica 8 ptos.
	Slot 10	1769-PA4	Fuente alimentación 5VDC - 4 A

## FAJA 6B

PLC CASA 6B Cola y 6B/7B

	Slot	Codigo	Descripcion
<b>Rack 0</b>	Slot 1	1769-L32	CPU Procesador CompactLogix
	Slot 2	1769-SDN	Escáner Red Device Net
	Slot 3	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 4	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 5	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 6	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 7	1769-OB16	Módulo salida 16 ptos. 24VDC
	Slot 8	1769-IF8	Módulo entrada analógica 8 ptos.
	Slot 9	1769-PA4	Fuente alimentación 5VDC - 4 A

## APILADOR MOVIL STACKER

PLC CASA STACKER

	Slot	Codigo	Descripcion
<b>Rack 0</b>	Slot 1	1769-L32	CPU Procesador CompactLogix
	Slot 2	1769-SDN	Escáner Red Device Net
	Slot 3	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 4	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 5	1769-IQ32	Módulo entrada 32 ptos. 24VDC
	Slot 6	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 7	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
	Slot 8	1769-PA4	Fuente alimentación 5VDC – 4 A

## CAPITULO V

### SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO, SUPERVISION Y ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 5.1 Integración del PLC al control eléctrico de fajas (Siemens)

##### 5.1.1 Programación PLC

La integración del PLC al control eléctrico se uso el programa STEP 7. Dentro de las muchas funciones de este software te permite la función de organización (OB) bloques de función. El lenguaje de programación utilizada en su mayoría es el lenguaje KOP (lógica de escalera), también se uso el lenguaje AWL logrando así la programación del control de la faja transportadora tomando como referencia la lógica de contactores y planos eléctricos de circuitos de control antiguo del Conveyor (figura 5.1).

Nombre del objeto	Nombre simbólico	Lenguaje	Tamaño en la memor...	Tipo
Datos de sistema	---	---	---	SDB
OB1	BLOQUE PRINCIPAL	AWL	336	Bloque de organizaci
OB35	CYC_INT5	AWL	196	Bloque de organizaci...
OB80	CYCL_FLT	KOP	38	Bloque de organizaci...
OB82	I/O_FLT1	KOP	38	Bloque de organizaci...
OB85	OBNL_FLT	KOP	38	Bloque de organizaci...
OB86	RACK_FLT	KOP	38	Bloque de organizaci...
OB100	COMPLETE RESTART	AWL	42	Bloque de organizaci...
OB121	PROG_ERR	KOP	38	Bloque de organizaci...
OB122	MOD_ERR	KOP	38	Bloque de organizaci...
FB0	DIRIS A40	AWL	764	Bloque de función
FB1	HOROMETRO	KOP	146	Bloque de función
FB2	FB_SIMO	AWL	140	Bloque de función
FB3	TEMPORIZADOR MT	KOP	530	Bloque de función
FB4	TEMPORIZADOR MT TM...	KOP	296	Bloque de función
FB41	CONT_C	SCL	1462	Bloque de función
FC1	CONTROL 1	KOP	810	Función
FC2	MOTOR 1M	KOP	374	Función
FC3	MOTOR 2M	KOP	328	Función
FC4	CONTROL 2	KOP	514	Función
FC5	AG_SEND	AWL	1664	Función
FC6	AG_RECV	AWL	1206	Función
FC7	TENSIONADOR	KOP	710	Función

Fig. 5.1 Detalle de bloques de programación típicos [2]

A continuación se realiza las descripciones del programa:

**a) Bloques de organización (OB):**

- **OB1:** Bloque principal, el sistema operativo de la CPU ejecuta el OB1 en forma cíclica, una vez finalizada su ejecución, el sistema comienza a ejecutarlo de nuevo. Es utilizado para hacer el llamado de los bloques de función principales, como son los bloques de control del tensionador, alarmas y fallas, arranque de motores, secuencia de control, etc. Se pueden usar varios lenguajes de programación, en esta oportunidad se ha utilizado el lenguaje de instrucciones (AWL) y la instrucción CALL para invocar a una función FC.
- **OB35:** Bloque de alarma cíclica con valores de tiempo prefijados, es este caso con una base de tiempo de 100 milisegundos. Con estos bloques es posible arrancar programas en intervalos equidistantes. Es utilizado para hacer el llamado de bloques de función secundarios como son los bloques de horómetros, control PID, temporizadores. La ventaja de que se ejecute cada 100 mseg. permite crear contadores y temporizadores cada vez que se ejecuta los bloques invocados, es decir en cada scan.
- **OB80, OB82, OB85, OB100, OB121:** Bloques de errores y arranque, son bloques propios de la librería del STEP 7 que permiten diferentes funciones, tales como permitir que el CPU continúe en funcionamiento cuando se presente alguna falla de una entrada periférica análoga o habilitar un re-arranque en caso de fallos. Estos bloques no se pueden editar por ser propiedad del fabricante, sin embargo son utilizados de acuerdo a la necesidad del usuario.

**b) Función (FC):**

Son bloques programables y no disponen de memoria. Estos bloques contienen programas que se ejecutan cada vez que la FC es llamada por otro bloque lógico. Los más importantes son:

- **FC1:** CONTROL1, bloque de control que abarca toda la secuencia de control manual y automática de arranque de la faja, desde el control de voltaje, apertura de frenos y secuencia de arranque en otros. El lenguaje de programación usado es lógica de contactos (KOP), para su desarrollo es tomó en cuenta los planos eléctricos del sistema.
- **FC2:** MOTOR 1M, bloque de control de contactores para aceleración del motor 1.
- **FC3:** MOTOR 2M, bloque de control de contactores para aceleración del motor 2.
- **FC5:** Bloque de comunicación para enviar datos a otro CPU vía Ethernet usado en el bloque de enlaces FC16. Este bloque no se puede editar y está disponible en la librería del STEP 7.

- **FC6:** Bloque de comunicación para recibir datos de un CPU vía Ethernet usado en el bloque de enlaces FC16. Este bloque no se puede editar y está disponible en la librería del STEP 7.
- **FC7:** TENSIONADOR, bloque de control manual y automático del motor tensionador.
- **FC9:** FC-ALARMAS, bloque de control para la detección de alarmas y fallas.
- **FC10, FC11, FC13:** Bloques para intercambio de información entre el PLC de 1A Cola y las demás casas a través de bloques de datos globales.
- **FC12:** BIT DE VIDA, bloque concebido para la detección de falla de comunicación entre PLC a través de un bit que viaja de casa en casa cada 3 segundos.
- **FC14:** MOTORES BLOQUES, bloque de control donde se invoca al bloque de función FB3 concebido para la temporización de la secuencia de arranque de los motores 1 y 2, para cada llamado del bloque de función se debe asignar un bloque de datos de instancia, en este caso se asignan los bloques DB4 y DB5.
- **FC16:** ENLACES, bloque de control donde se invocan a las funciones FC5 y FC6 para el intercambio de información entre PLC vía Ethernet.
- **FC18, FC19, FC20:** Bloques de programación utilizados para el mapeo e intercambio de datos con los equipos de campo vía Profibus, tales como medidores multifunción, variador de velocidad y relés para protección de motores.
- **FC21:** PID\_BALANZA, bloque de control destinado al control PID de la variable flujo de mineral a través de la regulación de la velocidad de referencia del motor del alimentador.

### c) Bloques de Función (FB)

Son bloques programables similares a una función FC pero con memoria. Dispone de un bloque de datos asignados como memoria llamado bloque de datos de instancia. Cuando son invocados, los parámetros locales del bloque de función se transfieren al DB de instancia y se memorizan en la pila de datos del CPU. En nuestra aplicación se usan diversos FB como el FB1 utilizado para almacenar datos de horómetros y FB3 utilizado como temporizador para la secuencia de arranque de los motores.

### d) Bloques de Datos (DB)

Son bloques que no contienen instrucciones, en su cambio sirven para contener datos de usuario que pueden ser utilizados desde cualquier bloque OB, FC o FB. A diferencia de los bloques anteriormente mencionados, los datos de bloques DB no son borrados. Existen dos tipos de bloque de datos, DB global que puede ser accedido desde cualquier bloque lógico

y el DB de instancia que puede accesado solamente por un bloque de función FB. Por ejemplo los bloques DB4 y DB5 son bloques de instancia pues son accesados por el bloque de función FB3 y ambos bloques mantienen los datos de los temporizadores para el arranque del motor 1 y motor 2 respectivamente. Las más relevantes son:

- **DB8:** FALLAS\_ALARMAS, bloque de datos para memorizar el estado de fallas y alarmas, este bloque de datos también es utilizado por el sistema scada para el acuse de alarmas de una manera simple y ordenada.
- **DB9, DB10:** RE\_CASA1 y SE\_CASA1, utilizados para el manejo de los datos recibidos y enviados al PLC de Casa 1, respectivamente.
- **DB11, DB12:** RE\_CABEZA 1A y SE\_CABEZA 1A, utilizados para el manejo de los datos recibidos y enviados al PLC de 1A Cabeza, respectivamente.
- **DB13, DB14:** RE\_CABEZA 1C y SE\_CABEZA 1C, utilizados para el manejo de los datos recibidos y enviados al PLC de Casa 1C, respectivamente.
- **DB100 AL DB107:** HOROMETROS, utilizados para el manejo de los datos de horas acumuladas de los diversos motores.

En base a los bloques descritos se realiza la lógica para el control y monitoreo de la Casa 1A Cola, de manera similar se realizó la programación de los demás PLCs del conjunto superior del Conveyor, en el caso de algunos bloques de función FB fueron utilizados en todas las casas, sin embargo el resto de bloques son propios de cada casa utilizando siempre el mismo esquema sobre todo para el intercambio de datos entre PLCs. Como se puede apreciar la complejidad de la lógica de programación requerida para el control y monitoreo del conveyor es bastante simple, dado que se trata en gran porcentaje de un proceso secuencial.

### 5.1.2 Comunicación de PLCs, dispositivo de control y SCADA

#### a) Sistema SCADA

La red del sistema integrado se configura con la opción Net Pro del STEP 7. En la figura líneas abajo se muestra los seis PLC anteriormente nombrados cada uno con su respectiva periferia descentralizada intercomunicadas con una sub red Profibus local (bus color violeta). Por otro lado se tiene una red principal Industrial Ethernet (red color verde) para unir los seis PLC entre sí, además del nodo correspondiente al Sistema SCADA WINCC. En la figura 5.2, se muestra la configuración de la red.

El protocolo de comunicación usado es el Ethernet Industrial, el cual es una potente red de área para el sector industrial. Para este caso el procesador de comunicaciones CP 343-1

Lean asume el control de la comunicación; independientemente de los medios físicos que se use (fibra, cable, wireless, etc.).

En el Net Pro se pueden observar las direcciones de los equipos: en el caso de las redes Profibus generalmente se asigna la dirección 2 al puerto Profibus integrado en el CPU 315-2DP y dirección 3 a los módulos esclavos IM-153.

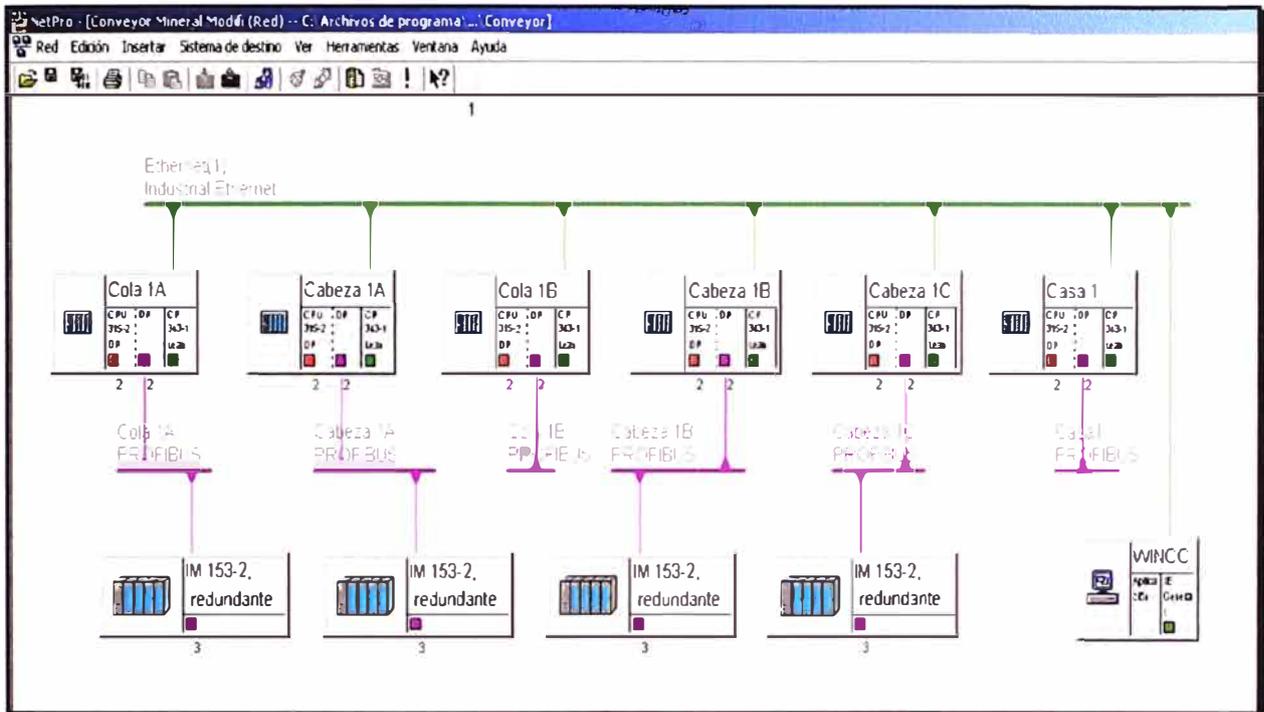


Fig. 5.2 Configuración de la red

Enlaces de comunicación entre PLC's

En la figura 5.3, se muestra la aplicación de los bloques FC descritos para la transferencia de datos bidireccional a través de un enlace configurado.

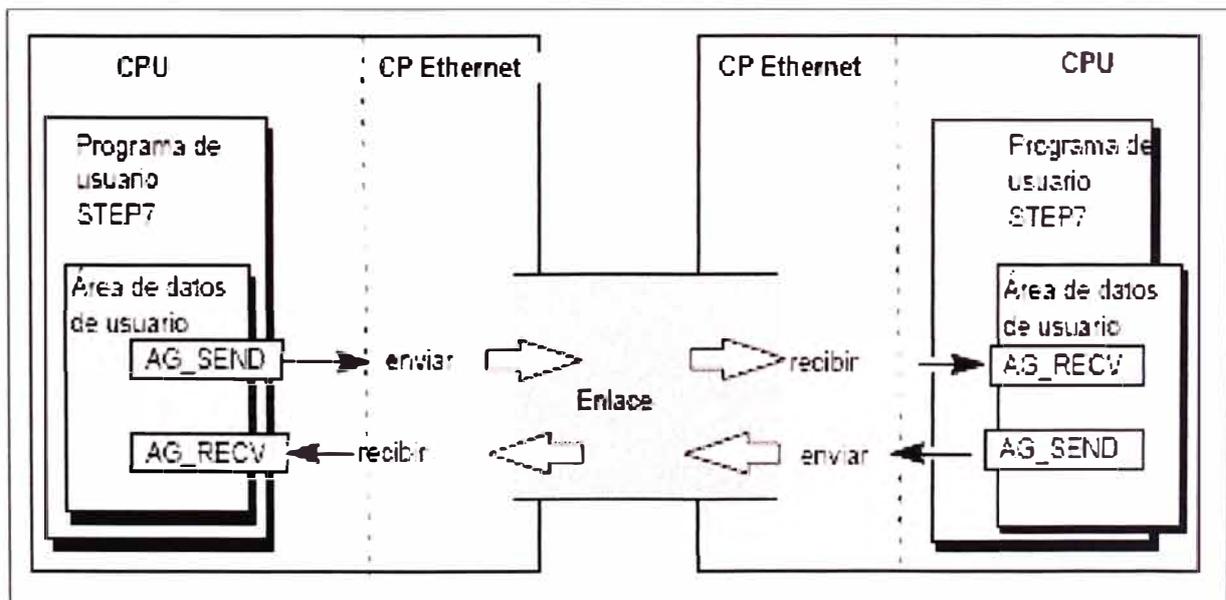


Fig. 5.3 Comunicaciones Send/Receive

De acuerdo a la filosofía de control de las fajas, entre casa y casa, los PLC requieren intercambiar información (comunicarse) para garantizar el control de secuencia y arranque. El CP 343-1 Lean dispone de diferentes servicios de comunicación Ethernet, tales como comunicación OP/PG, comunicación S7, Send/Receive, entre otros; en esta aplicación se usa el servicio de comunicación Send/ Receive.

La interfaz SEND/RECEIVE consta de bloques de función (FC) para los PLC S7-300. Están disponibles los siguientes FCs para la transmisión de datos:

- AG\_SEND (FC5), para enviar datos
- AG\_RECV (FC6), para recibir datos

Estos bloques mencionados envían y reciben datos al CP Ethernet para su transmisión a través de un enlace configurado. El área de datos indicada puede ser un área de marcas o bien un área de bloques de datos.

### **b) Red Profibus**

La comunicación Profibus es la transferencia de datos entre dos interlocutores con diferentes prestaciones y el control de un interlocutor por otro [16]. En este caso la comunicación se establece mediante el puerto de comunicación integrado en la CPU 315-2DP. El nivel sobre el cual se trabaja es el nivel de campo, es decir es el nexo entre las instalaciones (sensores, dispositivos inteligentes) y los controladores programables. En general se transmiten pequeñas cantidades de datos. En este caso es típica una comunicación jerarquizada, es decir varios dispositivos de campo se comunican con un solo maestro.

El protocolo de comunicación usado en este caso es el maestro/esclavo. Según el modelo de CPU utilizado se usa la configuración Profibus DP. En esta configuración, se intercambian los datos entre el maestro DP y esclavos DP (módulos de E/S), a través del maestro DP. El maestro DP explora sucesivamente cada esclavo DP configurado en su lista de llamadas (lista de sondeo) dentro del sistema maestro DP, transmitiendo los datos de salida o recibiendo de vuelta sus valores de entrada. Las direcciones E/S son asignadas automáticamente por el sistema de configuración. Esta configuración se denomina también sistema mono-maestro, porque aquí hay conectados un solo maestro DP con sus respectivos esclavos DP a una red PROFIBUS-DP.

En la figura 5.4, se muestra la distribución de una Red Profibus típica, en este caso de las casa 1A Cola.

Esta misma configuración tiene la casa 1A cabeza y casa 1B cabeza.

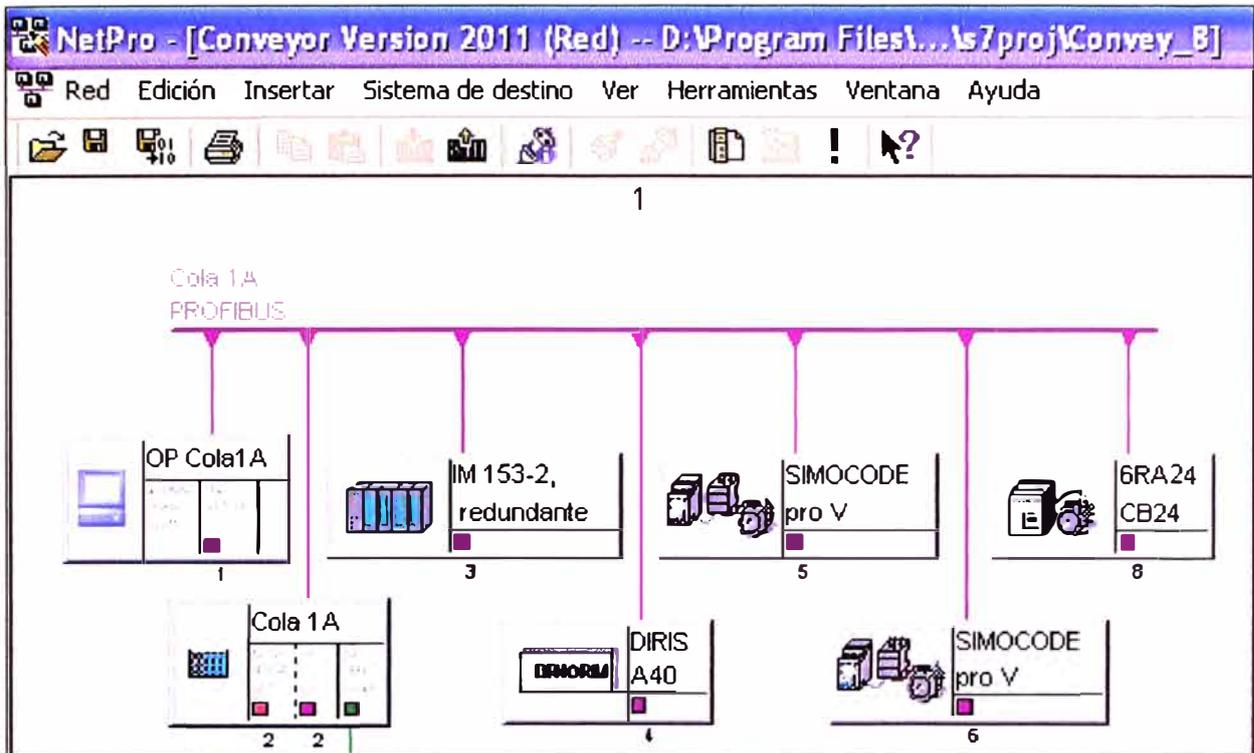


Fig. 5.4 Configuración Red Profibus DP PLC 1A Cola

### c) Red Ethernet

Para la comunicación se utiliza el protocolo Ethernet – Modbus TCP/IP a través de red de fibra óptica, este protocolo de comunicaciones es de arquitectura abierta que permite definir diversas configuraciones de acuerdo a las necesidades del cliente, es un enfoque práctico para utilizar Ethernet como medio de transmisión de datos para aplicaciones de automatización.

