

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO  
Y CONTROL DE FAJA TRANSPORTADORA EN  
MINA MARCONA - EMPRESA SHOUGANG  
HIERRO PERÚ S.A.A.**



**INFORME TÉCNICO POR EXPERIENCIA PROFESIONAL  
CALIFICADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR: MARCO ANTONIO AQUINO AQUINO**

**LIMA-PERÚ**

**AÑO: 2012**

A mi querida esposa Liliana y  
a mis hijos Marko Fabrizio y Luciana,  
quienes con su apoyo he logrado  
realizar este trabajo

## SUMARIO

En el presente trabajo se explican las tareas realizadas para la modernización del sistema de monitoreo y control de todo el sistema de fajas transportadoras (Conveyor) de la mina Marcona.

La modernización era necesaria ya que el sistema “Telecontrol” se basaba en tarjetas transmisoras y receptoras de multifrecuencia (par de hilos) para enviar señales discretas de control de una casa motriz a otra. Un tablero de luces indicadoras servía al operador para conocer el estado del sistema.

La antigüedad del sistema ofrecía menor confiabilidad y no alcanzaba la eficiencia mínima requerida (95%). Se presentaban muchas situaciones que obligaban a parar el proceso de transporte de mineral por las fajas. La causa de los problemas era mayormente la fatiga de los dispositivos de control (contactores, temporizadores, etc.).

Además de las fallas, no se conocía el estado de los componentes del conveyor, afectando el desempeño de la planta, dado que los tiempos para la restauración del servicio eran mayores, al desconocerse con precisión que dispositivos eran los que ocasionaban la falla.

La modernización consta del reemplazo del sistema de Telecontrol manteniendo el sistema de transformación de energía y las unidades de control de arranque de motores; asimismo se utilizan PLC's, los cuales se programan de acuerdo a la filosofía de control, y nuevos dispositivos de instrumentación. Las comunicaciones se realizan mediante una red de fibra óptica al no contar con línea de vista para los enlaces inalámbricos. Finalmente se desarrolla un SCADA a medida.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Objetivos del trabajo.....	3
1.3 Evaluación del problema .....	4
1.4 Alcance del trabajo .....	5
1.5 Síntesis del trabajo.....	5
CAPÍTULO II : DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	8
2.1 Descripción de la empresa.....	8
2.1.1 Antecedentes históricos .....	8
2.1.2 Información general Shougang Hierro Perú.....	9
2.2 Operaciones en la mina.....	13
2.2.1 Planeamiento y Programación de mantenimiento .....	13
2.2.2 Mantenimiento mecánico mina .....	14
2.2.3 Mantenimiento eléctrico mina .....	14
2.3 Conveyor – fajas transportadoras .....	14
2.3.1 Estructura Conveyor .....	15
2.3.2 Sistema de operación .....	17
2.3.3 Bombeo de agua salada .....	17
CAPÍTULO III : ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL SISTEMA CONVEYOR.....	18
3.1 Estructura.....	18
3.2 Filosofía de Control.....	26
3.2.1 Fajas Alemanas: Faja 1, Faja 2, Faja 3, Faja 4 .....	29
3.2.2 Fajas Japonesas: Faja 1A, Faja 1B, Faja 6B, Faja 7B .....	33
3.2.3 Faja 1C.....	37
3.2.4 Faja 5 .....	40
3.2.5 Faja 1407 y 1410 (Stacker).....	41
3.2.6 Faja C12M y 3031 .....	42

3.2.7	Alimentadores 1A y 1B .....	43
3.2.8	Operación del sistema Conveyor .....	44
3.3	Sistema de control previo a la solución, Sistema de Comunicación Telecontrol.....	46
3.3.1	Componentes de sistema telecontrol .....	46
3.3.2	Tablero de control maestro .....	50
3.3.3	Sistema de control .....	51
3.3.4	Desventajas sistema de comunicación y control antiguo .....	51
<b>CAPÍTULO IV : INGENIERÍA DEL PROYECTO .....</b>		<b>52</b>
4.1	Dimensionamiento del proyecto .....	52
4.2	Etapa 1 – Conjunto Superior .....	54
4.2.1	PLC (Controlador Lógico Programable) .....	54
4.2.2	Tableros de control .....	58
4.2.3	Programación PLC .....	59
4.2.4	Configuración de red .....	63
4.2.5	Enlaces de comunicación entre PLC .....	66
4.2.6	Sistema SCADA .....	68
4.2.7	Enlaces de comunicación entre PLC y SCADA.....	71
4.2.8	Instrumentación .....	73
4.2.9	Red Profibus .....	78
4.2.10	Red Ethernet .....	80
4.2.11	Esquema general de la Etapa 1 .....	86
4.3	Etapa 2 – Conjunto Central e Inferior .....	86
4.3.1	PLC Allen Bradley (Controlador Lógico Programable).....	86
4.3.2	Tableros de control .....	91
4.3.3	Programación PLC .....	92
4.3.4	Configuración de la red Allen Bradley.....	96
4.3.5	Enlaces de comunicación entre PLC .....	98
4.3.6	Sistema SCADA .....	100
4.3.7	Enlaces de comunicación entre PLC y SCADA.....	104
4.3.8	Instrumentación .....	105
4.3.9	Red Device Net.....	109
4.3.10	Red Ethernet .....	111
4.3.11	Esquema final de la solución implementada .....	115

CAPÍTULO V : COSTOS Y CRONOGRAMA .....	119
5.1 Costos del proyecto .....	119
5.2 Cronograma de trabajos.....	122
5.3 Análisis de costos .....	126
CONCLUSIONES.....	129
ANEXO A : PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS – CONJUNTO SUPERIOR.....	130
ANEXO BPROGRAMACIÓN PLC ALLEN BRADLEY -CONJUNTO CENTRAL E INFERIOR.....	153
ANEXO C: PANTALLAS SCADA FACTORY TALK VIEW.....	170
ANEXO D : REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	184
BIBLIOGRAFÍA .....	199

# INTRODUCCIÓN

El proyecto de automatización en la empresa Minera Shougang Hierro Perú S.A.A. – área mina surge por la necesidad de contar con un sistema de fajas transportadoras más moderno.