#### c.1) Arquitectura de la red Ethernet implementada

Se consideró una red óptica con fibra óptica mono modo entre las estaciones maestra (PLC's) y la estación SCADA teniendo en cuenta las grandes distancias involucradas.

Tal como se muestra en la figura 5.5, la topología física es en estrella utilizando una casa como nodo central y las otras 5 casas restantes se comunican con él.

El nodo central está ubicado en la casa 1C, el PLC ubicado en esta casa se comunica directamente a la red a través de cable STP tipo RJ-45 con un switch administrable Scalance X-400 [18] con entradas para conectores RJ-45 y fibra óptica.

Los enlaces con las demás casas salen directamente del switch por fibra óptica pasando previamente por su respectiva caja de distribución. Las demás casas reciben la fibra óptica el cual llega a su respectiva caja ODF de distribución, de ella sale con cables tipo patch-cord hacia el convertor de medios de fibra óptica a RJ-45 directamente al módulo de comunicaciones del PLC.

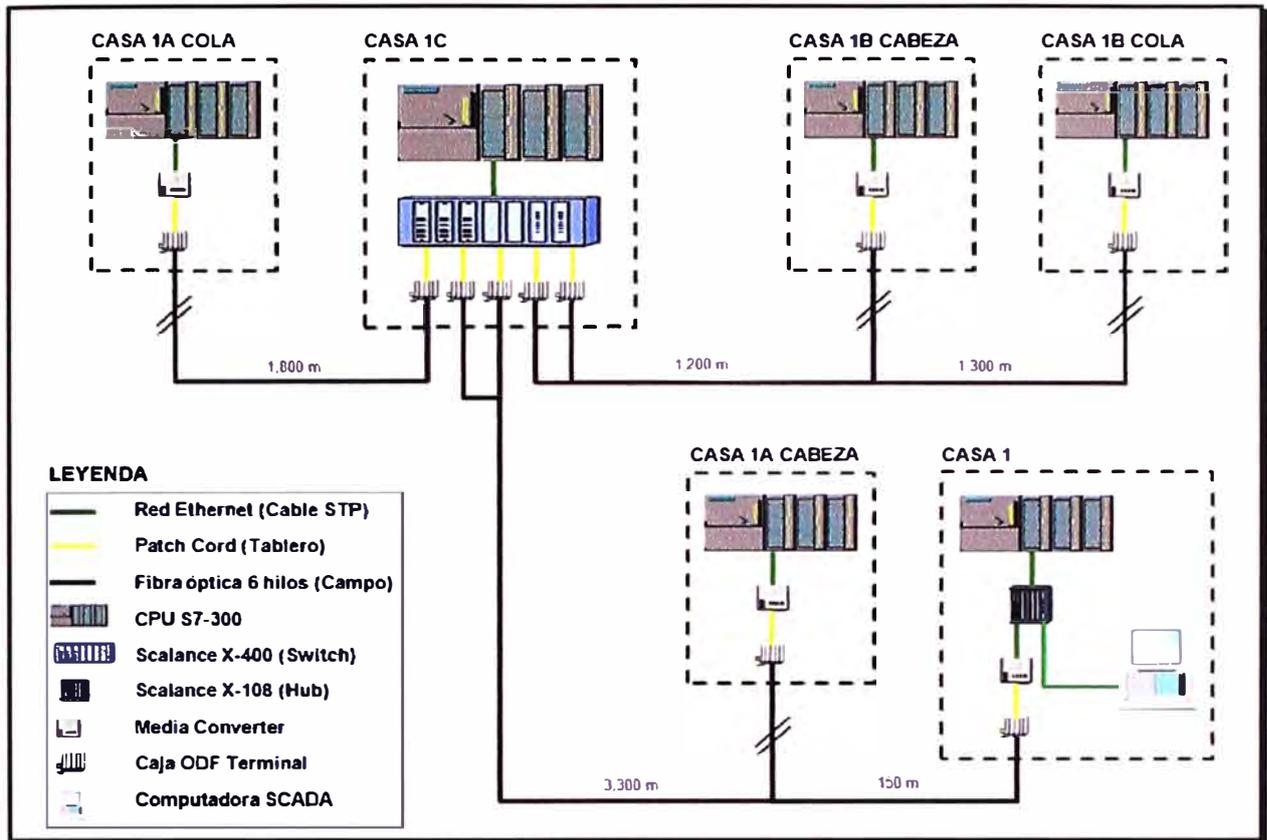


Fig. 5.5 Arquitectura Red Comunicación Ethernet (Parte superior) (Fuente: Elab.Prop.)

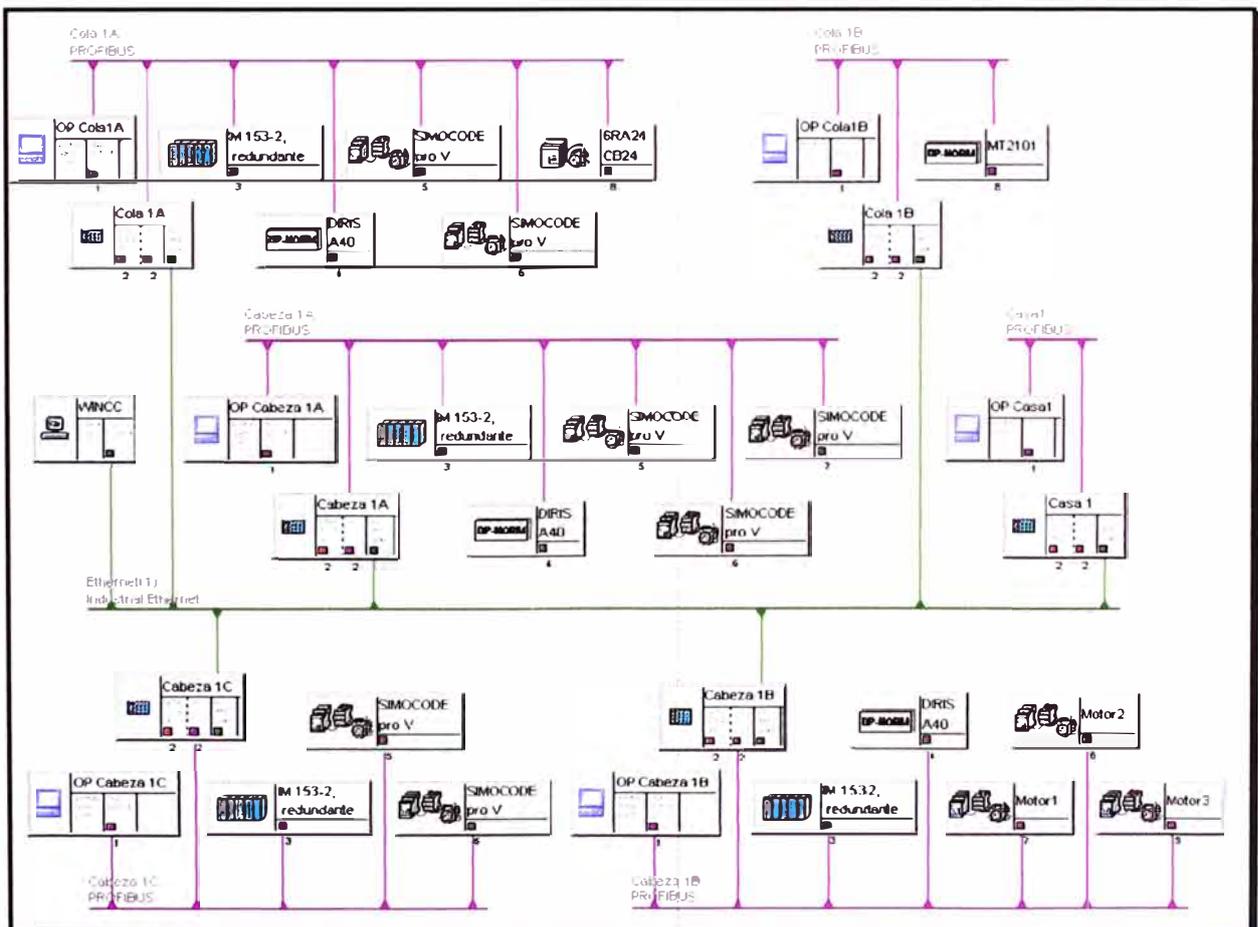


Fig. 5.6 Arquitectura Final Etapa 1 (Parte superior) (Fuente: Ref. [6])

En la configuración estrella (radial), cada switch representa un centro de estrella que puede interconectar hasta 22 estaciones o subredes. A la hora de configurar la red deben respetarse la longitud máxima de cable FO mono modo entre dos módulos: 26 Km con 100 Mbps y la longitud máxima de cable con par trenzado de 100 m

Para la casa 1 se utilizó el modelo X-104, disponible con ocho puertos RJ-45 y diagnóstico local. También son óptimos para construir redes Industrial Ethernet a 10/100 Mbps y topología en línea y estrella.

#### d) Esquema general de la Etapa 1

En la figura 5.6 (página anterior), se muestra el detalle de la arquitectura final mostrando las redes Profibus y Ethernet.

La línea de color verde simboliza la red Ethernet, mientras que las de color fucsia, el Profibus. En este esquema se pueden observar todos los dispositivos mencionados agrupados en cada casa.

#### 5.1.3 Instrumentación

De acuerdo a los requisitos mencionados en la sección 4.1, se instaló diversos instrumentos de campo con opción de comunicación Profibus DP, que fueron implementados como equipos esclavos dentro de la red del maestro DP del CPU 315-2DP. Estos instrumentos se mencionan en la Tabla 5.1, los cuales pasamos a detallar.

**Tabla 5.1** Instrumentos Profibus

Equipo	PLC							
	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 6B.Cola	Casa 6B/7B	Casa 7B.Cab	Stacker
Powermonitor 1000	2	1	1	1	2	1	1	-
Panel View Plus 1500	-	1	1	1	1	1	1	1
Relé E3 Plus	3	3	3	3	2	2	3	-

#### a) Relés Multifunción DIRIS

Estos relés multifunción modelo DIRIS A40 (Figura 5.7), son equipos de control y medición de energía, optimizados para la visualización de las medidas eléctricas en una instalación. Disponen de un display LCD y un teclado de fácil acceso para navegar a través de menús y visualizar la información deseada.

Este relé es usado para registrar en el SCADA los parámetros eléctricos más importantes, tales como corriente, voltaje, potencia y consumo de energía positiva y negativa.



Fig. 5.7 Relé Multifunción Diris A40

Su integración al PLC se logra a través de un módulo opcional de comunicación Profibus-DP, disponible para este modelo de relé. También se requiere el driver de configuración, disponible en un archivo con extensión gsd, que viene con el módulo opcional. Con este archivo es posible implementar el esclavo DIRIS dentro del Configurador de Hardware del STEP 7 con un mapeo de direcciones predefinido, de donde es posible leer casi toda la información disponible del relé multifunción.

#### b) Relés Simocode Pro V

Es un dispositivo para el control y monitoreo de los parámetros eléctricos de motores con una interfaz Profibus-DP integrada (Figura 5.8).

Es del tipo modular ya que la unidad básica se encarga del control de protección y comunicación, otro módulo se encarga de la medición de corriente dependiendo del nivel de tensión y relación de medida, también se dispone de módulos tipo mini panel de operador.

En algunas casas de fuerza es usado para la protección eléctrica de los motores tales como sobrecarga y falla a tierra. Su utilidad más significativa es proporcionar las tres corrientes de fase de todos los motores del sistema para ser leídos y registrados por el SCADA. Esto es muy importante para el operador y cuando se requiere la data para el análisis de fallas.

Por ser un equipo de la marca Siemens, estos modelos vienen por defecto en la lista de esclavos del Configurador de Hardware del STEP 7. Su información se da en una tabla de direcciones definidas al momento de su configuración.

Este dispositivo se encuentra instalado en las casas japonesas que están con PLC siemens.



Fig. 5.8 Simocode Pro-V

### c) Balanza Ramsey Micro-Tech 3000

Este equipo se ubica en la Casa 1B Cola, permite conocer en tiempo real el flujo de mineral en TON/Hora que pasa por la faja mediante la integración de dos señales, la velocidad de la faja a través de un encoder y peso del módulo de pesaje a través de una celdas de carga con galgas extensiométricas. Originalmente solamente se disponía como equipo de medición, con la implementación del PLC se pudo aprovechar su data gracias a su integración a la red Profibus a través de una tarjeta opcional para comunicación Profibus-DP.

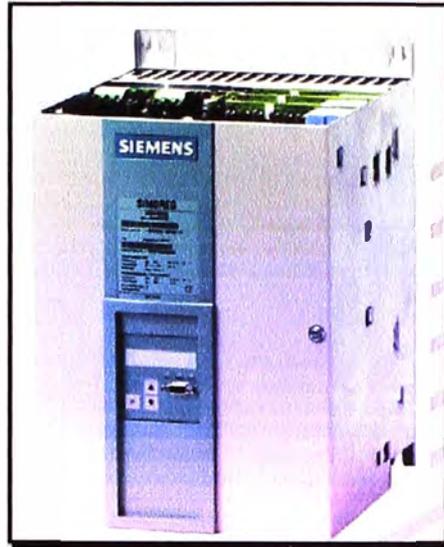
Esta tarjeta opcional también viene con un archivo gsd para ser adicionado a la lista de esclavo Profibus en el configurador de hardware. En las direcciones mapeadas de la balanza también se obtiene los valores de tonelaje acumulado, tonelaje parcial, velocidad y carga de la faja.

Para el caso de la Faja 1A Cola también se dispone de una balanza Ramsey con integrador Micro-Tech 1000, el cual no dispone de la opción de comunicación Profibus por lo cual la señal de flujo de mineral se envía al PLC mediante una salida de 4 a 20 mA.

### d) Variador de Velocidad Simoreg

Los variadores SIMOREG DC MASTER de la serie 6RA70 (Figura 5.9) son aplicables para el control de motores de corriente continua. Son equipos compactos con sistema de control totalmente digitalizado; tienen acometida trifásica y sirven para alimentar los circuitos de inducido y excitación de accionamientos de corriente continua de velocidad variable con corrientes asignada en el circuito del inducido que van desde 15 hasta los 3000 A.

Es utilizado para el control de velocidad del alimentador de mineral (apron feeder).



**Fig. 5.9** Variador de velocidad SIMOREG

Todos los equipos SIMOREG DC MASTER poseen un panel de mando PMU en la puerta. El PMU consta de un indicador de cinco cifras de siete segmentos, tres LEDs para la indicación de estado y de tres teclas para la parametrización. Este equipo trae por defecto un puerto de comunicación profibus DP que es utilizado para comunicarse con el PLC de 1A Cola. Mediante este medio se intercambia información con el SIMOREG tales como palabras de alarmas y fallas, parámetros eléctricos y el valor de porcentaje de salida del control PID para la regulación de la alimentación a la faja 1A.

En el caso de la alimentación a la faja 1B también se utiliza un control PID implementado por software en el PLC, con la diferencia que este no tiene comunicación profibus por lo cual el comando, monitoreo y control se realiza mediante señales discretas y analógicas.

#### **e) Panel de Operador OP77B**

Panel de operador compacto para el manejo y visualización de máquinas e instalaciones. Dispone de entradas numéricas y alfanuméricas, teclas de función para activar directamente funciones y acciones, barras para visualizar de forma gráfica valores dinámicos, administración de usuarios, sistema de alarmas por bit y analógicos, textos de ayuda, puerto de impresión, memoria MMC para guardar configuración y datos de sistema, etc.

Este panel permite al operador de cada casa la interacción con el proceso del Conveyor, tales como: acuse de fallas, reinicio de fallas, comandos de alarma, configuración de tiempos y visualización de los parámetros más importantes. A diferencia de un PLC que requiere programación, un panel de operador requiere su configuración, para este tipo de panel se utiliza el software de configuración WinCC Flexible Standard.

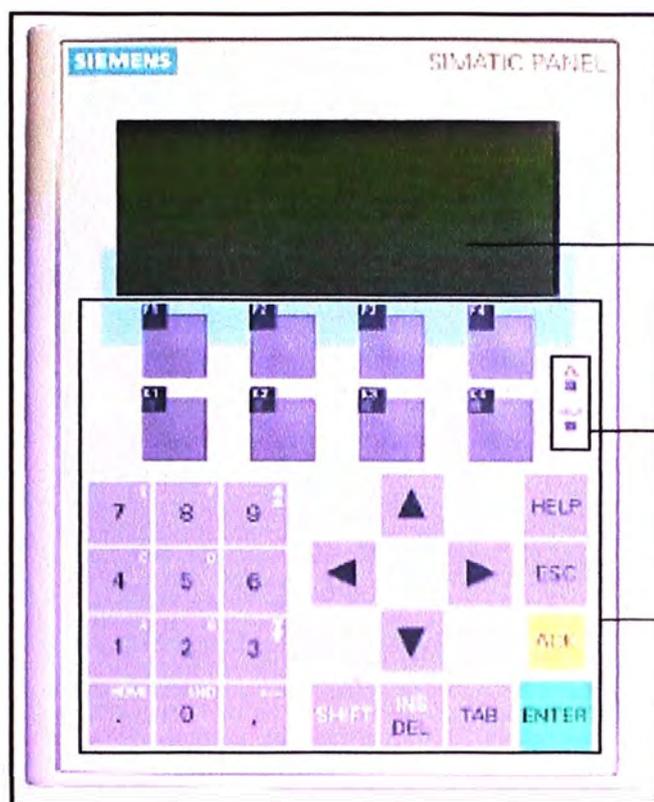


Fig. 5.10 Panel de operador OP77B (Fuente: Ref. [5])

## 5.2 Integración del PLC al control eléctrico de fajas (ALLEN BRADLEY)

### 5.2.1 Programación PLC

El software de programación utilizado es el RSLogix 5000 versión 17, el cual permite la programación de las series ControlLogix y CompactLogix entre otras en varios lenguajes estandarizados incluidos dentro de la norma IEC 1131-3 tales como el lenguajes de programación KOP (esquemas de contactos), AWL (lista de instrucciones), (SFC) diagrama de función secuencial y FUP (diagrama de funciones).

Dentro de sus características está la simplicidad de programación, configuración de hardware, definición de tags y además dispone de aplicativos como Tool Compare para comparar diferencias entre programas, etc.

Una particularidad importante de los PLC Allen Bradley es que manejan las memorias internas como tags y no como direcciones, independientemente del tipo de variables que sean. Los nombre de estos tags se almacenan junto con el programa siendo recuperado cada vez que se uno se conecta al CPU.

Para la programación, específicamente para el control de la faja transportadora se tomó como referencia la filosofía descrita en el capítulo 3.2 y los planos eléctricos que se disponía del sistema conveyor.

En el anexo C se muestran algunos bloques de control utilizados en la programación del PLC. El objetivo es brindar una idea del tipo de lógica desarrollada en los PLC del conjunto central e inferior de la marca Allen Bradley, para lo cual en la figura 5.11 se muestra la interfaz de programación, en este caso del controlador instalado en la Casa 1.

Para la organización de los programas se pueden dividir en tareas (Tasks), pudiendo ser cada tarea del tipo continuo o del tipo periódico. Dentro de cada tarea se pueden crear diferentes programas (Program), cada uno de ellas con rutinas (Routine) de diferentes prioridades de ejecución, que pueden ser invocadas entre sí, definiendo siempre una tarea y programa como principal. Este software permite crear tags del tipo predefinidos por el usuario, que pueden trabajarse como bloques de datos y también para ser usados como variables en el caso de subrutinas.

En este caso para el proceso de la faja transportadora se utiliza una sola tarea principal del tipo continuo, dentro de ella se ha creado un solo programa el cual contiene todas las rutinas de control, las cuales se pasan a describir:

- MAIN\_ROUTINE: Rutina principal desde el cual se invocan las demás sub - rutinas, cada uno con un propósito específico (Ver Anexo-C).
- DATOS\_COMM: Sub-rutina, donde se realiza el intercambio de datos en forma ordenada entre el PLC de Casa 1 y de las demás casas con fines de control del proceso y monitoreo para su visualización en los paneles de operador. El intercambio de datos se hace usando el modo de datos consumidos y producidos.
- E3: Sub-rutina donde se hace la lectura de los datos entregados por los medidores de corriente de los motores.
- FALLAS\_CASA: Sub-rutina que contiene la lógica para la detección de fallas y alarmas, cada falla se implementó con funciones disponibles en la librería ALMD y ALMA, el cual permite definir parámetros útiles como tiempos de retardo, bit de reconocimiento, bit de reseteo, entre otros.
- FRENOS: Sub-rutina de control para la operación de apertura y cierre de los frenos durante la secuencia de arranque.
- INPUT\_DI: Sub-rutina donde se listan las entradas en forma ordenada y se le asignan el nombre a los tags internos.
- MOTORES: Sub-rutina para el control de los motores auxiliares como el compresor, ventilador y tensionador.
- OUTPUT\_DI: Sub-rutina donde se listan los tags internos y se les direcciona la salida.

- POWERMONITOR: Sub-rutina donde se hace la lectura de los datos entregados por el medidor multifunción de la casa y de las sub-estaciones.
- RUTINA\_SEC: Sub-rutina donde se procesa toda la lógica de secuencia de arranque y parada de la faja, incluyendo la secuencia de aceleración de los motores.
- SECUENCIA\_APAGADO: Sub-rutina creada para la opción de apagado automático del sistema Conveyor.
- SECUENCIA CASA: Sub-rutina donde se procesa la lógica para determinar todas las condiciones necesarias para el funcionamiento de la faja incluyendo los estados de las fallas y control de voltaje.

A diferencia de los PLC Siemens usados en el conjunto superior, no se tiene bloques de datos, en su cambio se dispone de tags los cuales tienen un nombre único dentro de cada programa y son almacenados en el CPU del PLC. Este tipo de identificación del tag permite una programación más sencilla al no necesitar apuntar a una dirección o memoria interna. Estos tags pueden ser de varios tipos o formatos predefinidos como booleano, real, decimal entre otros, y también pueden ser definidos por el usuario de tal manera que cada tag puede compararse a un bloque de datos similar a los usados en el STEP 7.

Para la comunicación online del RSLogix con los PLC y de la mayoría de equipos de automatización de Rockwell se utiliza un programa adicional que es el RSLinx el cual se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos y dispone de los drivers necesarios para enlazar las redes Allen Bradley con sus programas de configuración de PLC y Scadas. En este caso para los dispositivos con comunicación Ethernet, previamente deben estar declarados y reconocidos dentro de la lista disponible en el RSLinx a través del driver Ethernet IP. Existen varias versiones del RSLinx tales como el Lite, Gateway, OEM, etc.; cualquiera de ellos es requerido para comunicarse con los dispositivos CompactLogix y ControlLogix.

Cada vez que se hace una descarga (download) de un programa en el RSLogix, también se transfieren los datos de configuración I/O.

RSLinx es una herramienta de comunicación esencial cuando nos queremos comunicar con equipos de redes de Allen-Bradley. Sin RSLinx, no podremos conectarnos a nuestro equipo.

Según el tipo de procesador seleccionado se creara el “el arbol del proyecto”. Este arbol de proyecto es el punto de acceso para sus archivos de programa, tablas y bases de datos (figura 5.11).

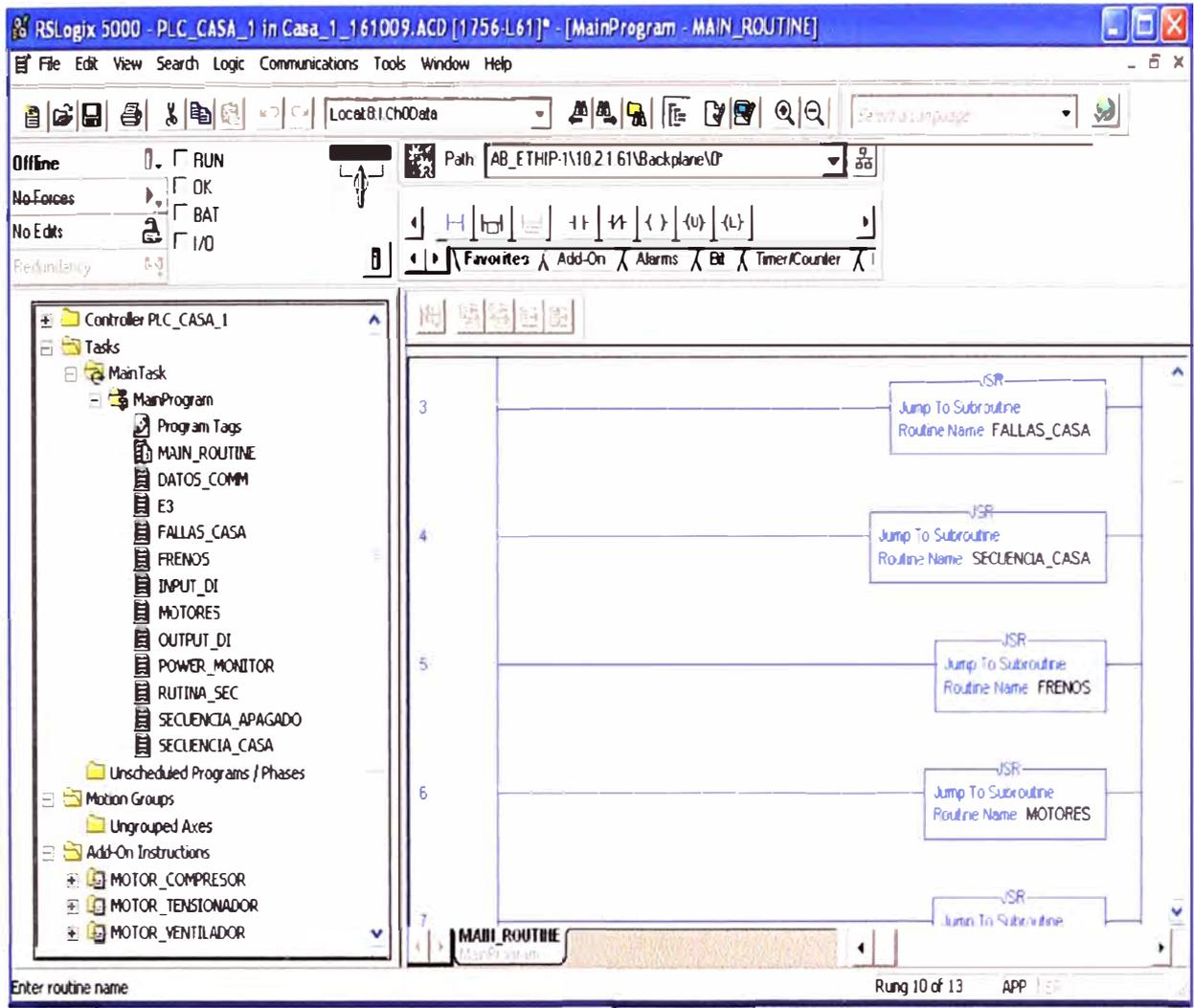


Fig. 5.11 Programación típica PLC con software RSLogix 5000

## 5.2.2 Software y desarrollo del sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA)

### a) Sistema SCADA

El sistema de supervisión SCADA usado y actualmente operando es el Software SCADA Factory Talk View diseñado para soportar toda la arquitectura de automatización de la línea Rockwell de Allen Bradley. Su función como todo software SCADA es la supervisión, control y adquisición de datos de todas las fajas soportado por sus características de animación a través de las pantallas gráficas, avisos de alarma en tiempo real, registro de tendencias en tiempo real e histórico, entre otros.

Este SCADA fue instalado en tres computadoras industriales cada una con diferentes objetivos. Un SCADA está ubicado en la Casa 1 para uso del operador master con fines de control del sistema, otro está ubicado en las oficinas del personal de mantenimiento cerca a la Casa 6B para fines de monitoreo de la operación y el último está ubicado en la Casa 1C

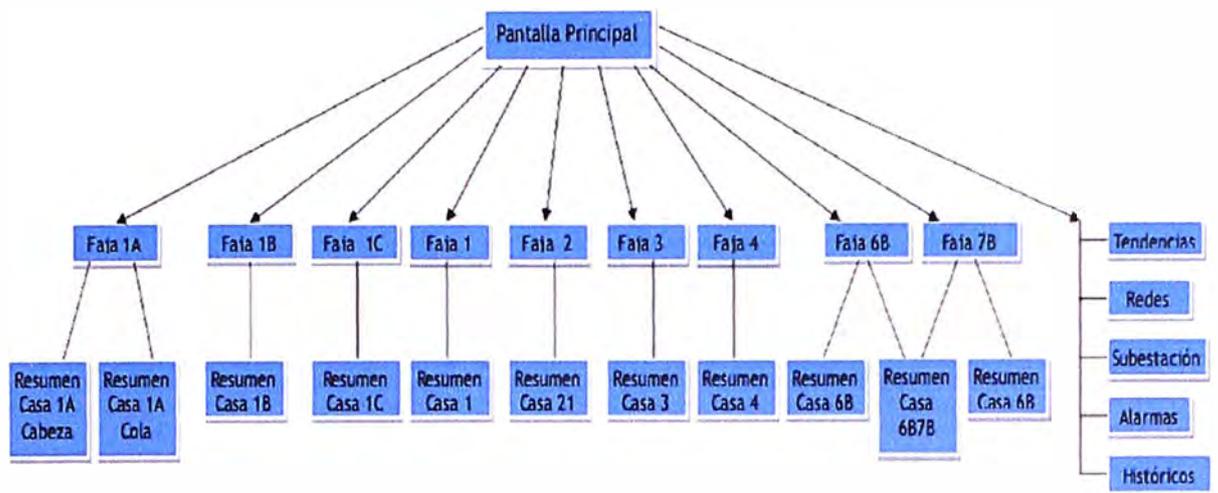
Cabeza para uso del personal de Instrumentación con fines desarrollo de la aplicación y monitoreo de los PLC.

Las dos primeras computadoras tienen instalado el software FTView Station para ejecución de la aplicación SCADA y el último incluye el software de configuración de PLC RSLogix y el software de desarrollo del SCADA y de los paneles de operador FTView Studio Enterprise. Las licencias de runtime instalados para el FTView Station es de 100 pantallas.

Para el diseño de las pantallas se mantuvo un formato similar al diseñado en el tablero de luces ubicado en casa master (figura 4.3), como mejora se utilizaron las ventanas flotantes para comando de motores y en el diseño se usó bastante los objetos globales para las diversas pantallas que se repetían cada uno orientado a parámetros diferentes. El esquema de navegación de pantallas se muestra en la figura 5.12.

Las pantallas que se pueden visualizar en el sistema de monitoreo SCADA son las siguientes (anexo A):

- Pantalla Principal.
- Pantalla Faja 1A.
- Pantalla Faja 1B.
- Pantalla Faja 1C.
- Pantalla Resumen Casa 1A Cola.
- Pantalla Resumen Casa 1A Cabeza.
- Pantalla Resumen Casa 1B Cabeza.
- Pantalla Resumen Cabeza 1C Cabeza.
- Pantalla Faja 1: Muestra en detalle los amperajes de los motores de la faja 1, estado de los frenos, ventiladores y compresor de aire. Tiene sub ventanas que permite el re-arranque por secuencia y visualizar las etapas de aceleración de los motores por resistencias.
- Pantalla Faja 2, 3, 4, 5, 6B y 7B son de configuración similar a la pantalla de Faja 1.
- Pantalla Stacker.
- Pantalla Bombeo de Agua Salada: Muestra los estados de las bombas que se encuentran distribuidos a lo largo del Conveyor. Tiene sub ventanas que permiten el arranque y parada y cambio de modos de funcionamiento de las bombas
- Pantalla Resumen Casa 1: Muestra el estado de las alarmas de la casa, el amperaje de los motores y parámetros eléctricos de los motores y/o sub estación.



**Fig. 5.12** Esquema de navegación pantallas SCADA FTView

Pantalla Resumen Casa 2, 3, 4, 6B cola, 6B/7B, 7B cabeza son de configuración similar a la pantalla resumen de Casa 1

**Pantalla Alarmas:** Permite visualizar la ocurrencia de alarmas en cualquiera de las fajas. Los datos que se mostrarán por cada alarma son fecha y hora de ocurrencia de la alarma, descripción de la alarma y lugar de procedencia de la alarma. También se dispone de un archivo histórico de alarmas por día.

**Pantalla Sub Estación:** Muestra un diagrama unifilar de la distribución de energía desde la línea de acometida hasta los motores de todas las fajas del sistema Conveyor desde el Stacker hasta la parte alta. El usuario puede visualizar la corriente, voltaje y potencia en la parte inferior de la pantalla.

**Pantalla Redes:** Muestra todos los componentes de la red instalada que abarca la arquitectura Siemens y Allen Bradley, en caso de falla de comunicación de alguna de las estaciones de trabajo (PLC) se mostrará un mensaje indicando la ubicación de la falla de comunicación.

**Pantalla Tendencias:** Muestra las gráficas de las señales analógicas en tiempo real, estas señales se han agrupado según el lugar de procedencia.

**Pantalla Históricos:** Muestra los registros históricos hasta un año de las señales analógicas más importantes.

**Pantalla Reporte de Energía:** Muestra los datos de performance como horas motor y consumo de energía en Kilowatts de todas las casas del sistema y de las bombas de agua salada.

**Sub Pantalla de Amperajes:** Muestra un resumen de todos los amperajes de todos los motores del sistema.

Menú Inferior: Contiene los botones para mostrar las diferentes pantallas descritas.

Menú Superior: Contiene una sub ventana de alarmas (alarmero) y botones para resetear fallas.

Otras sub pantallas que se usan frecuentemente en todas las pantallas son los controles de arranque y parada de las compresoras y ventiladores, sub ventana de re-arranque y sub ventana de secuencia de aceleración de motores.

Sub Pantalla Alimentador 1A: Se muestra el controlador PID para el alimentador 1A y permite el ingreso del setpoint de referencia deseado en TMS/Hora.

Sub Pantalla Alimentador 1B: Similar a la Sub Pantalla Alimentador 1A.

## b) Enlaces de comunicación entre PLC y SCADA

Como se explicó anteriormente, el Scada FTView usa el software Rslinx para poder comunicarse con un PLC de la familia Allen Bradley de forma simple, en este caso cada vez que desde el SCADA se desea enlazar alguna acción o animación se abre directamente el PLC requerido y se selecciona el tag, la selección puede ser online u offline. No se requiere mayor configuración para el direccionamiento de tags (Figura 5.13). Cuando se trata de apuntar a un tag de un PLC de otro fabricante, en este caso de los PLC Siemens instalados en la Parte Alta, se utiliza la comunicación cliente-servidor OPC (OLE para procesos y control), el cual es un protocolo de comunicaciones abierto que los distintos fabricantes de equipos de automatización ponen a disposición.

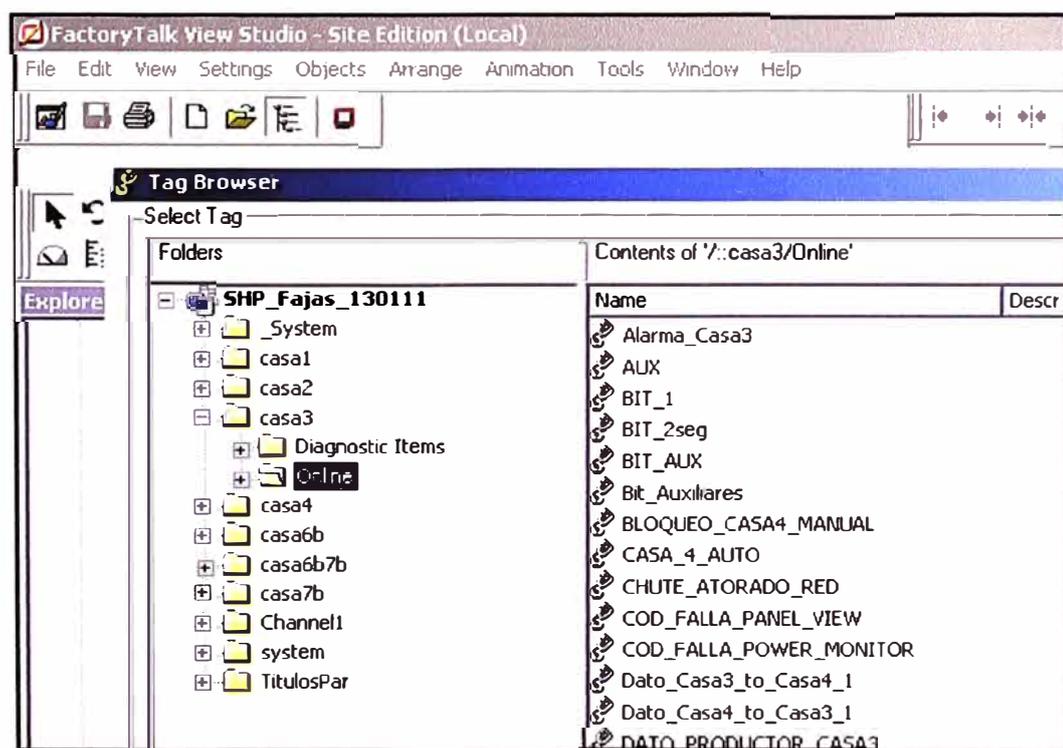


Fig. 5.13 Direccionamiento de tags por RsLinx

Para realizar la comunicación OPC se debe tener un cliente y un servidor OPC para que puedan intercambiar información, en este caso el SCADA FTView hace la función de cliente OPC y el KepServer (Figura 5.14) hace la función de servidor OPC.

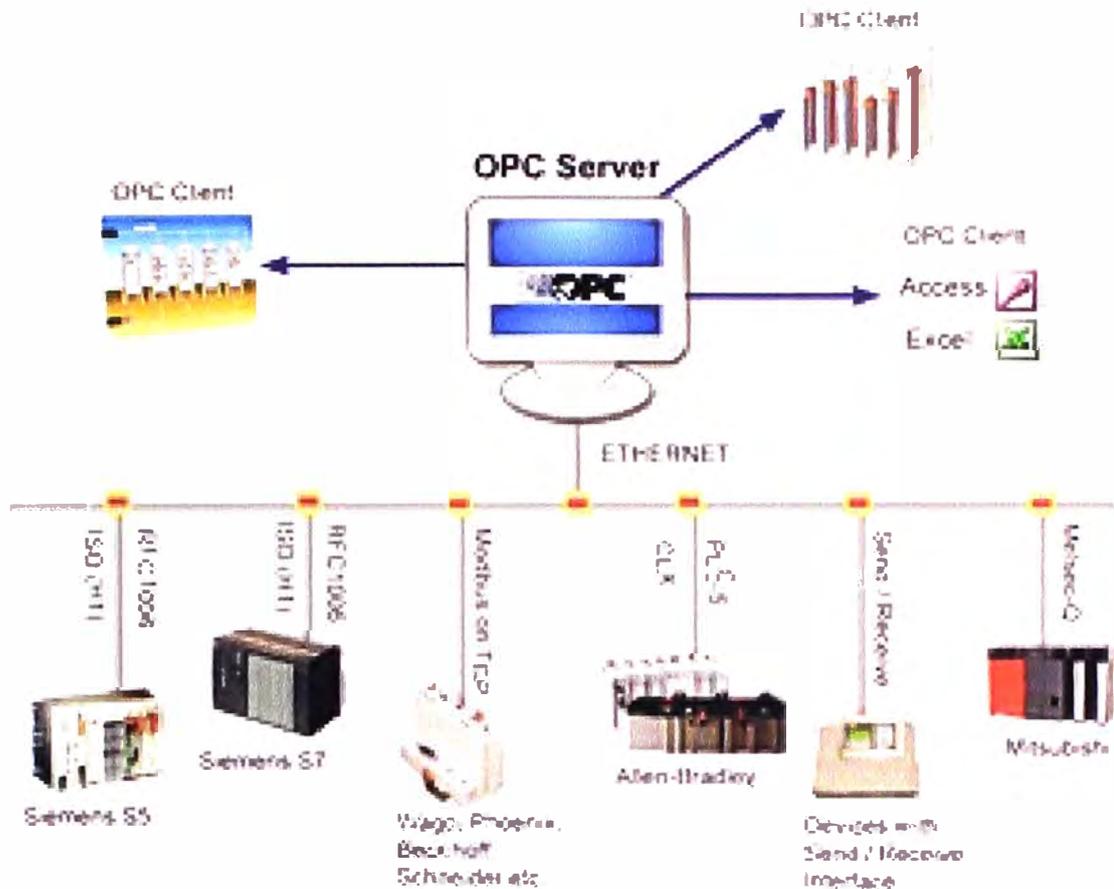


Fig. 5.14 Configuración y direccionamiento KepServer

El software KepServer es una aplicación que dispone de una amplia lista de protocolos de comunicación, solamente se requiere adquirir la licencia de servidor OPC con el protocolo adecuado.

Como el SCADA está conectado a todos los PLC a través del medio Ethernet, se escoge el protocolo Siemens TCP/IP Ethernet para acceder a los tags previamente configurados en el KepServer. El KepServer funcionará como un servidor OPC el cual puede ser reconocido por el cliente OPC del FTView, de esta manera los tags pueden ser usados por el SCADA.

### 5.2.3 Comunicación de PLCS, dispositivo de control y SCADA

#### a) Configuración de la red Allen Bradley

La red del sistema integrado se configura automáticamente desde el momento que se le asigna la dirección IP única a cada CPU. Estas direcciones IP deben ser diferentes a las asignadas a los demás dispositivos Ethernet. El RSLinx mencionado en el punto anterior es el que se encarga de enlazar a los dispositivos de una red Ethernet entre sí.

Cuando se instala un CPU en blanco se debe acceder con la herramienta opcional BootP/DHCP Server donde una vez conectado se reconocerá su dirección MAC, a través del cual es posible configurar sus parámetros de red Ethernet (Figura 5.15).