El sistema de Fajas Transportadoras de la Empresa Shougang Hierro Perú, conocida como CONVEYOR, consta de un conjunto de 14 Fajas y 13 Casas de fuerza y control. Su función es transportar el mineral de hierro procesado por las plantas chancadoras de la mina (Planta 1 y Planta 2) desde sus respectivos stocks hasta depositarlos en los stocks de crudo en las Plantas de beneficio a una distancia de 17.5 Km. La Mina está ubicada en la parte alta de una terraza a 800 metros sobre el nivel del mar, por ello una parte de la faja (conjunto central) debe enfrentar esta pendiente.

El sistema de control original estaba basado en tarjetas transmisoras y receptoras de multifrecuencia (par de hilos) las cuales enviaban señales discretas de control de una casa motriz a otra, además solo se disponía de un tablero de luces indicadoras para saber el estado del sistema.

Dado lo antiguo del sistema, este presentaba fallas más frecuentes y el tiempo para la reposición del servicio era demasiado extenso, al desconocerse que elemento podría haber fallado. Dada esta situación era necesario modernizar el sistema de control y monitoreo del Conveyor. Esto era indispensable para garantizar la expansión de la producción. El sistema moderno necesitaba ser escalable, integrado y abierto a futuras modificaciones. Esta modernización incorporó controladores PLC, nuevos componentes de instrumentación y desarrollo de un SCADA a medida.

Los procesos que debía automatizar el PLC comprendía principalmente el control de arranque de los motores en su forma automática y manual, de acuerdo a la filosofía de control que se detalla en el capítulo III. La lógica de control del PLC debía reemplazar en lo posible los dispositivos electromecánicos que se disponía en el sistema antiguo tales como contactores, motor-timers, relés de enclavamiento, etc.. Adicionalmente también se requirió el control de bombas de agua salada.

Con respecto al sistema de comunicación para la nueva red de PLC, se tomó en cuenta el trazado de las fajas, distancia entre las casas de control y la topología del terreno, concluyendo que un sistema de comunicación en base a fibra óptica era el más indicado con opciones de comunicación inalámbrica para redundancia.

El informe está estructurado en cinco capítulos:

El capítulo I consiste en el planteamiento del problema, la exposición del objetivo, la evaluación del problema, los alcances del proyecto y una síntesis de todo el informe.

El capítulo II describe de manera general a la empresa Shougang Hierro Perú, explica las operaciones de la mina, para finalmente resumir los aspectos técnicos esenciales del Conveyor.

El capítulo III realiza el análisis estructural y funcional del sistema Conveyor, además de describir el sistema de control previo a la solución.

El capítulo IV presenta la ingeniería del proyecto, se hace el dimensionamiento del proyecto y luego se describe las etapas de desarrollo del mismo (Etapa 1 y Etapa 2), explicando sus partes: PLC, tableros de control, configuración de la red, enlaces de comunicación entre PLC, sistema SCADA, los enlaces de comunicación entre PLC y SCADA, la instrumentación y la arquitectura de la red Ethernet implementada.

El capítulo V detalla los costos y cronograma del proyecto.

El presente informe ha sido desarrollado cumpliendo con los requerimientos de confidencialidad establecidos por la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.

# CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En este capítulo se realiza el planteamiento del problema. Se describe el problema y se expone el objetivo del trabajo, también se realiza la evaluación del problema y la justificación de la solución, además se precisan los alcances del informe, y finalmente se presenta una síntesis del diseño presentado.

## 1.1 Descripción del Problema

Obsolescencia del sistema de monitoreo y control de faja transportadora de la mina Marcona, el cual operaba desde el año 1965 (hace más de 40 años).

La antigüedad de los equipos usados para monitoreo y control provocaba una ineficiente administración del sistema de fajas transportadoras de mineral.

El antiguo sistema se basaba en tarjetas transmisoras y receptoras de multifrecuencia (a través de par de hilos) 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.

El sistema previo a la solución no garantizaba la eficiencia mínima del sistema (95%), debido a las paradas constantes por fallas fantasmas o deterioro de la infraestructura. Tampoco se contaba con un reporte de eventos ni registro de datos, lo que es indispensable para el análisis de falla y búsqueda de mejoras en la operación del sistema.

## 1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo principal del proyecto es modernizar el sistema de monitoreo y control de todo el sistema de fajas transportadoras de la mina Marcona (Departamento de Ica).

Para poder cumplir con el objetivo principal, se plantean objetivos específicos como son:

- Automatizar el sistema de control de fajas transportadoras a través de controladores de procesos.

- Implementar una red de comunicación moderna, capaz de intercomunicar todas las fajas transportadoras.
- Implementar un sistema de monitoreo moderno, capaz de brindar al operador la información disponible de todas las fajas transportadoras.

### **1.3 Evaluación del problema**

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 multifrecuencia (par de hilos) 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, ya que el MTSR (Mean Time to Service Restoration-tiempo medio para la restauración del servicio) era mayor, 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 (Radio modem).

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.

## **1.4 Alcance del trabajo**

En el presente trabajo se describe el diseño para la modernización del sistema de monitoreo y control de faja transportadora de la mina Marcona de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A. Para el desarrollo e implementación de la solución, el sistema de fajas se distribuye en tres conjuntos:

Superior: Desde la mina hasta el inicio de la pendiente. Cinco fajas (5 Km total).

Central: La pendiente en sí; cuatro fajas.

Inferior: Desde el término de la pendiente hasta las planta de beneficio (playa), 5 fajas.

La primera etapa del plan de implementación fue programada para cuatro meses; esto aprovechando las paradas propias de la planta y así evitar paradas innecesarias que afectarían la productividad. Esta etapa abarcaba el 30% del sistema (Conjunto superior). La segunda etapa (conjunto central e inferior) fue de seis meses.

## **1.5 Síntesis del trabajo**

La estructura del proyecto presentado se puede resumir en los siguientes cuadros sinópticos.

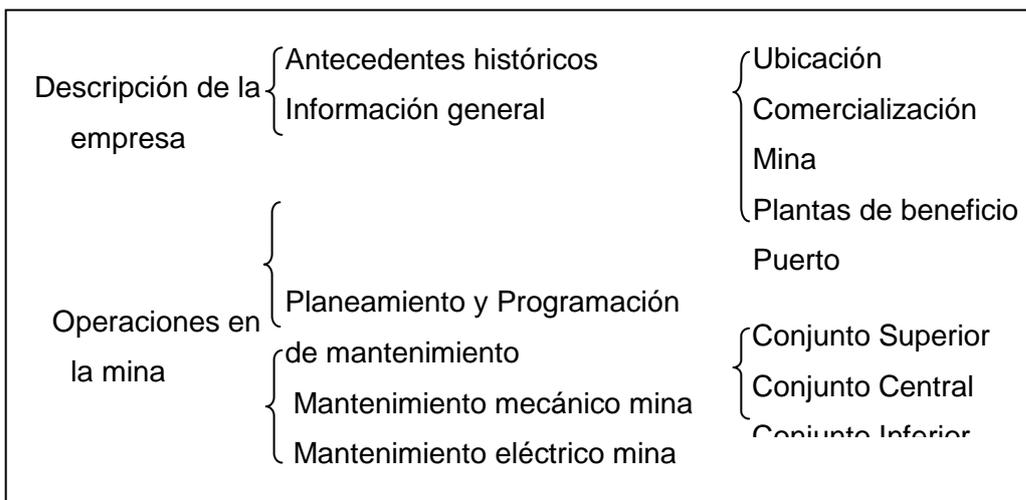


Figura 1.1 Marco Teórico Conceptual (Fuente: Elaboración propia)

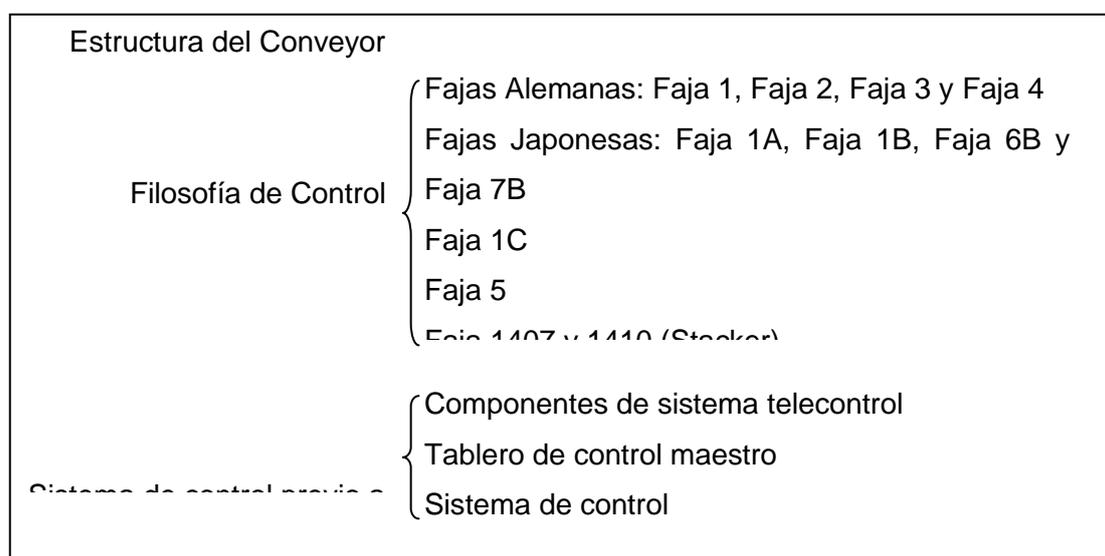


Figura 1.2 Análisis Estructural y Funcional del Sistema Conveyor (Fuente: Elab.Prop.)