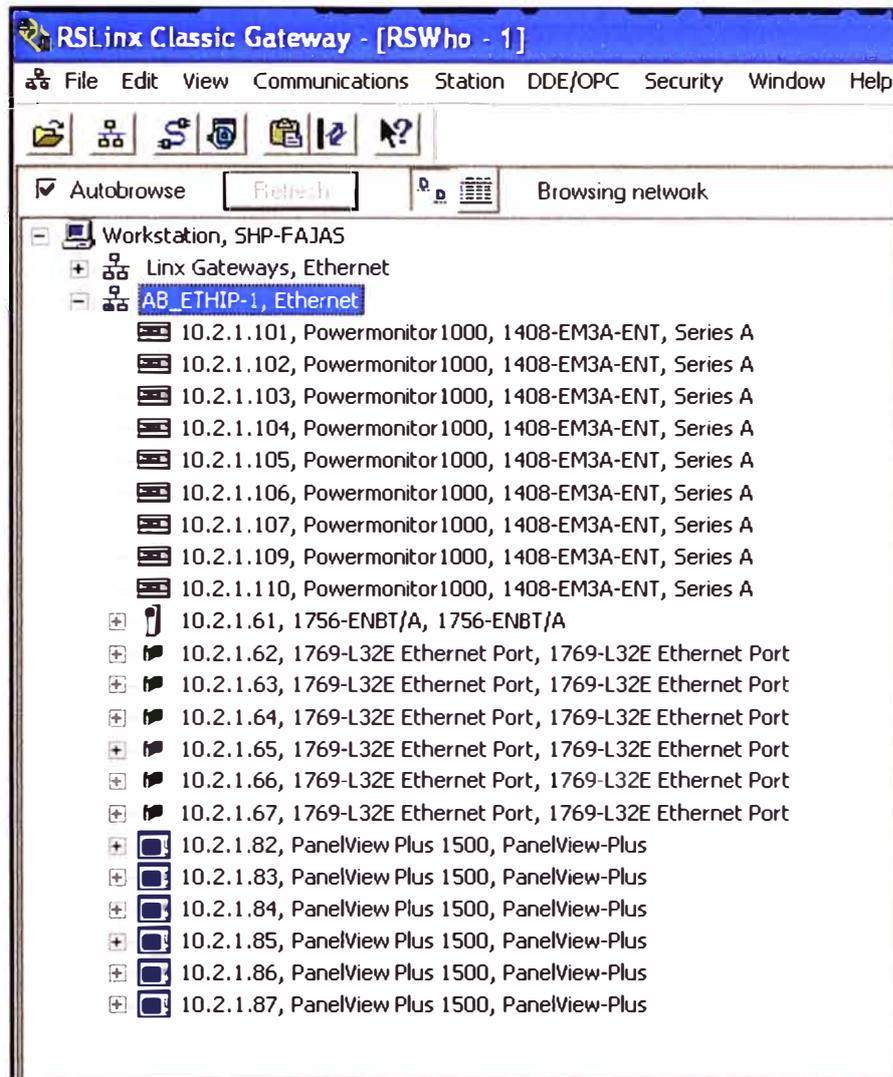


Fig. 5.15 Dispositivos reconocidos en el RSLinx (Fuente: ref [22])

El protocolo de comunicación usado es el Ethernet / IP, el cual es una potente red de área y célula para el sector industrial conforme a las normas IEEE 802.3 (ETHERNET) y 802.11 (Wireless LAN).

En la Tabla 5.2 se listan las direcciones IP de los PLC Allen Bradley, puede notarse que están en la misma red 10.2.1 que la red Siemens, con una diferencia en el PLC del Stacker que tiene otra red 10.2.2 debido a que se comunica en forma inalámbrica pasando por un gateway que cambia la red. En el caso del Stacker solamente es posible la comunicación por Ethernet con el PLC siempre y cuando se realice el cambio a la red 10.2.2 y estando a un lado del gateway, en el otro lado del gateway es posible la comunicación desde cualquier punto de la red a cualquier PLC, incluso a los PLC Siemens.

**Tabla 5.2** Direcciones IP PLC Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

<b>Equipo</b>	<b>Interfaz</b>	<b>Dirección IP</b>
Casa 1	1756-ENBT	10.2.1.61
Casa 2	1769-L32E	10.2.1.62
Casa 3	1769-L32E	10.2.1.63
Casa 4	1769-L32E	10.2.1.64
Casa 6B Cola	1769-L32E	10.2.1.65
Casa 6B / 7B	1769-L32E	10.2.1.66
Casa 7B Cabeza	1769-L32E	10.2.1.67
Stacker	1769-L32E	10.2.2.68

Además de los PLC se tienen otros dispositivos que también requieren direcciones IP que se listan en la Tabla 5.3, tales como las computadoras SCADA, paneles de operador instalados en cada casa excepto la Casa 1 por disponer de un SCADA exclusivo para la operación y medidores multifunción para todas las casas y las Sub estaciones.

**Tabla 5.3** Direcciones IP dispositivos Ethernet Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

<b>Equipo</b>	<b>Interfaz</b>	<b>Dirección IP</b>
Casa1	SCADA para Operaciones	10.2.1.41
Casa 6B Cola	SCADA para mantenimiento	10.2.1.42
Portátil	SCADA para Ingeniería	10.2.1.43
Casa 2	Panel View Plus 1500	10.2.1.82
Casa 3	Panel View Plus 1500	10.2.1.83
Casa 4	Panel View Plus 1500	10.2.1.84
Casa 6B Cola	Panel View Plus 1500	10.2.1.85
Casa 6B / 7B	Panel View Plus 1500	10.2.1.86
Casa 7B Cabeza	Panel View Plus 1500	10.2.1.87
Stacker	Panel View Plus 1500	10.2.2.68
Casa 1	Powermonitor 1000	10.2.1.101
Casa 2	Powermonitor 1000	10.2.1.102
Casa 3	Powermonitor 1000	10.2.1.103
Casa 4	Powermonitor 1000	10.2.1.104
Casa 6B Cola	Powermonitor 1000	10.2.1.105
Casa 6B / 7B	Powermonitor 1000	10.2.1.106
Casa 7B Cabeza	Powermonitor 1000	10.2.1.107
S.E. 2B	Powermonitor 1000	10.2.1.109
S.E 2C	Powermonitor 1000	10.2.1.110

## b) Enlaces de comunicación entre PLC

Al igual que la parte superior del Sistema Conveyor, los PLC de la parte central e inferior también requieren intercambiar información. Para la transferencia de datos entre los PLC CompactLogix y ControlLogix desde la Casa 1 hasta la Casa 7B Cabeza, se utiliza la opción de comunicación por datos producidos y consumidos, dado que solo se necesitan una transmisión regular a una velocidad determinada.

Los tags producidos por un controlador pueden ser consumidos por múltiples controladores, estos datos se actualizan en intervalo de paquetes solicitados (RPI) según lo configurado por los tags de consumo (Figura 5.16).

La cantidad máxima recomendable de tags producidos es de 500 bytes. Para poder consumir un dato, previamente debe ser configurado como un módulo Ethernet dentro de la configuración I/O del RSLogix.

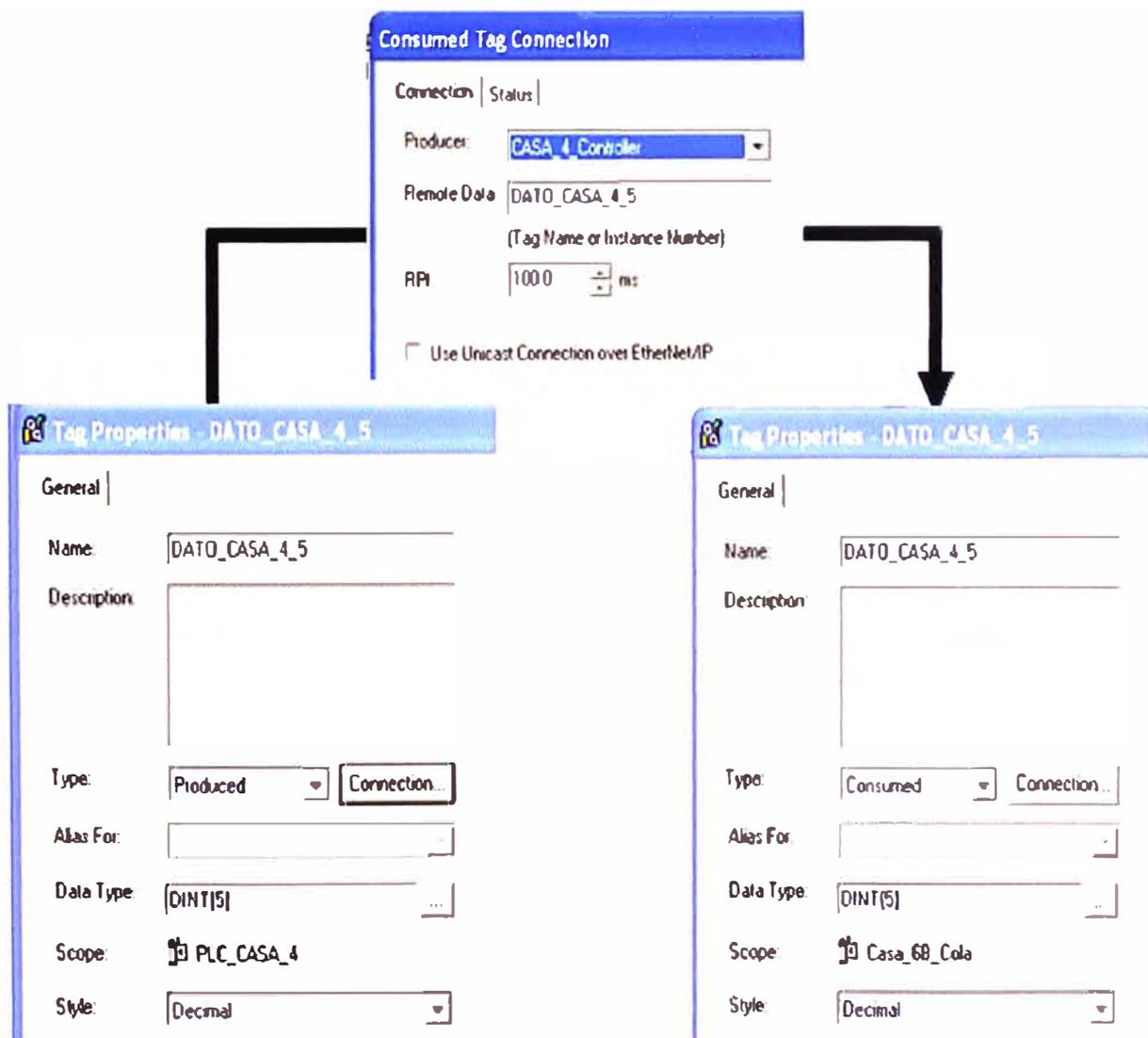


Fig. 5.16 Comunicación por tags producidos - consumidos

Para el caso de transferencia de datos entre el PLC de Casa 7B Cabeza y el Stacker se utiliza las funciones de mensajería por paquetes MSG. Los códigos o bloques de mensaje se ejecutan en el PLC del Stacker, un bloque para el envío de datos y otro para la recepción, donde ambos bloques se ejecutan en tiempos distintos. Cabe indicar que se usó este tipo de comunicación debido a que en este tramo no existe fibra óptica y la comunicación por datos producidos – consumidos no aplicaba por estar en grupos de red distintos, en cambio a través del bloque MSG basta con declarar el nombre de la variable a acceder y la dirección IP del CPU remoto. Esta comunicación dio buenos resultados a través del enlace inalámbrico de radio modem usando como concentrador un gateway.

En el otro caso de la Casa 1, dado que se disponen de dos marcas de PLC, Siemens y Allen Bradley, se vió la posibilidad de adquirir un módulo interfase para hacer la comunicación entre el protocolo Profibus y Device Net, sin embargo para ahorro de costos y simplicidad se optó por hacer interconexión por cableado duro a través de entradas y salidas digitales y analógicas.

### **c) Red Device Net**

Device Net es una red de control inteligente de bajo costo que conecta una amplia gama de dispositivos, permitiendo que puedan ser leídos y controlados remotamente. Cada red Device Net es controlada por un módulo de comunicaciones instalado en el PLC, en el caso de la Casa 1 se tiene el módulo Scanner 1756-DBN y en las demás casas se tiene el módulo Scanner 1769-SDN. Estos módulos scanner sirven como interfaces entre los dispositivos Device Net y el controlador ControlLogix o CompactLogix, se comunican con un dispositivo mediante varios tipos de mensaje: mensajes de estroboscopia, encuesta, cambio de estado y/o cíclicos. Éste usa estos mensajes para solicitar datos desde, o enviar datos a, cada dispositivo.

Los datos recibidos desde los dispositivos, o los datos de entrada, son organizados por el módulo scanner y se ponen a disposición del controlador. Los datos recibidos desde el controlador, o los datos de salida, son organizados en el módulo scanner y se envían a los dispositivos.

La configuración de la comunicación Device Net se realiza mediante la herramienta RSNNetWorx for Device Net (Figura 5.17), en el cual primero se debe crear un archivo con extensión dnt., luego seleccionar el hardware correcto para los dispositivos a conectar. Se debe tomar en cuenta las direcciones de los nodos seleccionados, en este caso el scanner siempre tiene el nodo “0”

Los módulos E3 Plus tienen los nodos “1”, “2” y “3”, dependiendo de la cantidad de motores.

Una vez creada la red device net, se debe escoger los parámetros a monitorear, estos datos podrán ser configurados de manera automática en la tabla de datos de entrada del módulo scanner. Para la conexión online y descarga de la configuración debe seleccionarse la ruta correcta a través del RSLinx, seleccionando el puerto disponible del módulo scanner y el PLC correcto.

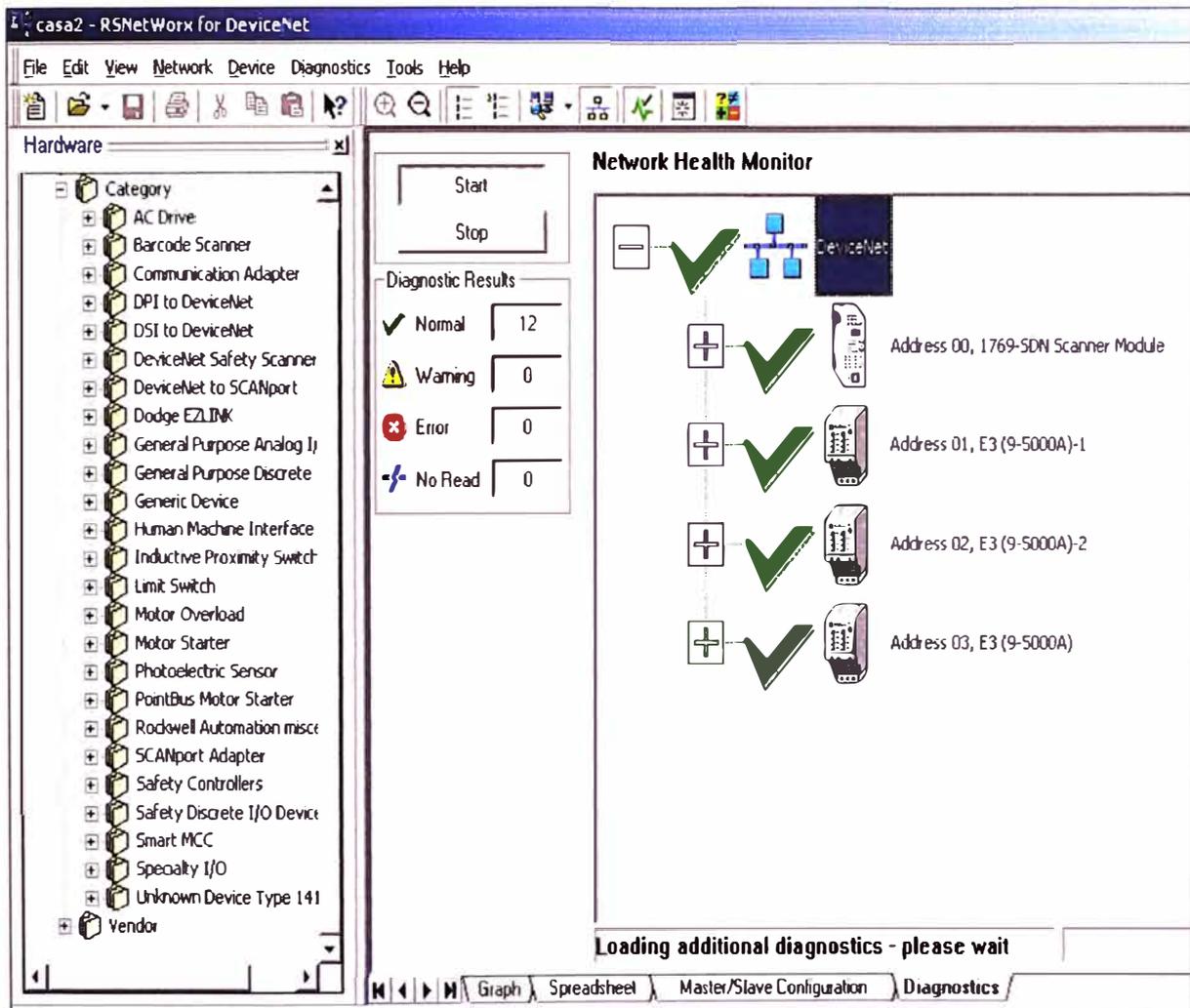


Fig. 5.17 Configuración red Device Net – Casa 2

Para la implementación de estas redes se debe tener en cuenta aspectos tales como la longitud de la red, consumo de corriente de los dispositivos, dentro de los más importantes, así como también una serie de componentes como conectores, terminaciones, fuente de alimentación y cables.

Dentro de las características más importantes de esta red se tiene su velocidad de transmisión de 500 Kbps hasta una distancia máxima de 100 metros o 125 Kbps hasta 500 metros como máximo, distancias mayores se logra con el uso de amplificadores dado que

se envía la alimentación de 24 Vdc y señal por el mismo cable, soporta hasta 64 nodos siendo el método de acceso multicasting, es decir que todos los nodos reciben todos los mensajes.

#### **d) Red Ethernet**

El estándar utilizado para la red Ethernet es una combinación entre el 100Base-TX y 100Base-FX (se utiliza medios físicos de cable UTP y fibra óptica), con una velocidad de transmisión de 100 Mbps. Para el estándar 100Base-TX la longitud máxima entre el concentrador y una estación es 100 metros, mientras que para el estándar 100Base-FX es hasta 20 Km.

Se consideró una red óptica con fibra óptica monomodo para enlazar los controladores (PLC's) y estaciones SCADA teniendo en cuenta las grandes distancias involucradas.

A diferencia de la topología estrella usada en la parte alta del Conveyor, en este sector se utiliza una topología tipo bus, lineal o semi-anillo; es decir, se tienen las casas del Conveyor como nodos a lo largo de un bus de fibra óptica siendo el extremo inicial la Casa 1 y la Casa 7B Cabeza.

En los nodos extremos la fibra óptica se enlaza con un switch administrable a través de un conversor de medios (media converter), todos los dispositivos Ethernet se conectan mediante cable trenzado UTP a los puertos RJ45 del switch administrable. Para los nodos ubicados en medio del bus la fibra óptica ingresa y sale de la casa, enlazándose a través del switch administrable mediante sus puertos RJ45.

Con la finalidad de prevenir una falla de la fibra óptica, se consideró un enlace inalámbrico redundante entre la casa 7B Cabeza y la Casa 1, de tal manera que entre en funcionamiento siempre y cuando se cae la comunicación por fibra óptica entre una casa y otra.

**Tabla 5.4** Enlace Casa 1 – Casa 7B Cabeza

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código</b>	<b>Cant.</b>
1	Winlink 1000 ODU PoE Radio 5.8 GHz, 16 dBm N-Hembra RADWIN	AT0063002	1
2	Cable F/UTP 4x2x24 AWG Cat. 5E Apantallado Exteriores preconectorizado	AT0040103	1
3	Antena Parrilla 6°, 27 dBi, 5.8 GHz, Hyperlink	HG5827G	1
4	Cables coaxiales superflex ¼" corrugados N-N macho	H6-NPNP-1.5M	1

Tabla 5.5 Enlace Casa 7B Cabeza - Casa 1

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Winlink 1000 ODU PoE Radio 5.8 GHz, 16 dBm N-Hembra RADWIN	AT0063002	1
2	Cable F/UTP 4x2x24 AWG Cat. 5E Apantallado Exteriores preconectorizado	AT0040103	1
3	Antena Parrilla 6ª, 27 dBi, 5.8 GHz, Hyperlink	HG5827G	1
4	Cables coaxiales superflex ¼" corrugados N-N macho	H6-NPNP-1.5M	1

### e) Esquema final de la solución implementada

En la figura 5.18 se muestra la arquitectura de la red Ethernet correspondiente al conjunto Central e Inferior.

Por otro lado, en la Figura 5.19 se muestra el esquema de las redes Device Net, también para el conjunto Central e Inferior.

Finalmente en la Figura 5.20, se muestra la arquitectura actual de la red Ethernet del Sistema Conveyor.