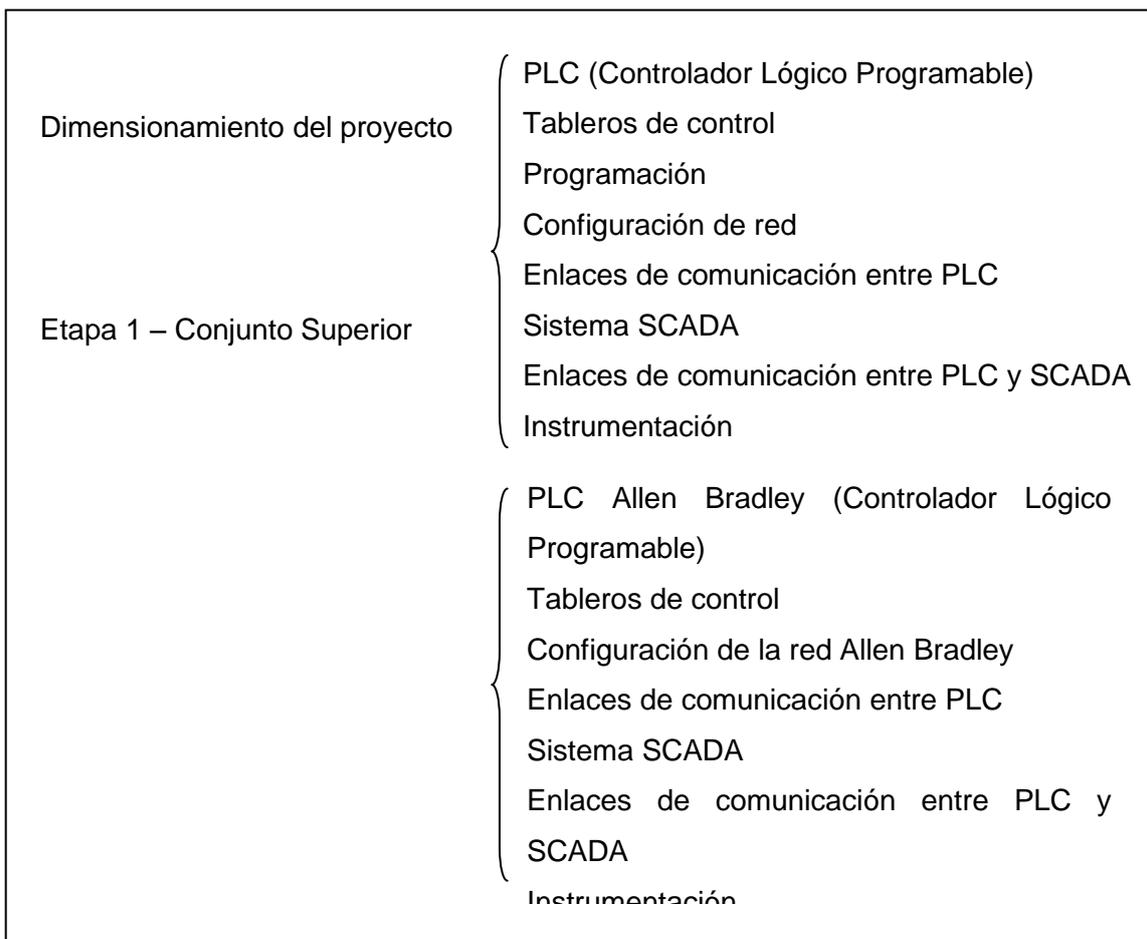


Figura 1.3 Ingeniería del Proyecto (Fuente: Elab.Prop.)

# CAPÍTULO II : DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este capítulo se exponen los aspectos generales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe. En este capítulo se desarrolla los siguientes temas.

Descripción de la empresa.

Operaciones en la mina.

Conveyor – Sistema de fajas transportadoras.

## **2.1 Descripción de la empresa**

La empresa se describe en base a sus antecedentes históricos, y a la información general de Shougang Hierro Perú.

### **2.1.1 Antecedentes históricos**

La empresa Shougang Hierro Perú en Marcona ha pasado por varias etapas desde su creación. A continuación se precisa aspectos claves en su desarrollo empresarial [1]:

1870.- Se anunció por primera vez, públicamente la existencia de este depósito de hierro, a través de un estudio presentado por Antonio Raimondi.

1925.- El Gobierno Peruano declara a Marcona Reserva Nacional para la explotación minera.

1943.- Se crea la Corporación de la Santa, con el objeto de industrializar ciertas áreas del territorio nacional y establecer la industria del acero en el Perú.

1952.- El Gobierno Peruano, la Corporación Peruana del Santa y la Utah Construction Co. suscriben un contrato de exploración y explotación de los yacimientos de Marcona. Para financiar y realizar esa operación, Utah se unió a la Cyprus Mines Corporation y formaron Marcona Mining Company.

1953.- Se inician las operaciones de construcción y producción. El 27 de abril sale del puerto de San Juan el primer embarque en la nave "Libertad", con 10,850 toneladas de mineral.

1960.- El 4 de julio comienza la construcción del Complejo Minero Metalúrgico y del Puerto de San Nicolás.

1962.- El 21 de abril, el Presidente Manuel Prado inaugura el puerto de San Nicolás.

1963.-El 13 de febrero, se realiza el primer embarque, de 16,493 toneladas.

1975.- El 25 de julio se constituye la Empresa Minera del Hierro del Perú.

1986.- El 23 de marzo se realizó el primer embarque de concentrado de cobre con destino al Japón en la nave Palma, con una carga de 2,464 TM.

1992.- El 30 de diciembre, Shougang Corporation, una de las más grandes empresas de China Popular, adquiere la Empresa Minera del Hierro del Perú, y se constituye la Empresa Minera Shougang Hierro Perú S.A.A.

1993.- El 30 de marzo se realizó el primer embarque a la República Popular China, con 130.000 toneladas de Pelets de alto horno.

### **2.1.2 Información general Shougang Hierro Perú**

Es una empresa china que explota y procesa el mineral de hierro de sus yacimientos; obtiene concentrado de alta ley para sinterización, pelets para alto horno, pelets de baja sílice para el proceso de reducción directa, concentrado fino para peletización y concentrado de cobre. Todos ellos de alta calidad y de gran demanda en el mercado nacional e internacional.

La capacidad instalada es de 7,3 millones de toneladas métricas secas de productos por año. Cuenta con su sede matriz en la ciudad de Lima y su centro de operaciones en el distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica. La fuerza laboral es de un total de 2,800 trabajadores.

A continuación se desarrollan los siguientes ítems: ubicación, comercialización, mina, plantas de beneficio San Nicolás y Puerto San Nicolás.

#### **a. Ubicación**

Marcona se ubica en la costa sur del Perú, a una distancia aproximada de 525 Kilómetros al sur de Lima. Es una zona sumamente árida, cubierta por un encapado aluvial, que presenta un panorama desértico.

El complejo minero metalúrgico que allí se ha construido comprende tres áreas (Figura 2.1):

La Mina.- Ubicada en la parte alta de una terraza a 800 metros sobre el nivel del mar.