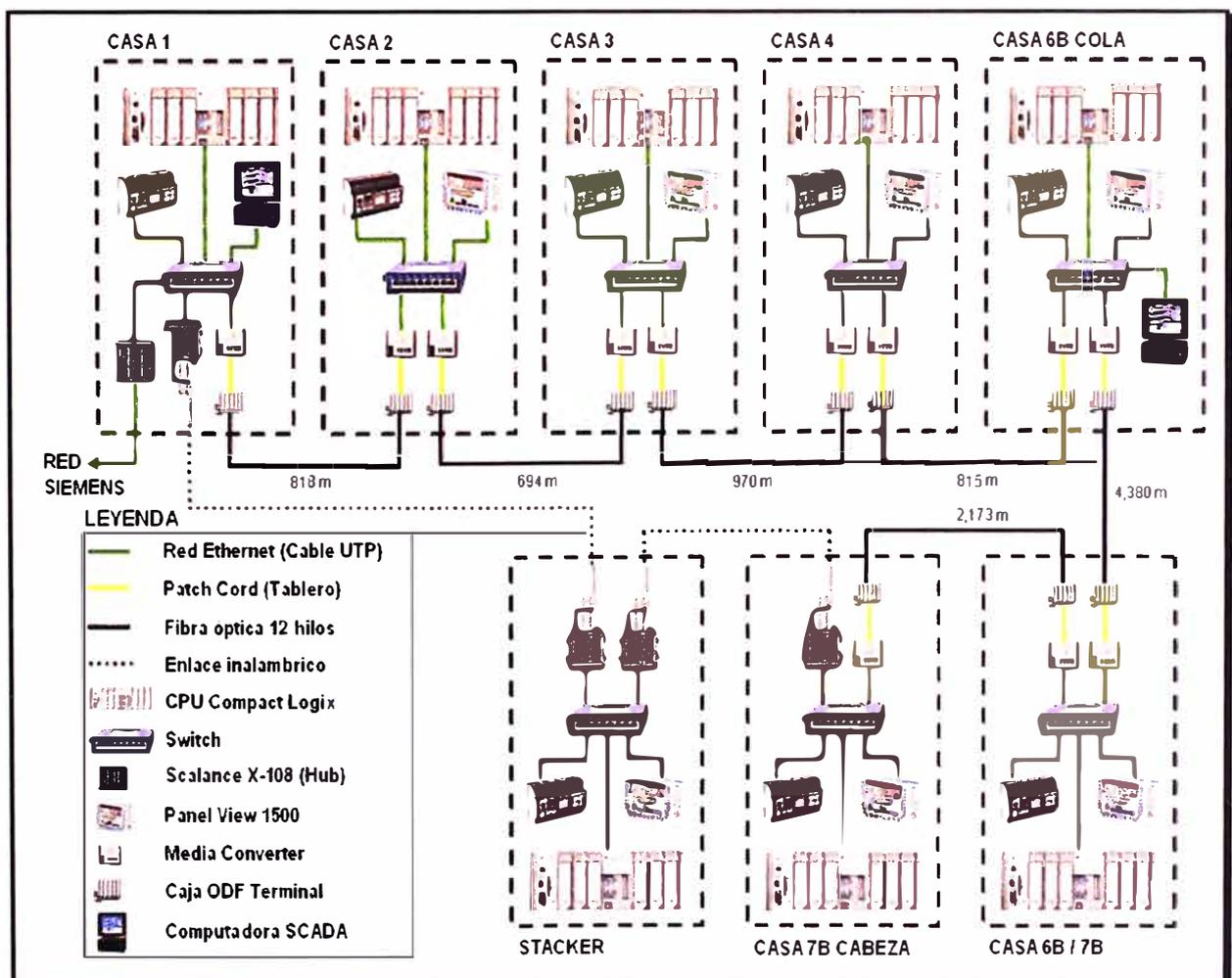


Fig. 5.18 Arquitectura Red Comunicación Ethernet (Conjunto Central e Inferior)

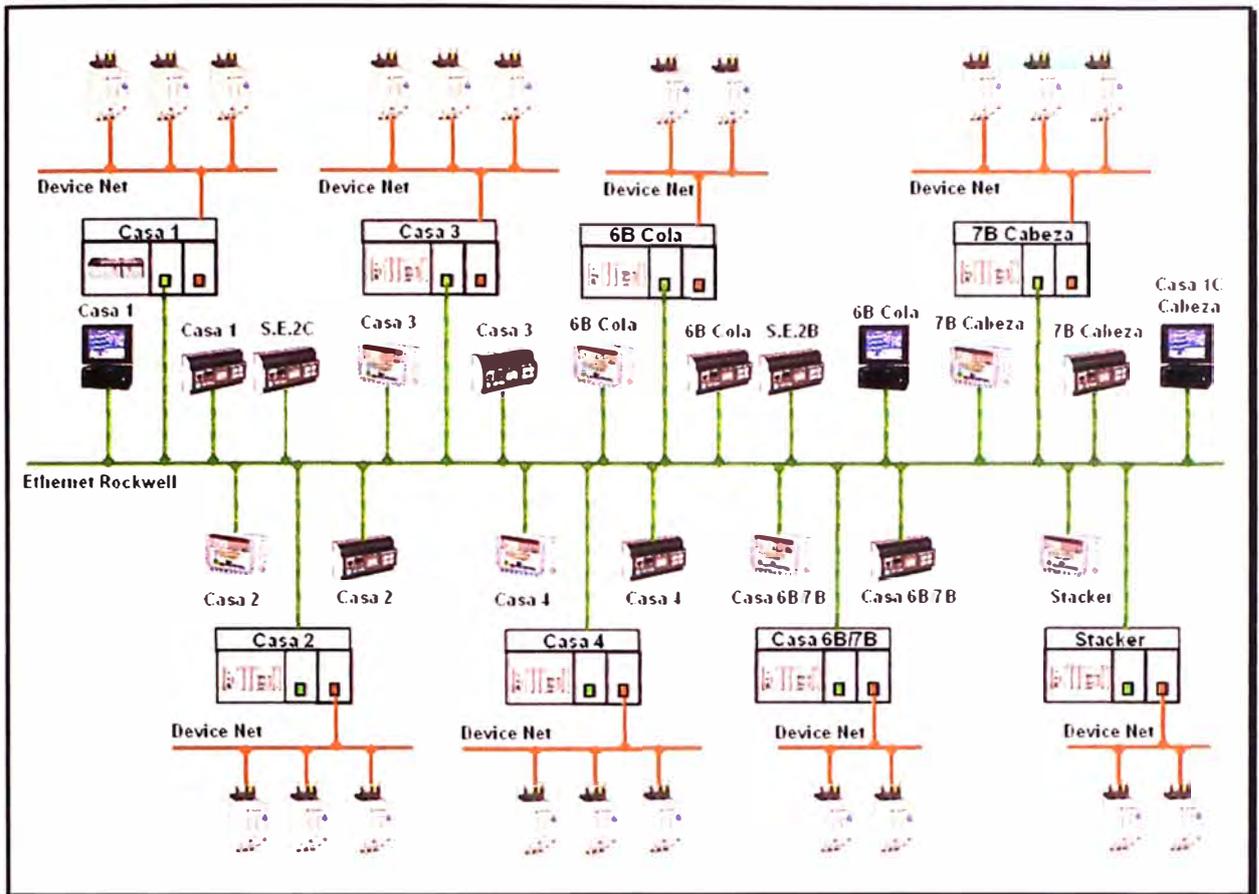


Fig. 5.19 Detalle Redes Device Net (Conjunto Central e Inferior)

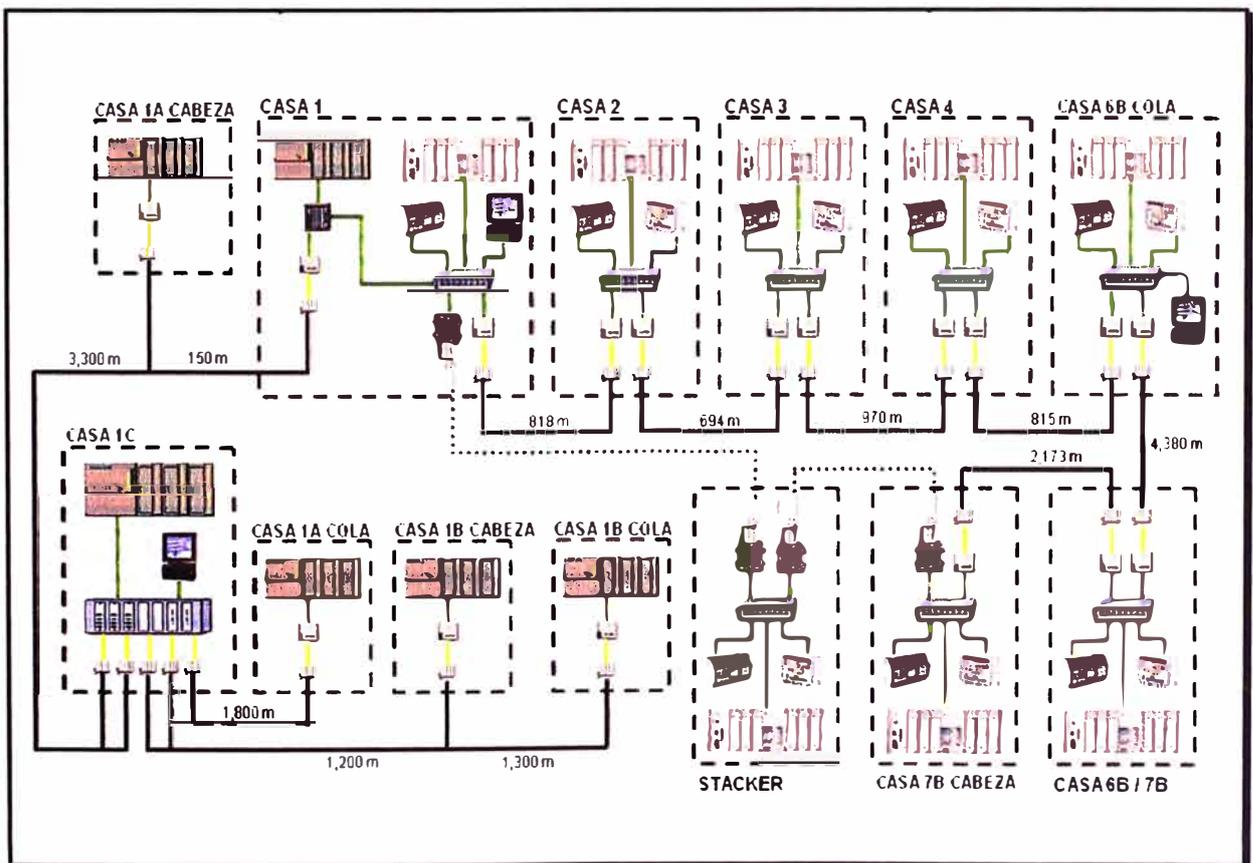


Fig. 5.20 Arquitectura Comunicación Sistema Conveyor

### 5.2.4 Instrumentación

De acuerdo a los requisitos mencionados en la sección 4.1, se instaló algunos instrumentos de campo con opción de comunicación Device Net y otros con comunicación Ethernet. Estos instrumentos se mencionan en la siguiente tabla, los cuales pasamos a detallar.

**Tabla 5.6** Instrumentos Device Net / Ethernet

Equipo	PLC							
	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 6B.Cola	Casa 6B/7B	Casa 7B.Cab	Stacker
Powermonitor 1000	2	1	1	1	2	1	1	-
Panel View Plus 1500	-	1	1	1	1	1	1	1
Relé E3 Plus	3	3	3	3	2	2	3	-

#### a) Medidor Powermonitor 1000

Dentro de la familia de Rockwell Automation se ofrece diferentes soluciones para el monitoreo y administración de la energía, uno de estos productos es el Powermonitor modelo 1000 (Figura 5.21) el cual es un medidor multifunción que permite la lectura de diversos parámetros eléctricos con características de integración a controladores (PLC) y sistemas Scada.

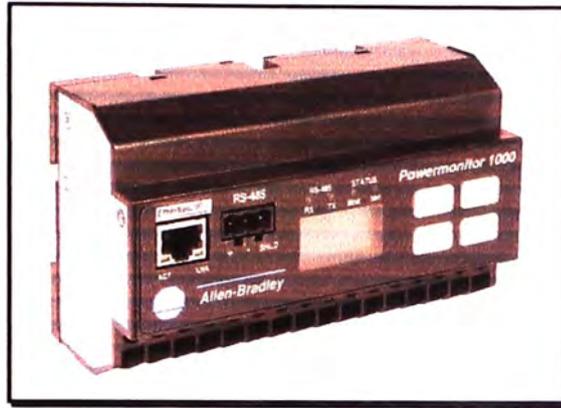
Para esta aplicación se escogieron los modelos 1408-EM3A-ENT cuyas características más importantes son su capacidad de comunicación Ethernet con velocidades de comunicación de 10 o 100 Mbps ya sea half-duplex o full-duplex y su página web integrada.

El protocolo de comunicación usado es el Ethernet/IP el cual permite el enlace del Powermonitor con el RSLinx, previamente se debe configurar su dirección IP, anteriormente listadas en la Tabla 5.4, una vez conectado debe ser reconocido por el RSLinx en forma automática.

A través de su página web integrada se realiza la configuración de los parámetros eléctricos a compartir, se puede acceder a una tabla de datos donde se debe escoger que parámetros se enviarán en un paquete de 16 palabras. Para la comunicación con el PLC se debe implementar el Powermonitor dentro de la opción I/O Configuration del RSLogix como un módulo de comunicaciones genérico indicando su nombre, dirección IP, tamaño de datos de entrada y tiempo de actualización de datos.

Una vez creado, se habilitarán los tags con el mismo nombre que se escogió en el paso anterior, estos datos deben tener un formato predefinido para el Powermonitor disponible en la librería del RSLogix 5000. De esta manera los datos están disponibles en el PLC y

leídos directamente por el Scada FTView. Hasta 16 datos pueden ser enviados por el Powermonitor 1000, todos ellos son usados para tener en tiempo real el consumo y flujo de energía en el conveyor en la pantalla de consumo de energía del SCADA.



**Fig. 5.21** Powermonitor 1000 Allen Bradley

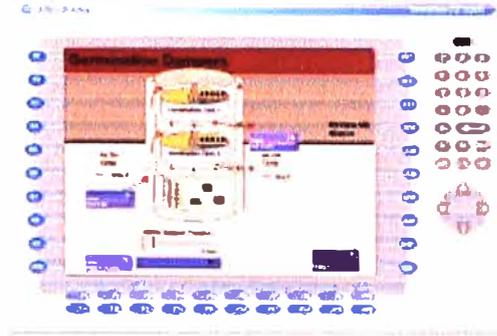
#### **b) Panel View Plus 1500**

El Panel de operador seleccionado para cada una de las 8 casas es el Panel View Plus 1500 de Allen Bradley (Figura 5.22), el cual cuenta con puerto Ethernet y permite una fácil integración a la red. Cuenta con un teclado de fácil interpretación y ranura para memoria Flash hasta 64 Mbytes.

El software requerido para su configuración es el Factory Talk View Studio, dentro del cual se debe seleccionar la aplicación “machine edition”, su editor es bastante similar al editor del sistema SCADA, por lo que casi todas pantallas del sistema SCADA que se acaban de mencionar pueden ser usadas en los paneles sin necesidad de programación adicional, lo cual disminuye considerablemente el tiempo de programación.

Este panel permite al operador tener la información necesaria del sistema, especialmente de la casa en la que se encuentra, tales como amperajes de los motores, estados de alarmas y fallas activas. También permite al operador el accionamiento de motores como el compresor principal, ventiladores de sala de motores, arranque de bombas, borrado y reconocimiento de fallas.

Cada panel tiene asignado una dirección IP, listado anteriormente en el punto 4.15, que le permite ser reconocido por el RSLinx, esta característica es una ventaja versus los paneles de operador usados en la parte alta comunicados por Profibus, ya que hace posible conectarse a cualquier tag de los PLC conectados a lo largo de toda la Red Ethernet, es decir puede mostrar información del PLC de su propia casa y también de las demás casas del Conveyor (casa1, casa2, casa3, casa4, casa 6B cola, casa 7B cabeza, apilador movil, casa transferencia).



**Fig. 5.22** Panel View Plus 15'' Allen Bradley

### c) Relé E3 Plus

Para el monitoreo de los amperajes de los motores, se escogió el relé de sobrecarga de estado sólido E3 Plus (Figura 5.23). Si bien este relé dispone de funciones de protección, solamente es usado con fines monitoreo aprovechando su conectividad a través de su puerto Device Net.

Este relé acepta diversas funcionalidades Device Net de las cuales se usa la transmisión de mensajes de E/S encuestadas. Cada relé dentro de una red Device Net debe tener una única dirección de nodo, esta dirección se configura de manera física con los conmutadores ubicados en la parte frontal.

Otra forma de ajustar la dirección del nodo y configurar el relé es usando la herramienta RSNetWorx para Device Net disponible en el RSLogix 5000. Para que los dispositivos Device Net puedan ser reconocidos por el RSNetWorx deben comunicarse con el RSLinx, previamente actualizado o registrados con su respectivo archivo ESD, similar a los archivos extensión GSD que se usaban para la configuración de una red Profibus.

Con el RSNetWorx se configura la tasa de actualización, mapeo de datos y parámetros básicos del relé. Una vez hecho esto se lee directamente el valor como una entrada del módulo scanner Device Net.



**Fig. 5.23** Relé E3 Plus

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los PLC son recomendables para procesos donde se tiene gran cantidad de señales de ingreso y salida así como un sistema de transporte de mineral de gran longitud.
2. El sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) permite un mejor monitoreo e información de datos estadísticos y fallas que permite un mejor mantenimiento preventivo programado y correctivo de los procesos.
3. Con la incorporación del PLC y SCADA al control eléctrico del sistema de transporte de mineral (Conveyor) se logro incrementar el transporte de mineral y minimizar los tiempos de parada por fallas eléctricas elevando la confiabilidad y la eficiencia de todo el sistema.
4. Este sistema permite la instalación de nuevos dispositivos eléctricos y si por alguna razón se desea migrar a otras maquinas u otro tipo de proceso también se puede adaptar fácilmente.
5. La lista de repuestos se reduce considerablemente minimizando los costos.
6. Una de las desventajas que conlleva este sistema es la capacitación constante del personal a este nuevo sistema eléctrico y la necesidad de contrata de personal especializado.
7. El costo de inversión es totalmente recuperable a mediano y/o corto plazo.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**Pantallas Scada**

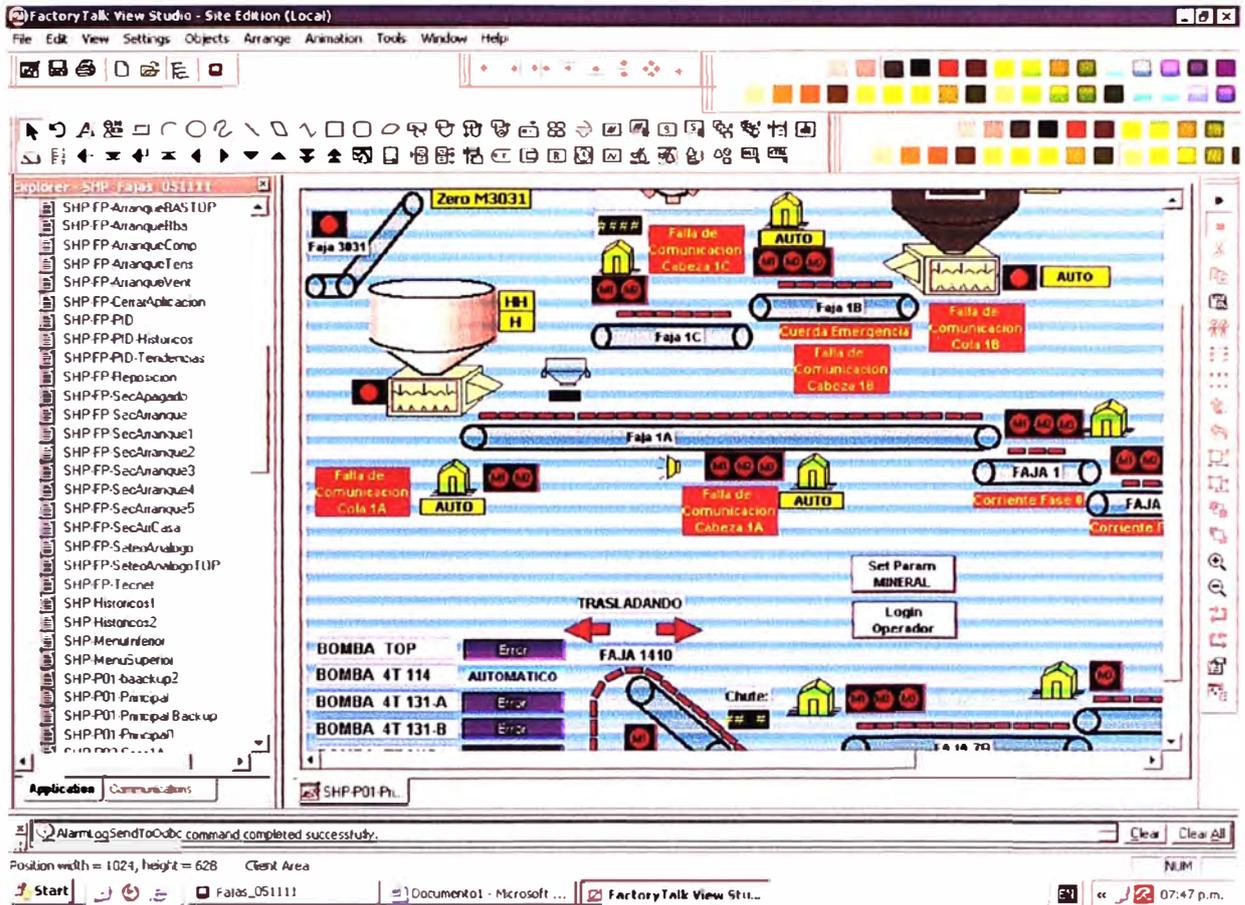


Fig. A.1 Factory Talk View [5]