El Puerto de San Nicolás.- A 13 Kilómetros de la Mina donde se encuentra las instalaciones de beneficio y muelle de embarque.

Bahía de San Juan.- Residencia de los trabajadores y centro comercial, con una población aproximada de 15,000 habitantes, dista 28 Kilómetros de los yacimientos.

#### b. Comercialización

Cuenta a la fecha con un mercado en progresiva expansión. China, Japón y Corea, en el continente asiático; México y los Estados Unidos en América, figuran entre los principales compradores. El abastecimiento se hace de acuerdo a las diferentes necesidades y características del tipo de mineral solicitadas por los clientes.



Figura 2.1 Ubicación geográfica de Marcona (Fuente: Google Earth V6.1)

c. Mina

El área de la Mina abarca aproximadamente 150 Kilómetros cuadrados, y sólo una fracción de ella se encuentra en explotación. Los cuerpos mineralizados están constituidos por magnetita masiva, que es la de mayor porción, y comprende además hematita - marmita con inclusiones de jarosita.

Debido a las características que presentan los yacimientos de Marcona, el método de explotación se realiza por el sistema de tajo abierto, que comprende las etapas siguientes:

Perforación y disparo.- Realizado actualmente con 8 perforadoras eléctricas con brocas de hasta 11-½ pulgadas de diámetro.

Carguío y acarreo.- Realizado actualmente por intermedio de 9 palas eléctricas con capacidad hasta 13 yd<sup>3</sup> y 36 camiones volquetes hasta 150 toneladas métricas.

Chancado Primario.- Se realizan con dos plantas, con una producción nominal de 1,000 y 2,000 TMS/Hora.

Transporte.- Realizado a través de un sistema de fajas transportadoras para llevar el mineral chancado hasta las plantas de San Nicolás con una producción nominal de 2.000 TMS/Hora

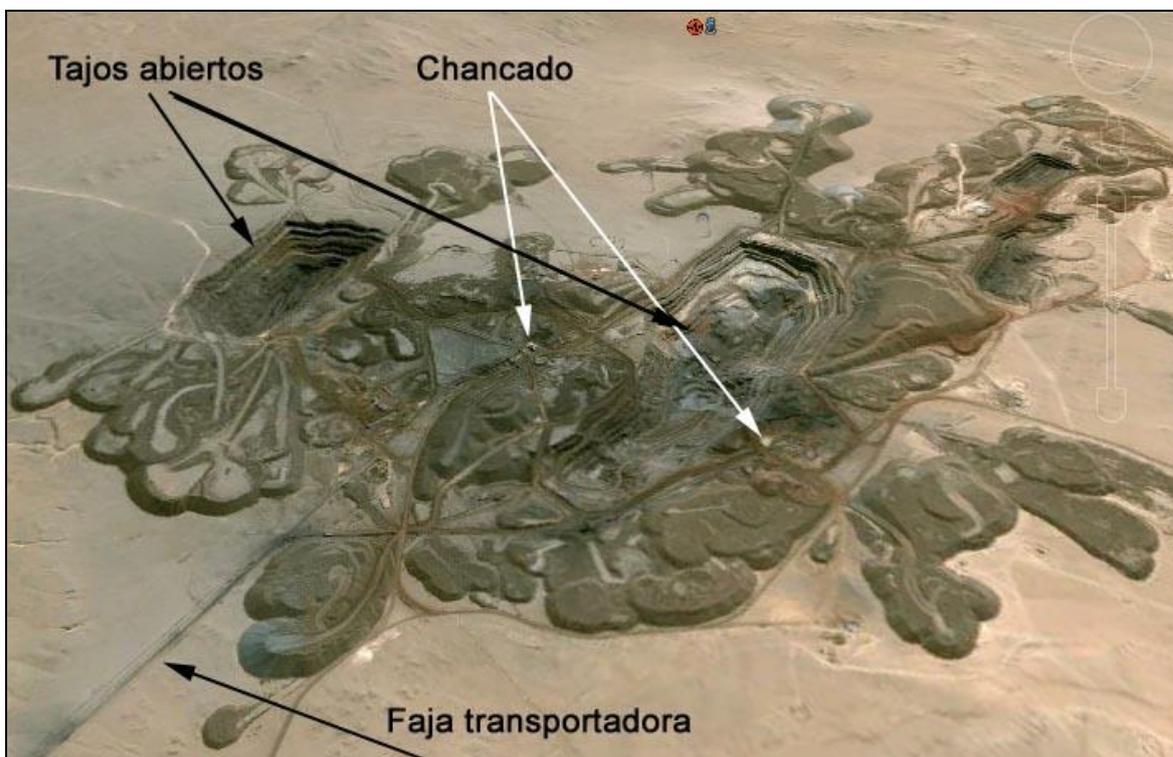


Figura 2.2 Mina Marcona (Fuente: Ibídem)

d. Plantas de beneficio San Nicolás

Es el complejo en donde se realiza la transformación del mineral; comprende las siguientes instalaciones (Figura 2.3):

Planta de chancado secundario.- Entrega mineral crudo en un tamaño máximo de 3/4 de pulgada.

Planta de separación magnética.- A través de los procesos de molienda, ciclones y flotación entrega dos tipos de productos, uno denominado concentrado de hierro de alta ley para sinterización y otro que es la materia prima para la planta de peletización, luego de pasar por un proceso de filtración.

Planta de filtros.- Donde se realizan las operaciones de espesamiento, homogeneización y filtrado de la pulpa recibida de la planta de separación magnética, poniendo el proceso en condiciones adecuadas para ser peletizado.

Planta de peletización.- Con dos líneas de producción de 1.000.000 y 2.000.000 de toneladas al año.

Cada planta cuenta con su propia área de almacenamiento para los productos que elabora. Mediante un sistema de fajas se transfiere estos productos a un gran almacén, ubicado en el puerto. Mantiene así un stock que facilita la fluidez de los embarques.