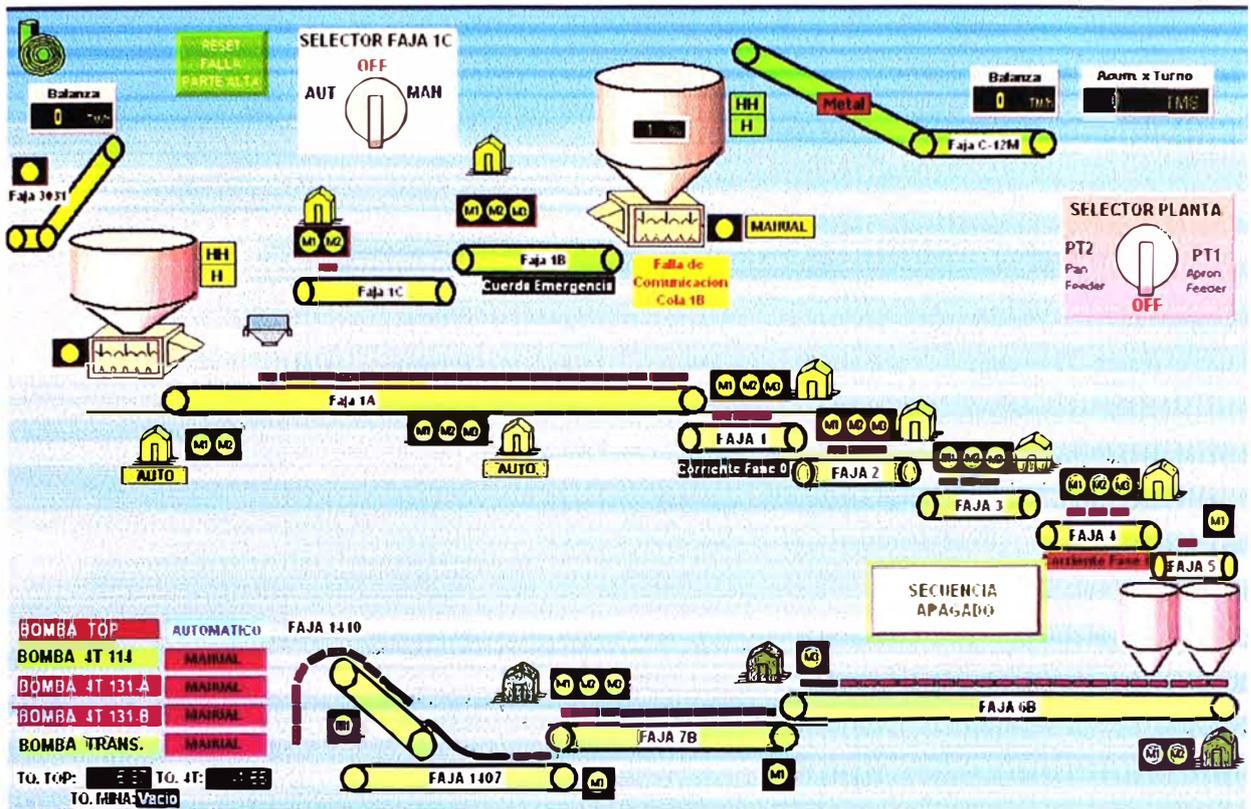


Fig. A.2 Pantalla principal [5]

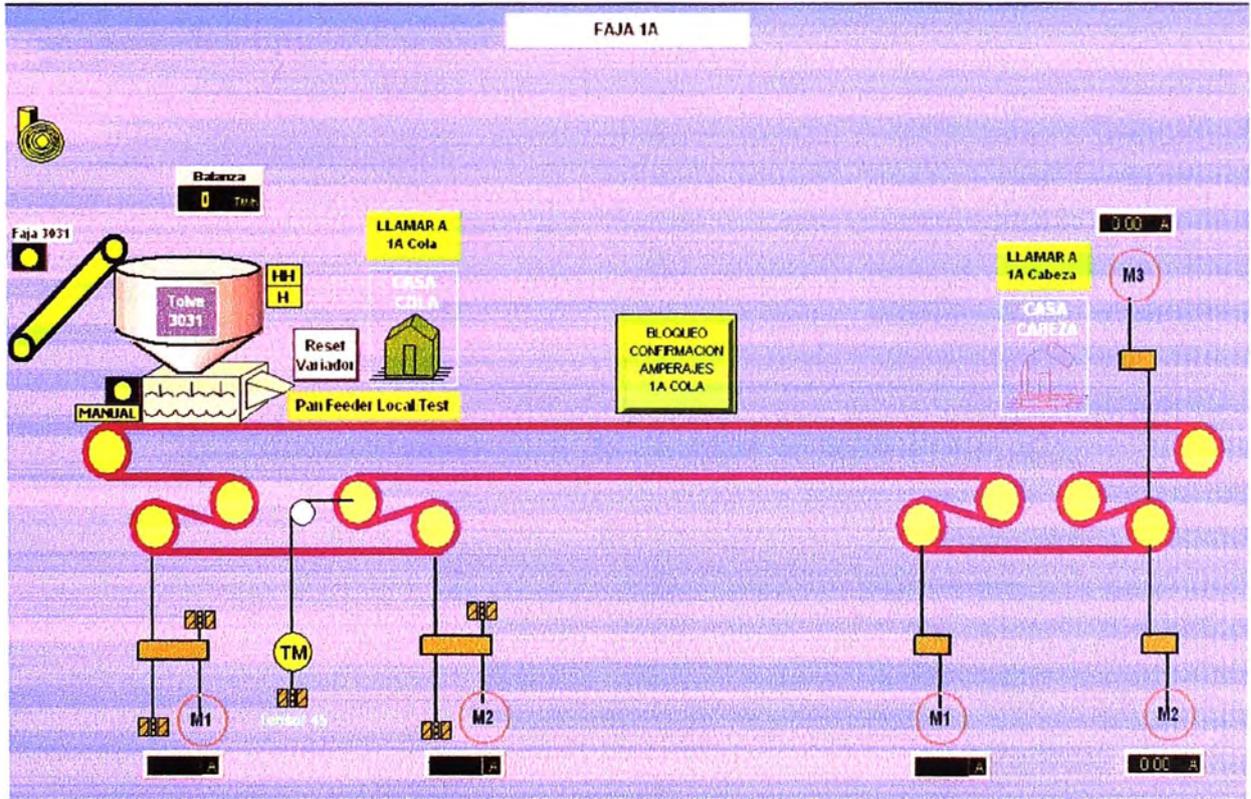


Fig. A.3 Faja principal (alrededor de 5 Km.) [5]

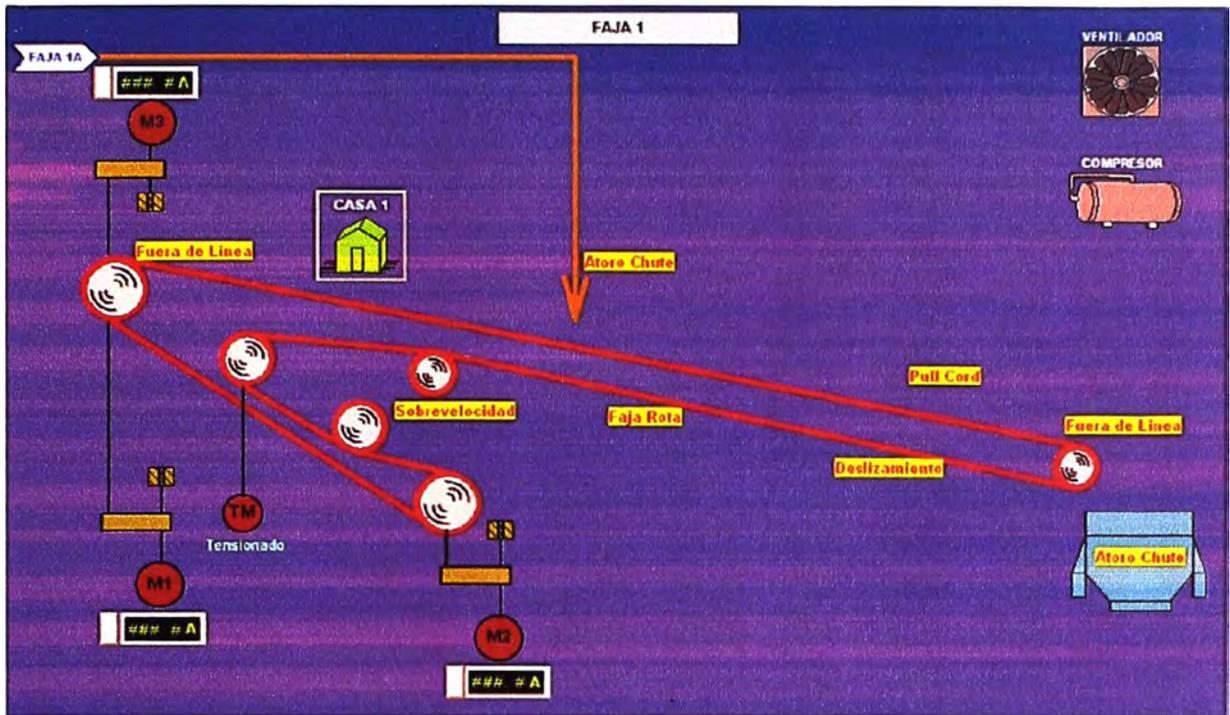


Fig. A.4 Faja Transportadoras Inclinadas [5]

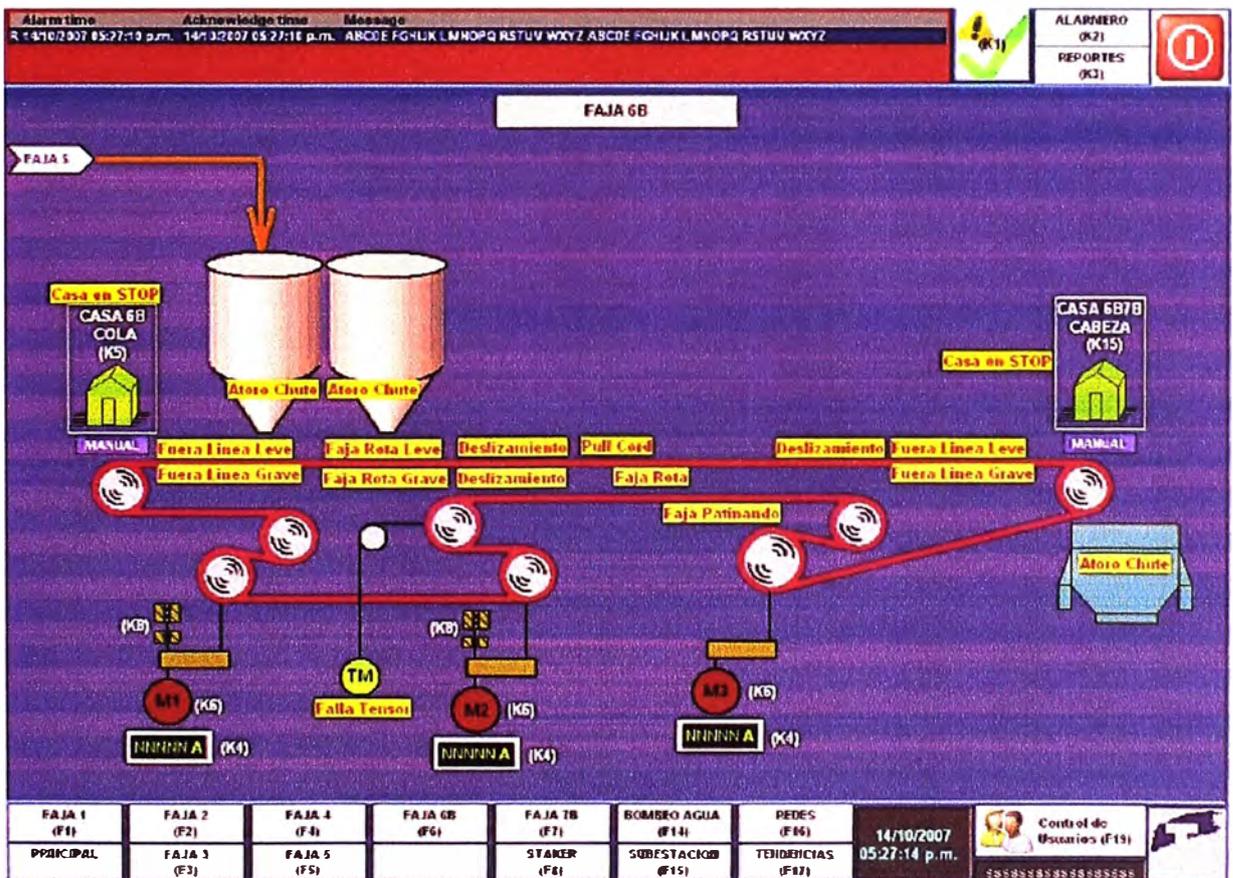


Fig. A.5 Faja Transportadoras Horizontales [5]



Fig. A.6 Pantalla Red de comunicación [5]

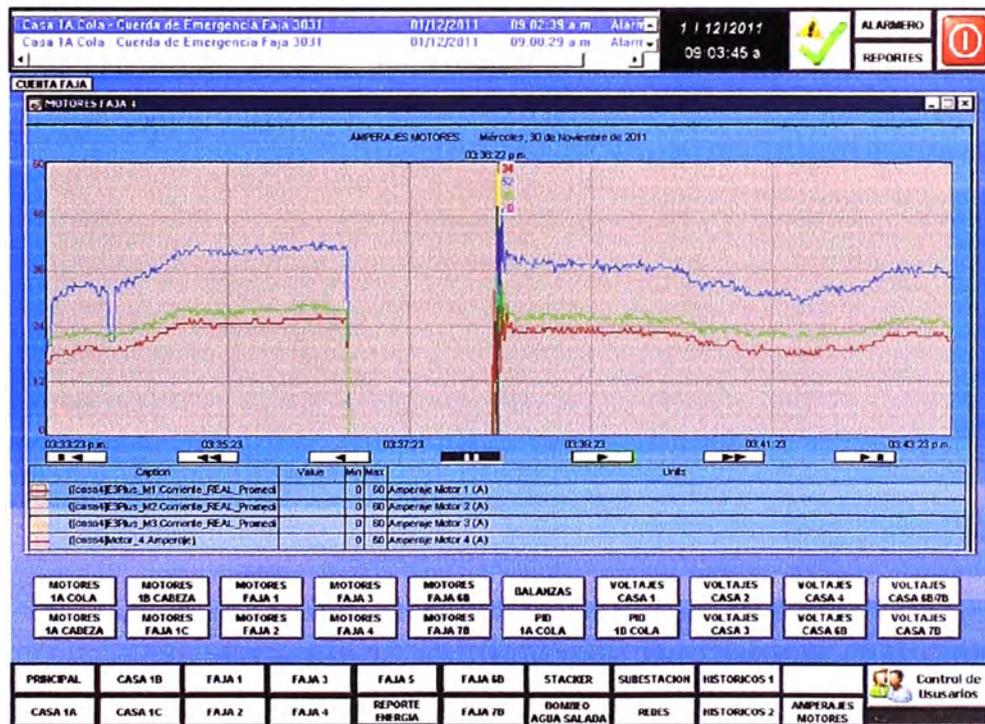


Fig. A.7 Pantalla datos estadísticos (historicos) [5]

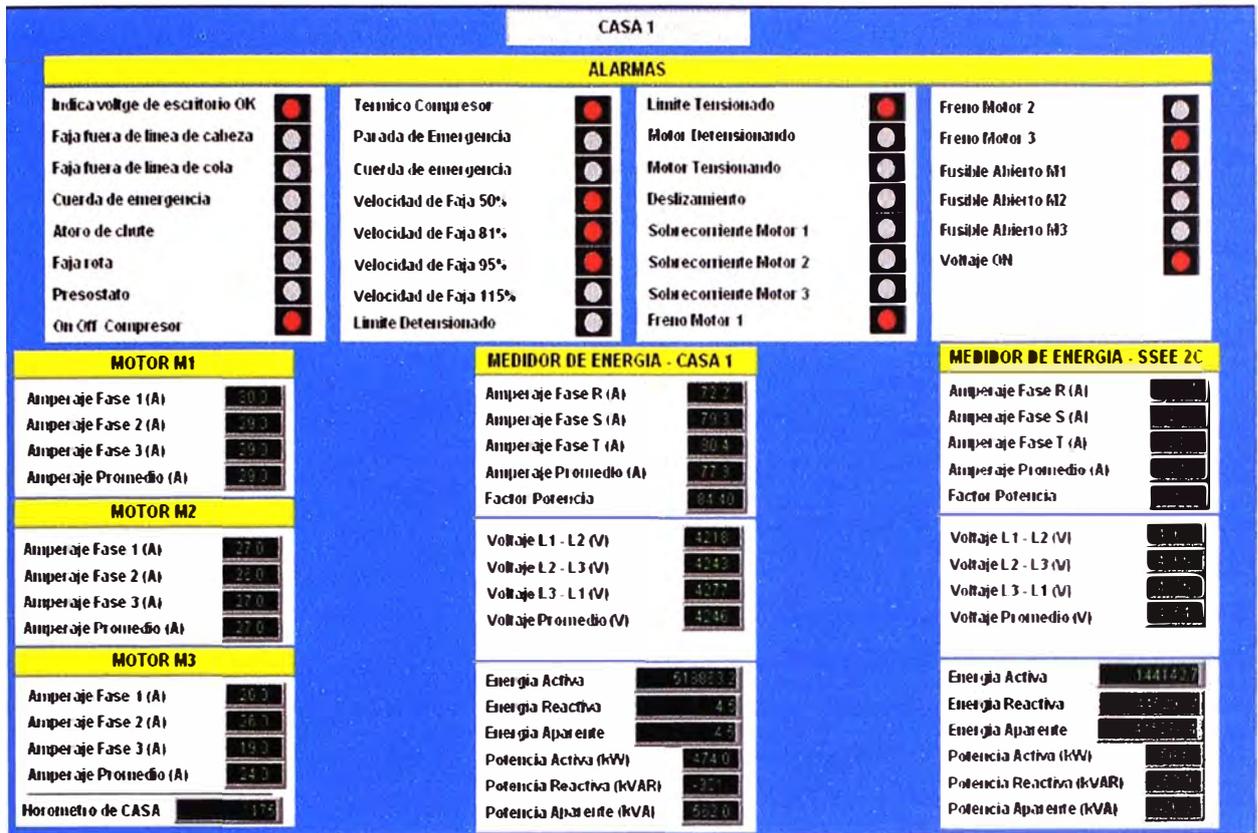


Fig. A.8 Pantalla datos de estado de cada casa motriz [5]

## **ANEXO B**

**Programación PLC Siemens (ejemplos tomados de la programación actual)**

SIMATIC

Conveyor 040811\Cola  
1A\CPU 315-2 DP\...\OB1 - <offline>

**OB1 - <offline>**

"BLOQUE PRINCIPAL"

**Nombre:** Familia:  
**Autor:** Versión: 0.1  
**Hora y fecha Código:** 30/01/2012 09:57:56 a.m.a.m.  
**Interface:** 15/02/1996 04:51:12 p.m.p.m.  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00418 00300 00034

**Bloque: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"**

Segm.: 1

CALL	"ENLACES"	FC16	
CALL	"BitVida"	FC12	
CALL	"TENSIONADOR"	FC7	
CALL	"CONTROL 1"	FC1	
CALL	"MOTOR 1M"	FC2	
CALL	"MOTOR 2M"	FC3	
CALL	"CONTROL 2"	FC4	
CALL	"CONTROL 3"	FC8	
CALL	"FC-ALARMAS"	FC9	
CALL	"COMUNICACION CASA 1"	FC10	
CALL	"COMUNICACION CABEZA 1A"	FC11	
CALL	"Comm1C"	FC13	-- Comunicacion Cabeza 1C
CALL	"FCMetales"	FC22	-- Detector de Metales
CALL	"Simocode"	FC18	-- Lectura de Simocode
CALL	"DIRIS"	FC19	-- Lectura de Medidor de Energia
CALL	"Simoreg"	FC20	-- Lectura de datos

Segm.: 2 Balanza

CALL	"SCALE"	FC105	-- Scaling Values
IN	:"Balanza 1A cola"	PEN268	
HI_LIM	:=2.500000e+003		
LO_LIM	:=0.000000e+000		
BIPOLAR	:=FALSE		
REI_VAL	:=MN184		
OUI	:"SE-CASA 1".Balanza	DB10.DBD2	-- Balanza

**Fig. B.1 Programa Principal (OB1) [2]**

**FC1 - <offline>**

"CONTROL 1"

**Bomba:****Autor:****Bora y fecha Código:****Interface:****Longitud (bloques / código / datos):** 00932 00774 00002**Familia:****Versión:** 0.1**Versión del bloque:** 2

04/08/2011 01:16:57 p.m.p.m.

16/03/2006 05:22:34 p.m.p.m.

**Bloque:** FC1**Segm.:** 1 Control Voltaje ON

DB11.DBX0.

0

CONTROL  
VOLTAGE ON

"RE-

CABEZA

IA".

DB\_CVX\_1A\_

HEAD

M50.0

Control

Voltaje ON

"CVX"

**Segm.:** 2 Stopping Command

DB11.DBX0.