Adicionalmente, se cuenta con cuatro unidades desalinizadoras para suplir la escasez de agua dulce en el proceso. Su capacidad total es de 2.000 m<sup>3</sup> por día.

e. Puerto de San Nicolás

Es el lugar donde se embarcan los productos. El muelle cuenta con una extensión de 320 m y 19 m de profundidad, en él se acoderan barcos de hasta 250,000 toneladas, los de mayores capacidad que llegan al país. Actualmente cuenta con certificación internacional para operaciones portuarias (Figura 2.3).



Figura 2.3 Zona San Nicolás (Fuente: Ibídem)

## 2.2 Operaciones en la mina

El rendimiento adecuado de un equipo o maquinaria, depende de tres factores: 1) El humano, es decir, una adecuada y eficiente operación; 2) un mantenimiento preventivo oportuno y 3) la utilización del equipo a su máxima capacidad.

Para cumplir este objetivo dentro del área Mina, se cuenta con los departamentos de Planeamiento y Programación de Mantenimiento, Mantenimiento Mecánico Mina y Mantenimiento Eléctrico Mina, que contribuyen eficientemente a mantener y optimizar el rendimiento de los equipos que se emplean en las operaciones de producción minera, prestando servicio de mantenimiento a cada uno de ellos.

### 2.2.1 Planeamiento y Programación de mantenimiento

El trabajo esencial de este departamento es efectuar el plan de mantenimiento adecuado que se deben realizar a los equipos pesados, livianos y auxiliares, como son las palas, perforadoras, camiones, tractores, cargadores frontales, plantas de chancado, fajas transportadoras, etc..

Considerando como fuente de control, en la mayoría de los casos, las horas de trabajo de cada equipo (horas motor), se determina el mantenimiento que se le debe efectuar en su respectivo taller, a cada uno de los equipos o componentes de éstos.

Otro paso es el control de la realización del mantenimiento programado que se debe efectuar diariamente, aquí cumple una importante labor la Caseta de Control Mina, parte principal de todo el movimiento de equipos en esta área, ya que a base de su información las 24 horas del día se prepara el reporte de Performance de todos los equipos.

Para elaborar un mantenimiento adecuado se debe tener en cuenta la historia real de los equipos, desde la fecha que fueron adquiridos, pasando por el mínimo detalle y las especificaciones técnicas de los fabricantes.

La duración (vida) de los equipos o máquinas depende del mantenimiento preventivo que se le realice cada cierto tiempo y de la adecuada reparación mecánica y eléctrica que se les preste. El mantenimiento preventivo de estos equipos se efectúa aproximadamente cada 250 horas de trabajo, y consiste en la revisión mecánica, soldadura, lubricación y eléctrica.

### **2.2.2 Mantenimiento mecánico mina**

Para efectuar esta importante labor, se cuenta con diferentes secciones, siendo estas: Taller de palas y perforadoras, Taller de grúas, Taller de tractores, Taller de compresoras, Taller de equipos auxiliares, Taller de camiones, Taller de soldadura, Taller de Mecánica Liviana, Taller mecánico de Plantas, Taller de Maestranza y Taller de Componentes.

### **2.2.3 Mantenimiento eléctrico mina**

Para efectuar esta importante labor, se cuenta con diferentes secciones, siendo estas: Taller eléctrico de Camiones, Taller de reparación de motores eléctricos, Taller eléctrico de palas y perforadoras, Taller eléctrico de Plantas, Taller eléctrico de faja transportadora y el Taller de Instrumentación.

## **2.3 Conveyor – fajas transportadoras**

El Conveyor, parte crítica e importante del proceso productivo de la mina, es denominado al sistema de 14 fajas que se encargan de transportar el mineral chancado en la Mina desde el stock de las Plantas hasta la zona de apilamiento de crudos en el área de procesamiento en San Nicolás.

Este sistema es único en su diseño por tener una longitud total de 17,4 Km. y una capacidad de 2,000 TMS/Hora, además de tener un tramo que desciende 800 metros en una distancia de 2,5 Km., esta pendiente que recorre el conjunto central requiere de un frenado continuo para controlar su velocidad, este esfuerzo hace que el motor se convierta en generador, ventaja que es aprovechada para tener una regeneración de energía y alimentar al resto del sistema, logrando así reducir su consumo de energía neto a solo 0.28 KW-H/TMS.

La operación de este sistema es todos los días del año, el primer turno de los días domingo se realizan los mantenimientos preventivos, salvo reparaciones programadas y/o emergencia.

### 2.3.1 Estructura Conveyor

El sistema de Fajas transportadoras es un conjunto de fajas de diferentes longitudes operadas en secuencia en forma remota desde un punto central de control (Casa 1). El sistema está dispuesto en tres conjuntos: Conjunto Superior, Conjunto Central y Conjunto Inferior (Figura 2.4). El perfil de elevación se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.4 Estructura Conveyor – Fajas transportadoras (Fuente: Ibídem)

a. Conjunto Superior

En total compuesto por cinco fajas: Las fajas denominadas 1A, 1C y 1B; las Fajas de alimentación de Planta 2 (Faja 3031) y de Planta 1 (Faja C12M).

La Faja 1A transporta el mineral desde la Planta Chancadora N°2 hasta empalmar con el conjunto central (Tramo A), las otras Fajas 1B y 1C de menor longitud transportan el mineral desde Planta 1 para descargar en la Faja 1A a 800 metros de la polea de cola (Tramo B). La ruta de estas fajas es de topografía moderada. La longitud de este Conjunto es de 8,014 metros.

#### b. Conjunto Central

Compuesto por cuatro fajas principales inclinadas que soportan la más difícil topografía, salvando un desnivel de 520 metros entre la mina y San Nicolás. La longitud de este conjunto es de 2,571 metros.

#### c. Conjunto Inferior

En total compuesto por cinco fajas: Faja 5, Fajas 6B y Faja 7B, más dos fajas pequeñas de descarga (F1407 y F1410) que recorren un área de moderada inclinación hasta llegar a las canchas de almacenamiento de crudos. La longitud de este conjunto es de 6,901 metros.

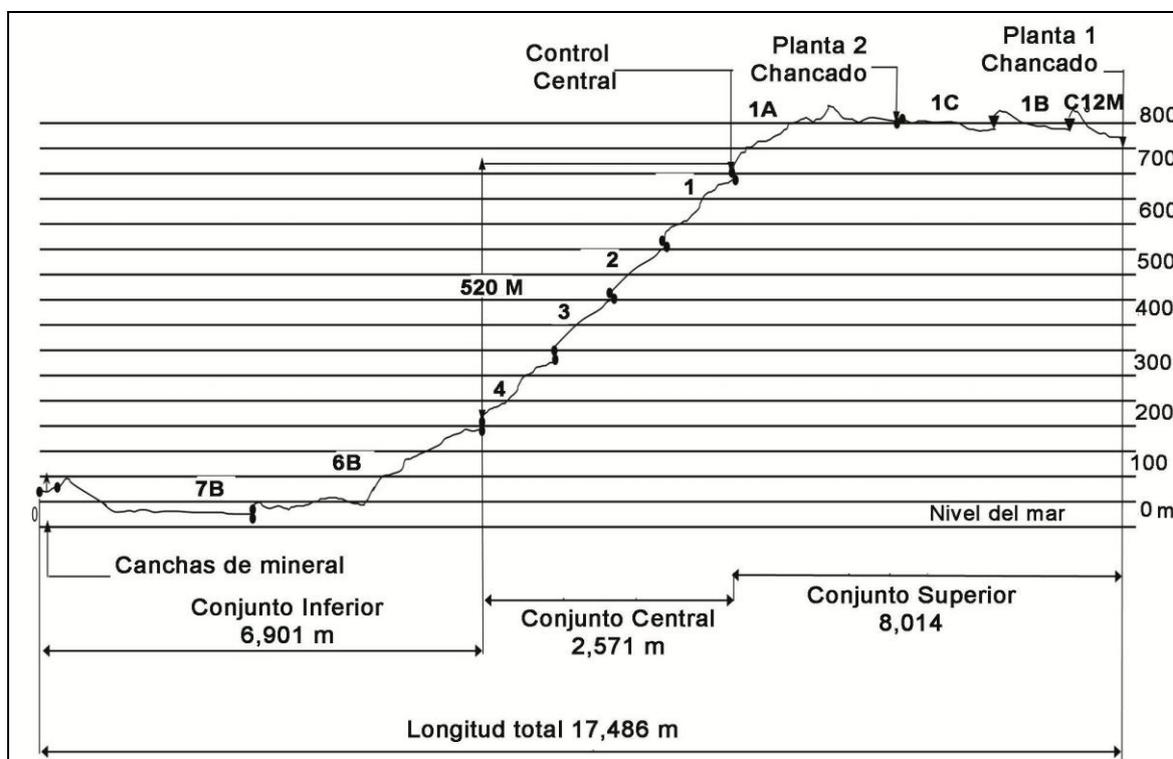


Figura 2.5 Perfil de elevación del sistema de fajas (Fuente: Referencia [2])

### **2.3.2 Sistema de operación**

La dosificación del mineral a transportarse se hace con alimentadores controlados automáticamente en base al peso sensado por una balanza que está ubicada a pocos metros del alimentador; a su vez éste alimentador toma la carga de la tolva de compensación que está abastecida por las fajas que salen de los stocks de las plantas de chancado, estas últimas fajas están diseñadas para arranques y paradas frecuentes en forma automática de acuerdo al nivel de mineral en la tolva, de tal manera que garantice una alimentación continua en el jalado de mineral por el Conveyor para optimizar el rendimiento y asegurar la protección del sistema (evitar sobrecargas) especialmente en las Fajas del Conjunto Central.

El sistema Conveyor fue concebido originalmente para ser controlado en forma remota desde una estación central ubicada en la Casa 1, esta condición se ha mantenido y mejorado con las innovaciones realizados en el campo de la automatización.

### **2.3.3 Bombeo de agua salada**

En forma paralela al Conveyor se tiene una línea de tuberías que bombea agua salada del mar desde un punto en San Nicolás hasta la Mina, con la finalidad de abastecer del líquido para diversas actividades como regadío de carreteras y mitigación de polvos. Se compone por tres bombas impulsadas por motores eléctricos hasta 300 HP en la parte de mayor esfuerzo y 150 HP en la de menor esfuerzo. Asimismo se dispone de 3 tanques de 300,000 galones para depósito temporal. Todo este proceso también es controlado en forma remota desde la Casa 1.

# CAPÍTULO III : ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL SISTEMA CONVEYOR

En el presente capítulo se describe la estructura del Conveyor (relación de fajas, casas de fuerza y control, distribución y funcionamiento), luego se explica la filosofía de control, y finalmente el sistema de Comunicación Telecontrol antiguo. Esto ayudará a explicar el dimensionamiento y diseño del sistema de automatización implantado, el cual es explicado en el capítulo IV.

## 3.1 Estructura

El sistema de Fajas Transportadoras de la Empresa Shougang Hierro Perú, conocida como CONVEYOR, consta de un conjunto de 14 Fajas y 13 Casas de fuerza y control. Su función es transportar el mineral de hierro procesado por las plantas chancadoras de la mina (Planta 1 y Planta 2) desde sus respectivos stocks hasta depositarlos en los stocks de crudo en las Plantas de beneficio a una distancia de 17.5 Km.