1

STOPPING  
COMMAND

"RE-

CABEZA

IA".

DB\_STPX\_1A\_

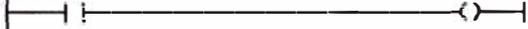
HEAD

M50.1

Stopping

Command

"STPX"

**Segm.:** 3 Starting Command

DB11.DBX0.

2

STARTING  
COMMAND

"RE-

CABEZA

IA".

DB\_SX\_1A\_

HEAD

M50.2

Starting

Command

"SX"

**Segm.:** 4 Señal de reset de Cola a Cabeza

DB12.DBX0.

6

Señal de  
reset de

Cola a

Cabeza

"SE-

CABEZA

IA".

Reset\_1A\_

Cola

E1.5

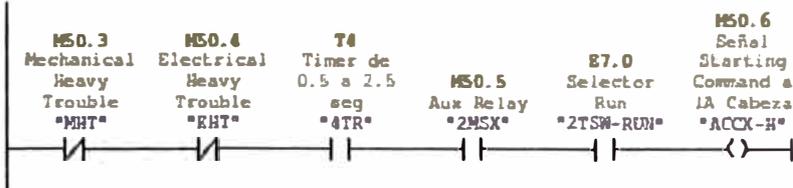
Selector

CS-RESET

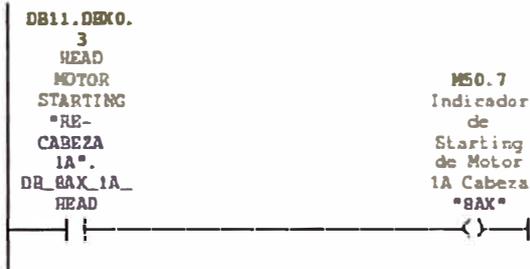
"CS-RESET"



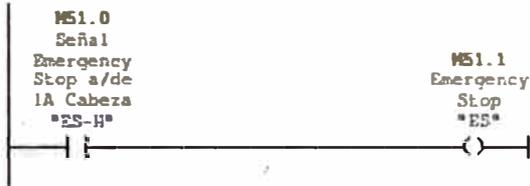
Segm.: 5 Señal Starting Command a 1A Cabeza



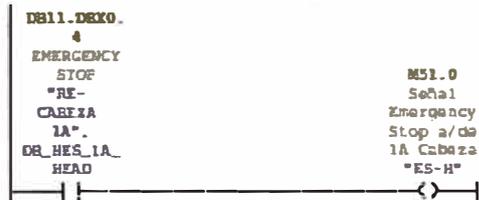
Segm.: 6 Indicador de Starting de Motor 1A Cabeza



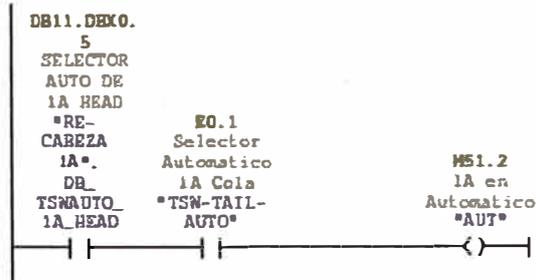
Segm.: 7 Emergency Stop



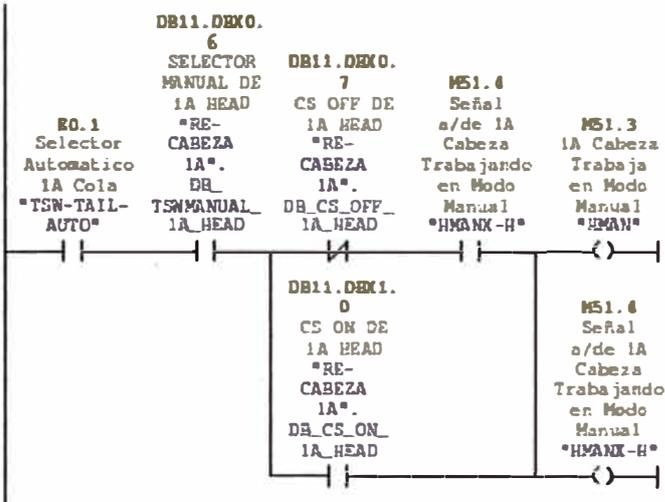
Segm.: 8 Señal Emergency Stop de 1A Cabeza



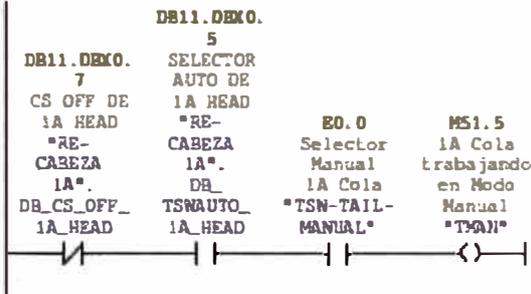
Segm.: 9 1A en Automatico



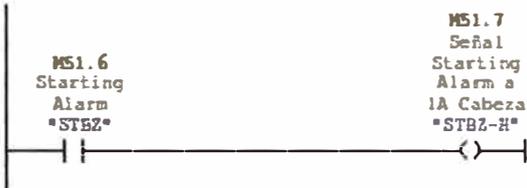
Segm.: 10 1A Cabeza Trabaja en Modo Manual



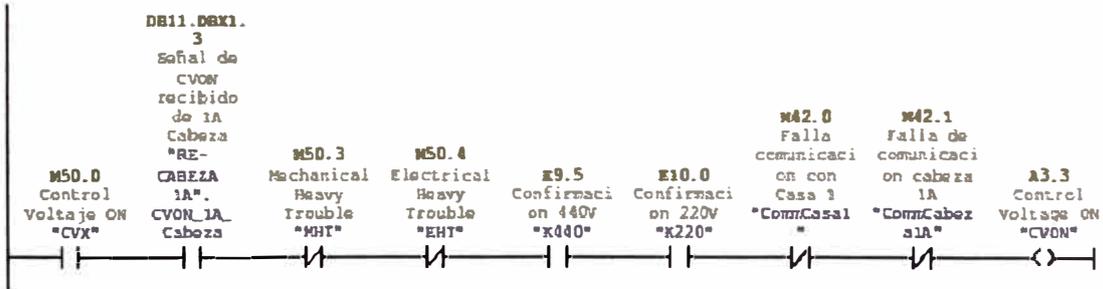
Segm.: 11 1A Cola trabajando en Modo Manual



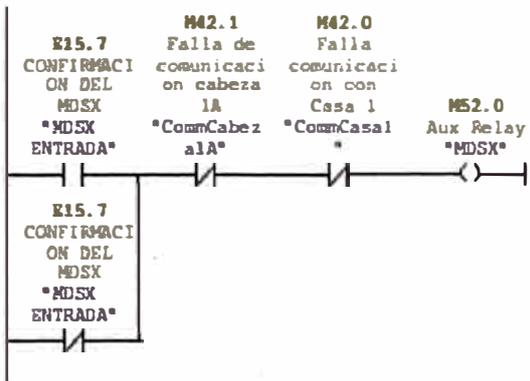
Segm.: 12 Señal Starting Alarm a 1A Cabeza



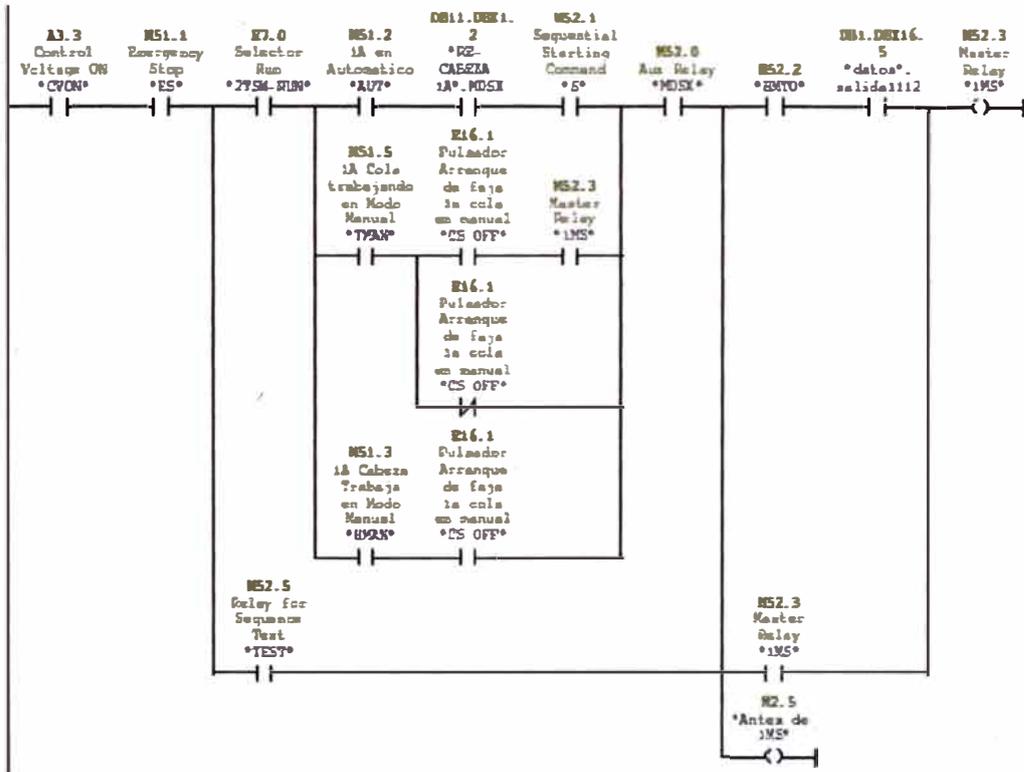
Segm.: 13 Control Voltage ON



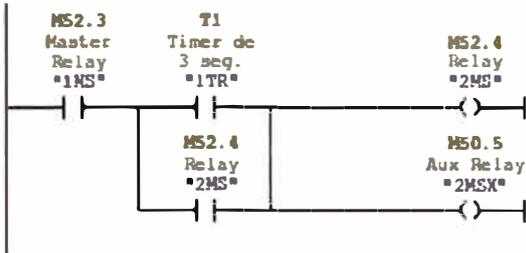
Segm.: 14 Aux Relay



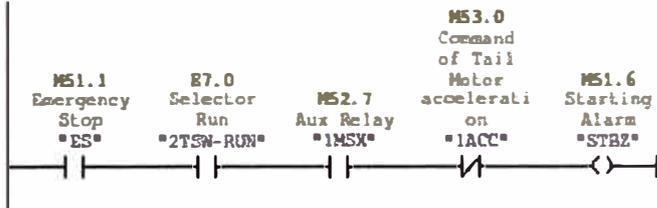
Segm.: 15 Master Relay



Segm.: 16 Relay



Segm.: 17 Starting Alarm



Segm.: 18 Relay for Sequence Test

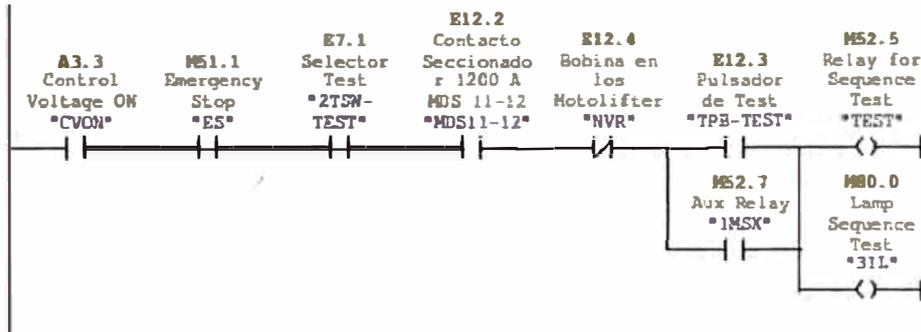


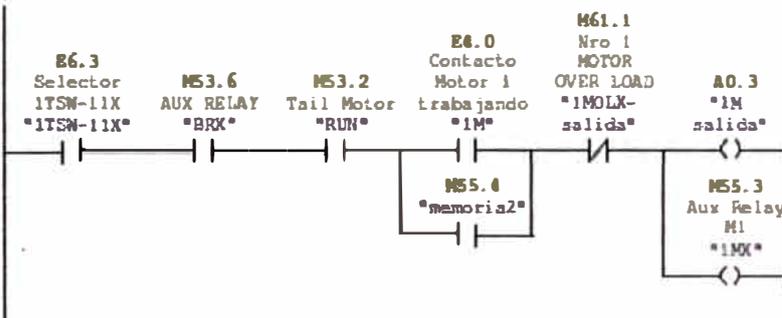
Fig. B.2 Programa FC1 Control 1 [2]

**FC2 - <offline>**

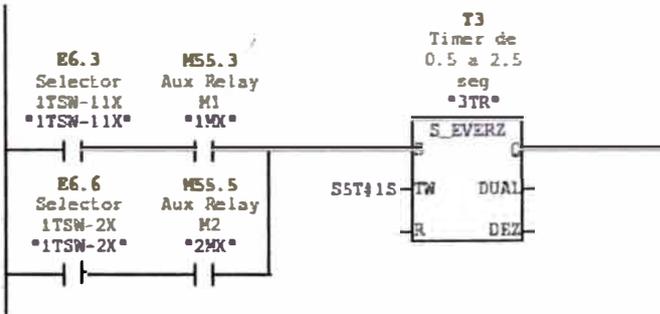
"MOTOR 1M"  
**Nombre:** Familia:  
**Autor:** Versión: 0.1  
 Versión del bloque: 2  
**Bora y fecha Código:** 12/07/2008 01:54:04 p.m.p.m.  
**Interface:** 20/03/2006 04:04:42 p.m.p.m.  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00468 00338 00002

**Bloque: FC2**

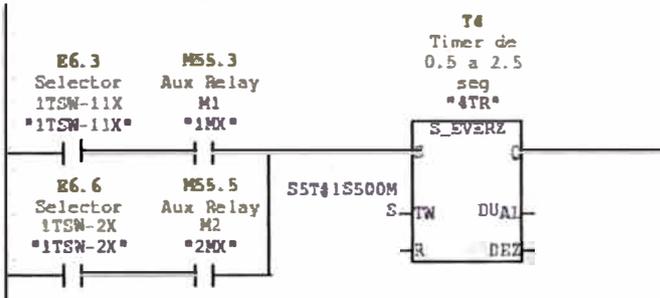
**Segm.: 1      Contactor Principal 1M**



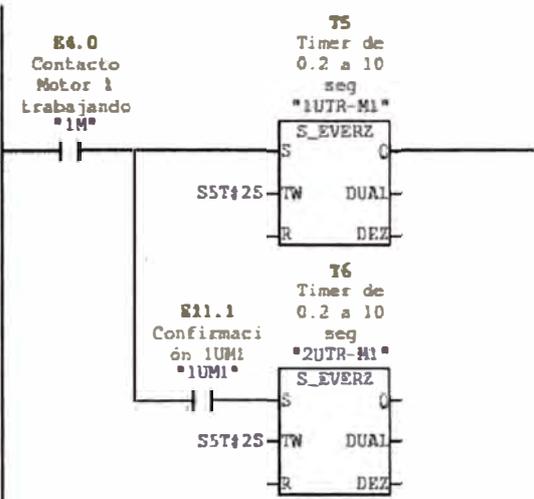
**Segm.: 2      Timer de 0.2 a 10 seg**



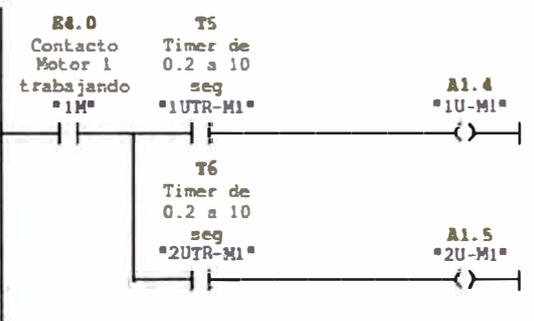
**Segm.: 3      Timer de 0.2 a 10 seg**



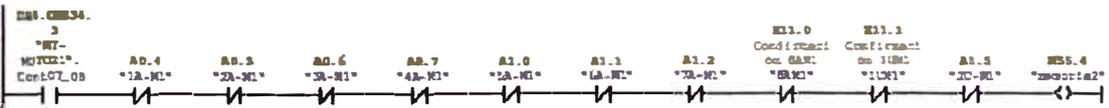
Segm.: 4 Timer de 0.2 a 10 seg



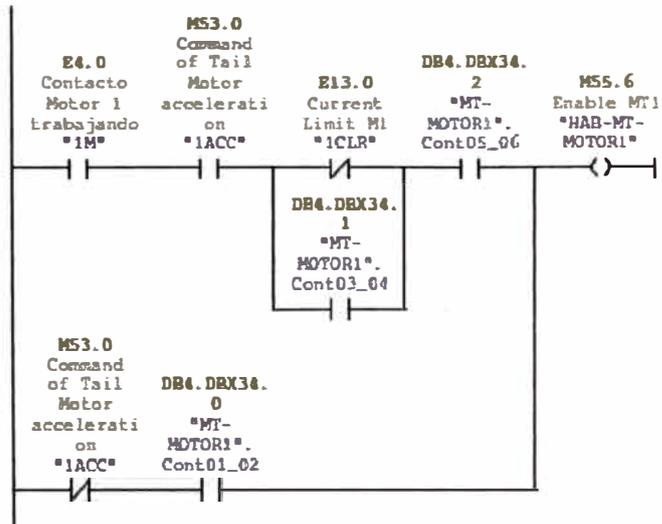
Segm.: 5 Contactor 1U M1



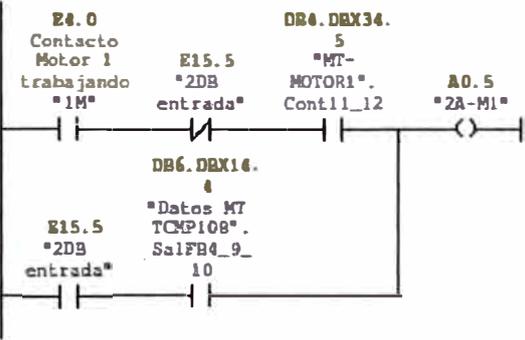
Segm.: 6



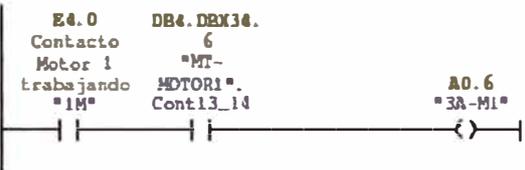
Segm.: 7 Habilitación de secuencia de Motor 1



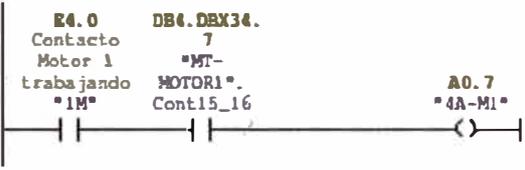
Segm.: 10      Contactor 2A M1



Segm.: 11      Contactor 3A M1



Segm.: 12      Contactor 4A M1



Segm.: 9      Contactor 1A M1

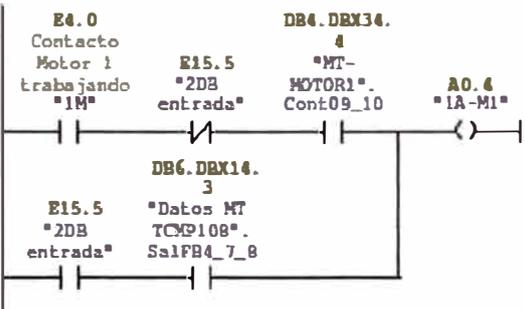


Fig. B.3 Programa FC2 Control motor 1 de una faja [2]

**ANEXO C**  
**Programación PLC Allen Bradley**

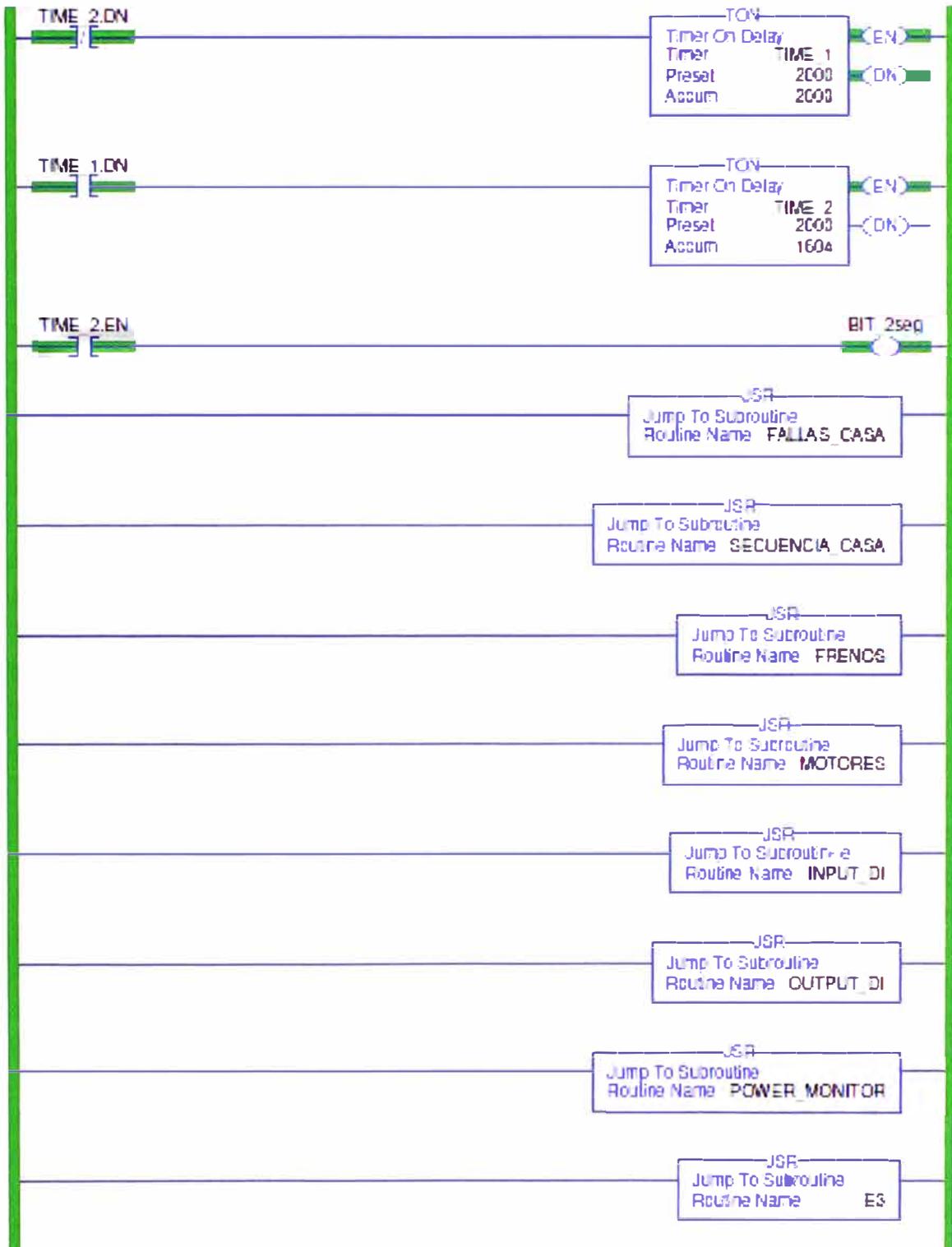


Fig. C.1 Programa MAIN\_ROUTINE COMM [8]

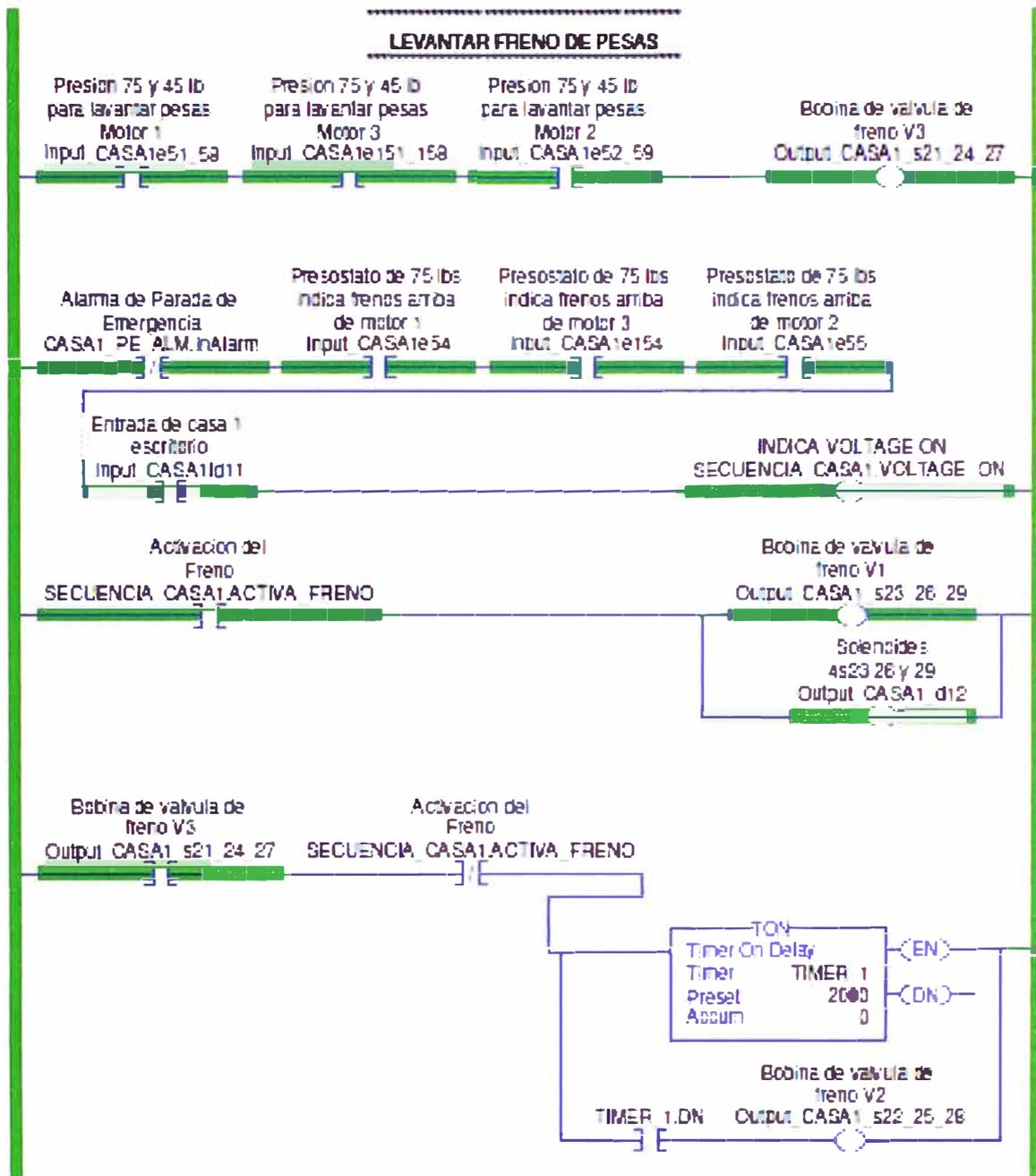


Fig. C.2 Programa FRENOS [8]

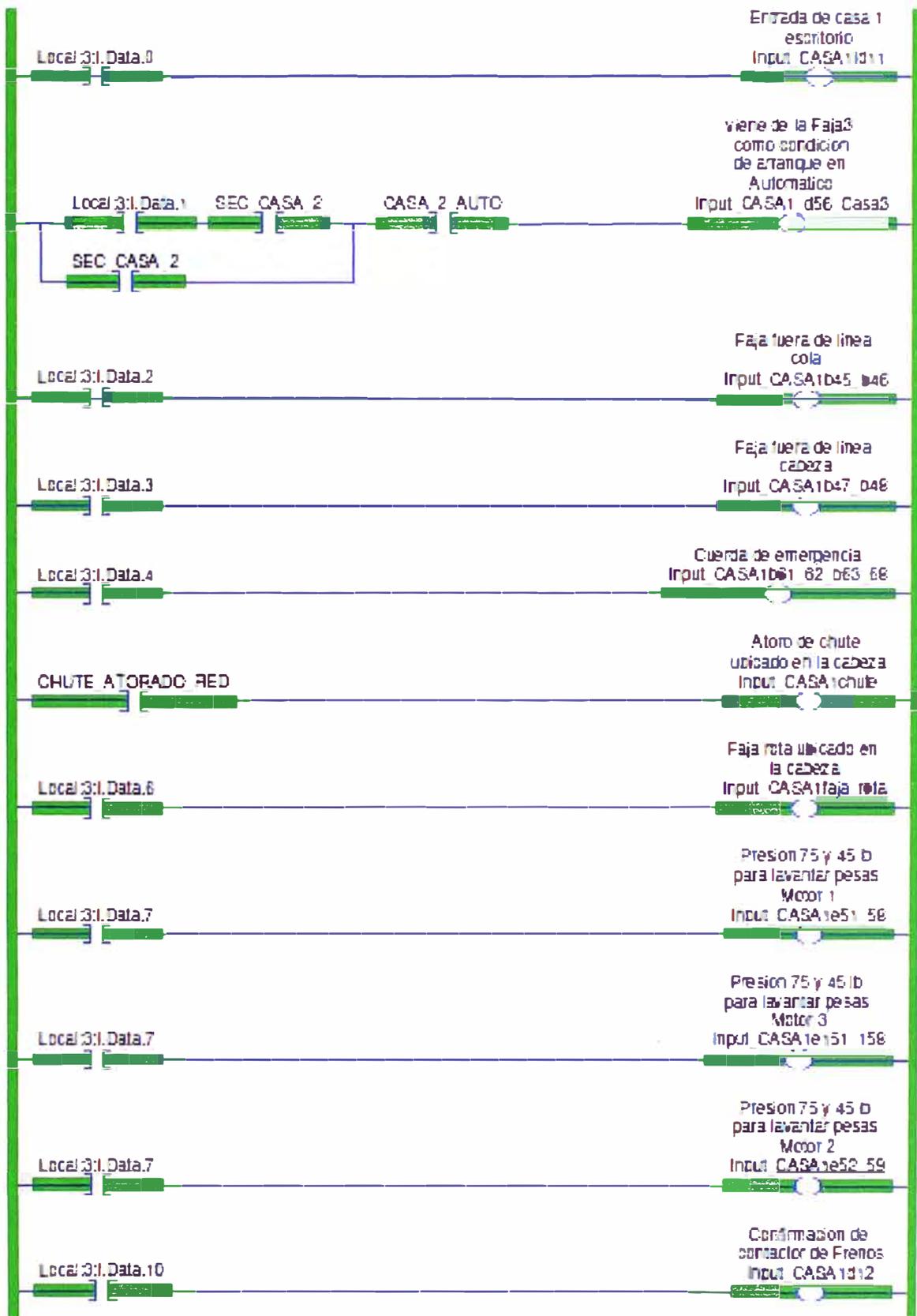
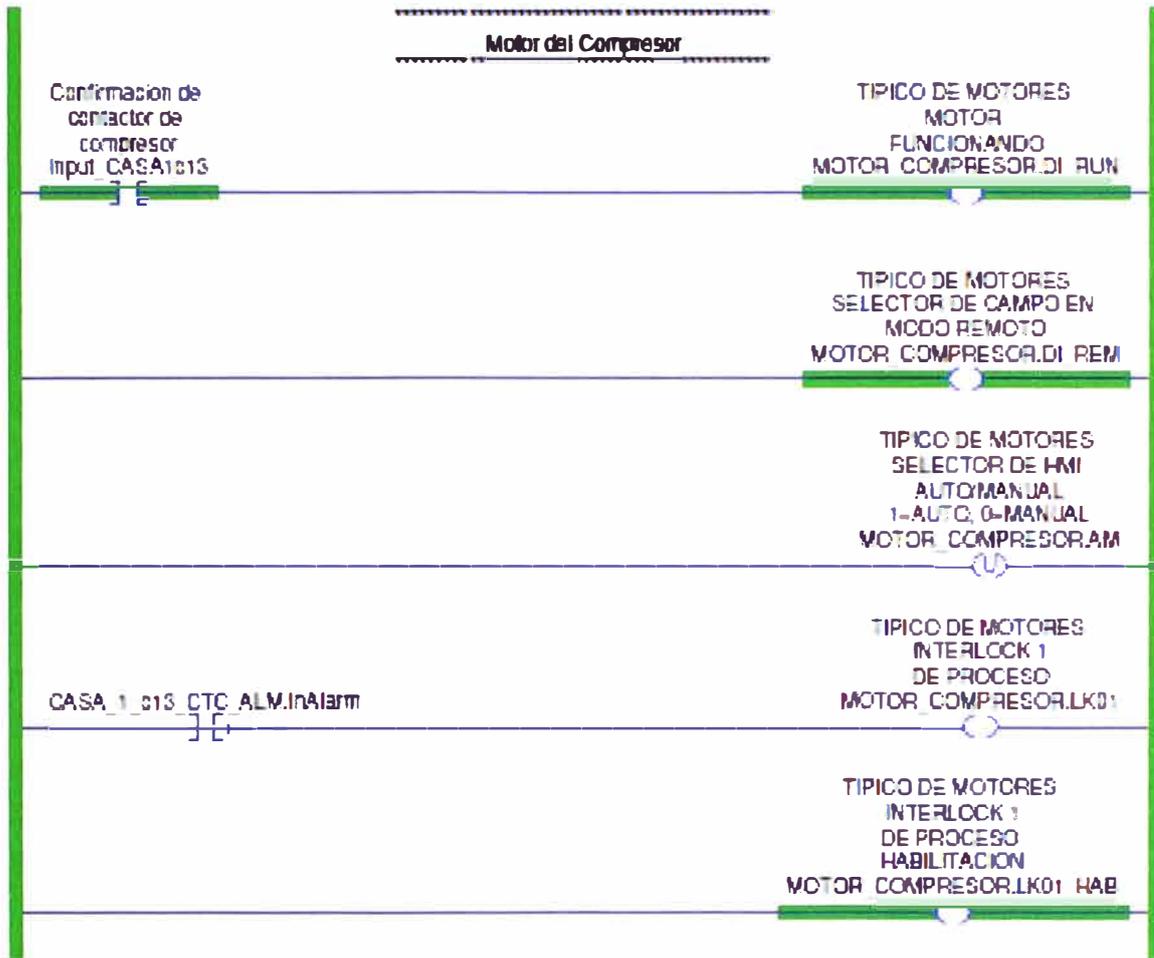


Fig. C.3 Programa INPUT\_DI [8]



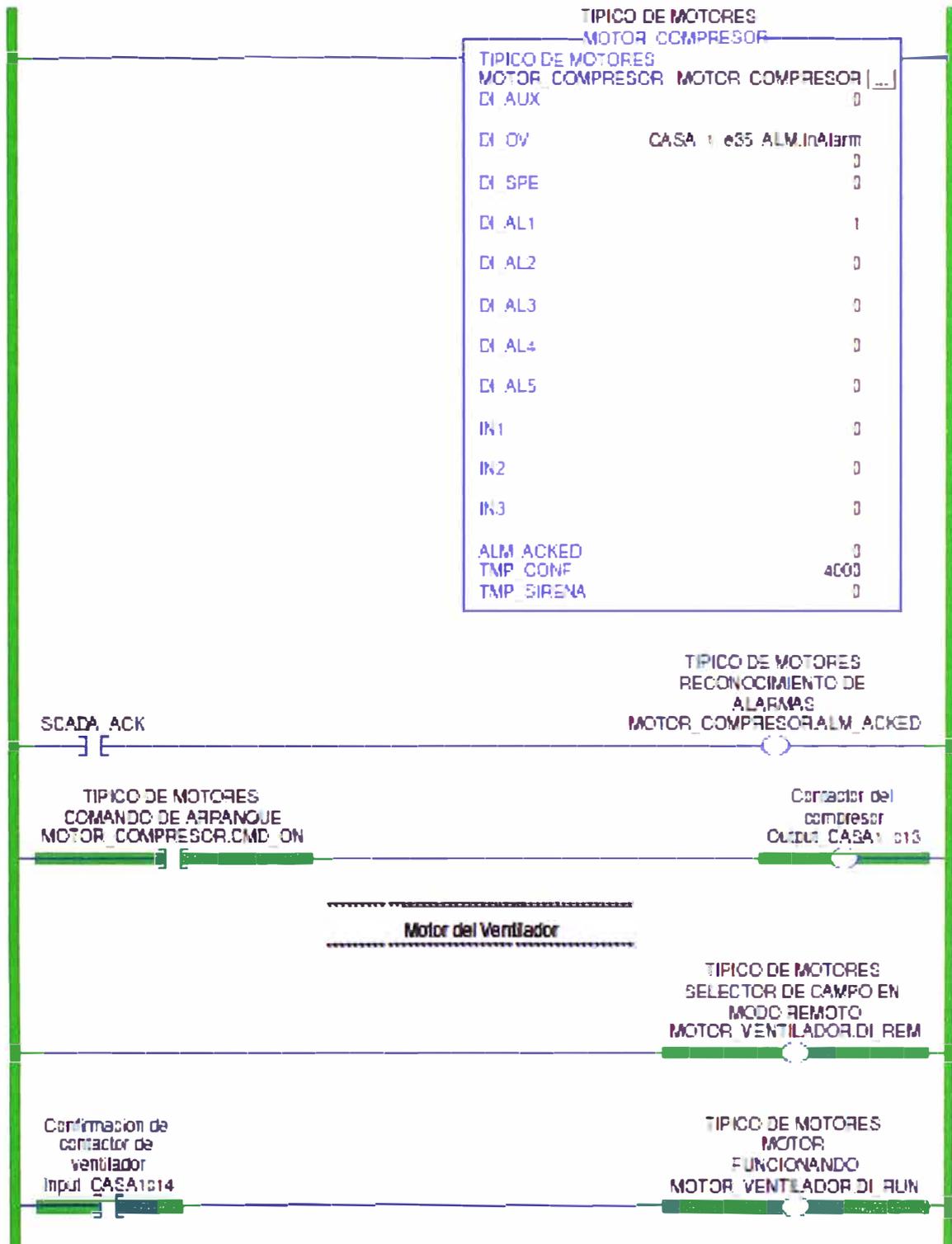


Fig. C.4 Programa MOTORES [8]



Fig. C.5 Programa OUTPUT\_DI [8]

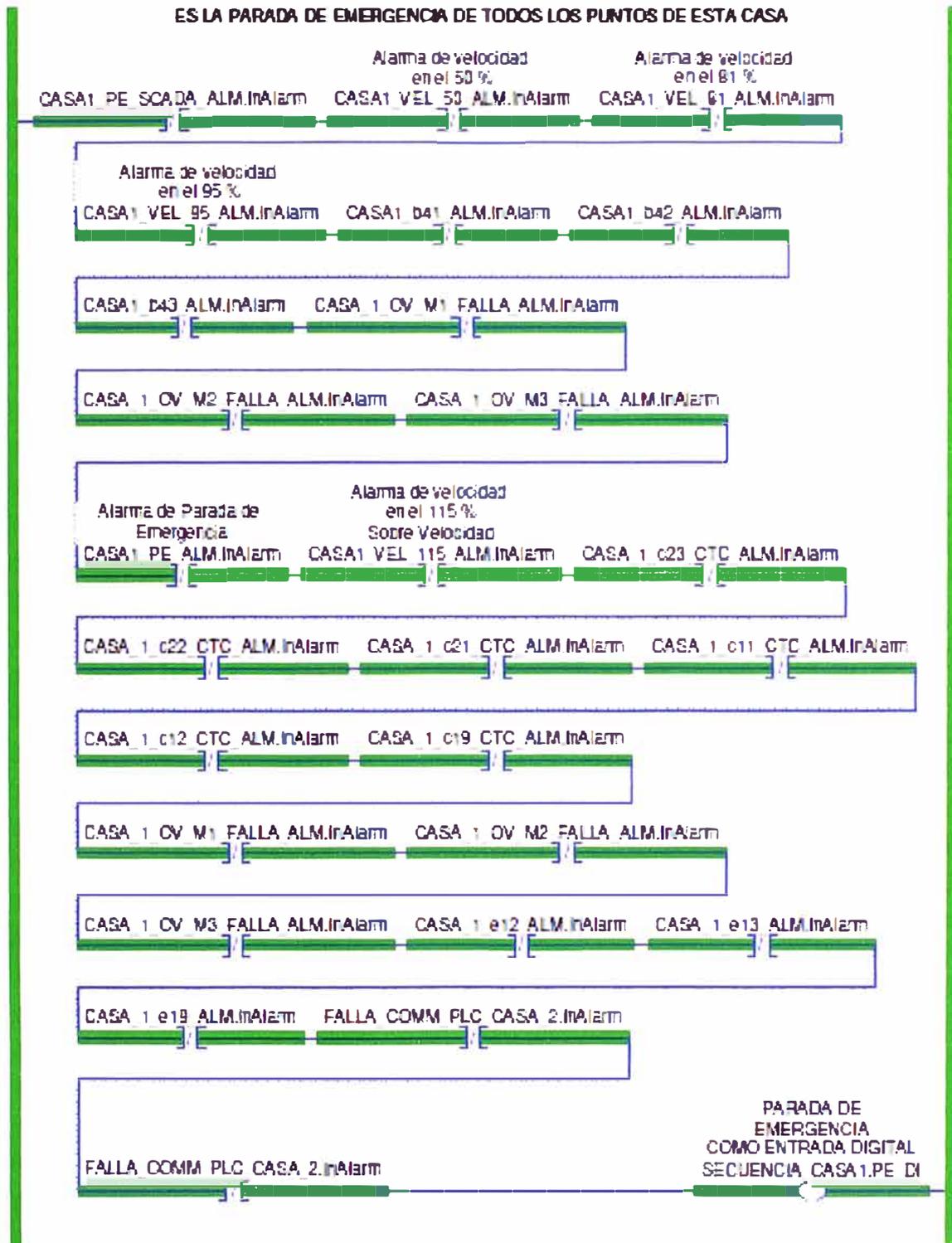


Fig. C.6 Programa SECUENCIA\_CASA [8]

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Planos Eléctricos de Sistema Telecontrol –Jefatura de Mantenimiento Eléctrico Mina.
- [2] Software STEP 7 V5.3.
- [3] Software NEPLAN V5.44.
- [4] Software RSLogix 5000.
- [5] Software Factory Talk View Studio.
- [6] Software KEPServer Enterprise.
- [7] Software SCADA Factory Talk View de la solución.