Las catorce fajas que conforman el Conveyor son mostradas en la Tabla 3.1. Se utiliza la denominación de cola y cabeza para referirse al sentido de transporte de la faja; de donde sale el material es la cola y donde se deposita a la siguiente faja es la cabeza. Las trece casas de fuerza y control que conforman el Conveyor se muestran en la Tabla 3.2, La descripción preliminar del funcionamiento del Conveyor se muestra en la Tabla 3.3 y las Figuras 3 .1 a 3.4 ilustran la ubicación de las fajas y las casas de fuerza y control.

Tabla 3.1 Relación de Fajas (Fuente: Elab.Prop.)

Faja 3031	Faja 1B	Faja 2	Faja 5	Faja 1407
Faja C12M	Faja 1C	Faja 3	Faja 6B	Faja 1410
Faja 1A	Faja 1	Faja 4	Faja 7B	

Tabla 3.2 Casas de fuerza y control (Fuente: Elab.Prop.)

Casa 1A Cola	Casa 1C	Casa 2	Casa 6B Cola
Casa 1A Cabeza	Casa 1 (Casa	Casa 3	Casa 6B/7B
Casa 1B Cola	Master)	Casa 4	Casa 7B Cabeza
Casa 1B Cabeza			Casa Stacker (móvil)

Existen dos vías de transporte de mineral que convergen en un punto del sistema de la faja 1A, desde la Planta 1 y desde la Planta 2:

Transporte desde Planta 1: Faja C12M, 1B, 1C, 1A (en forma parcial), 1, 2, 3, 4, 5, 6B, 7B, 1407, 1410.

Transporte desde Planta 2: Faja 3031, 1A, 1, 2, 3, 4, 5, 6B, 7B, 1407, 1410.

Figura 3.1 Distribución de fajas y casas de fuerza y control (Fuente: Referencia [3])

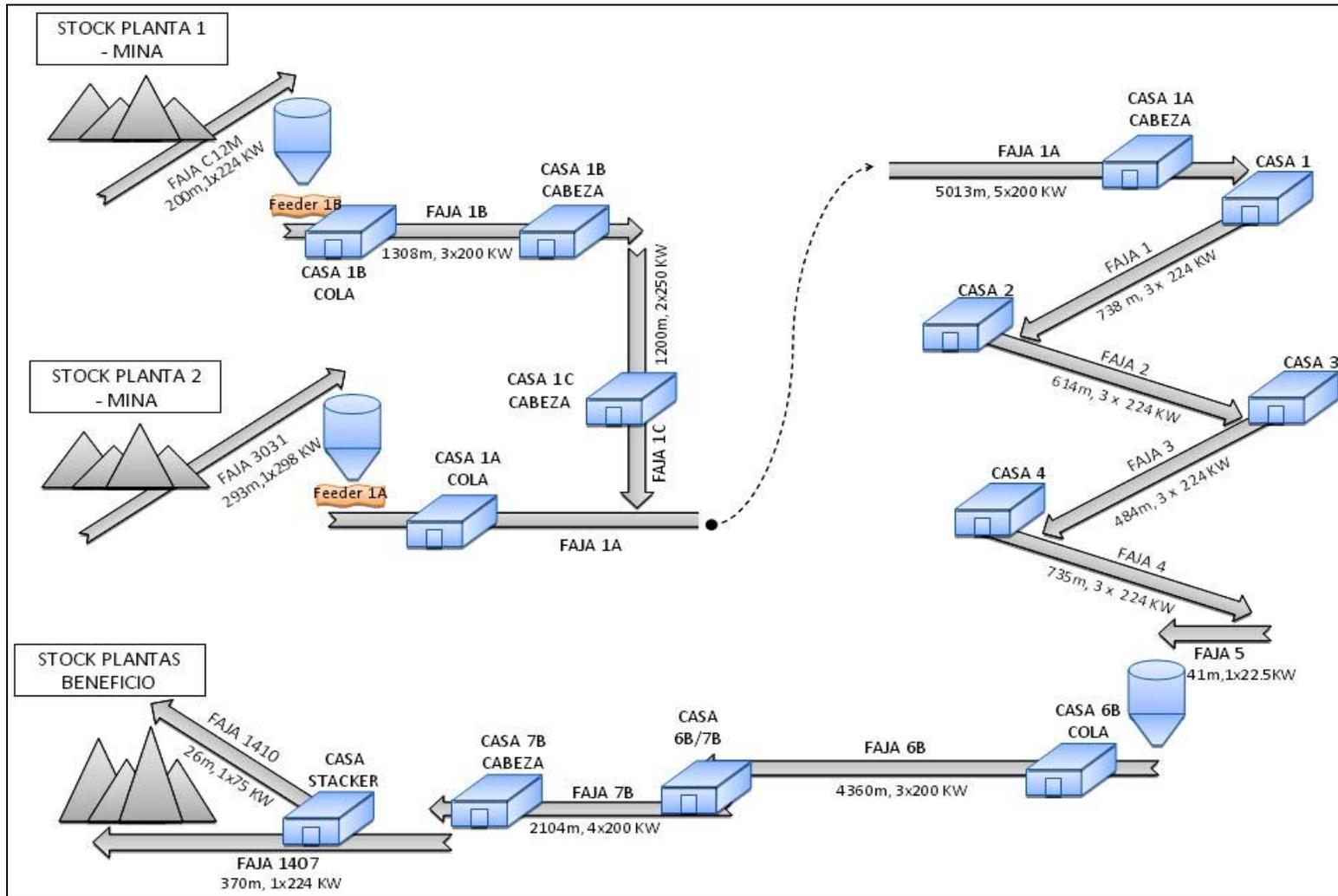




Figura 3.2 Vista panorámica del conjunto superior (Fuente: Google Earth V6.1)

Figura 3.3 Vista panorámica del conjunto central (Fuente: Ibídem)

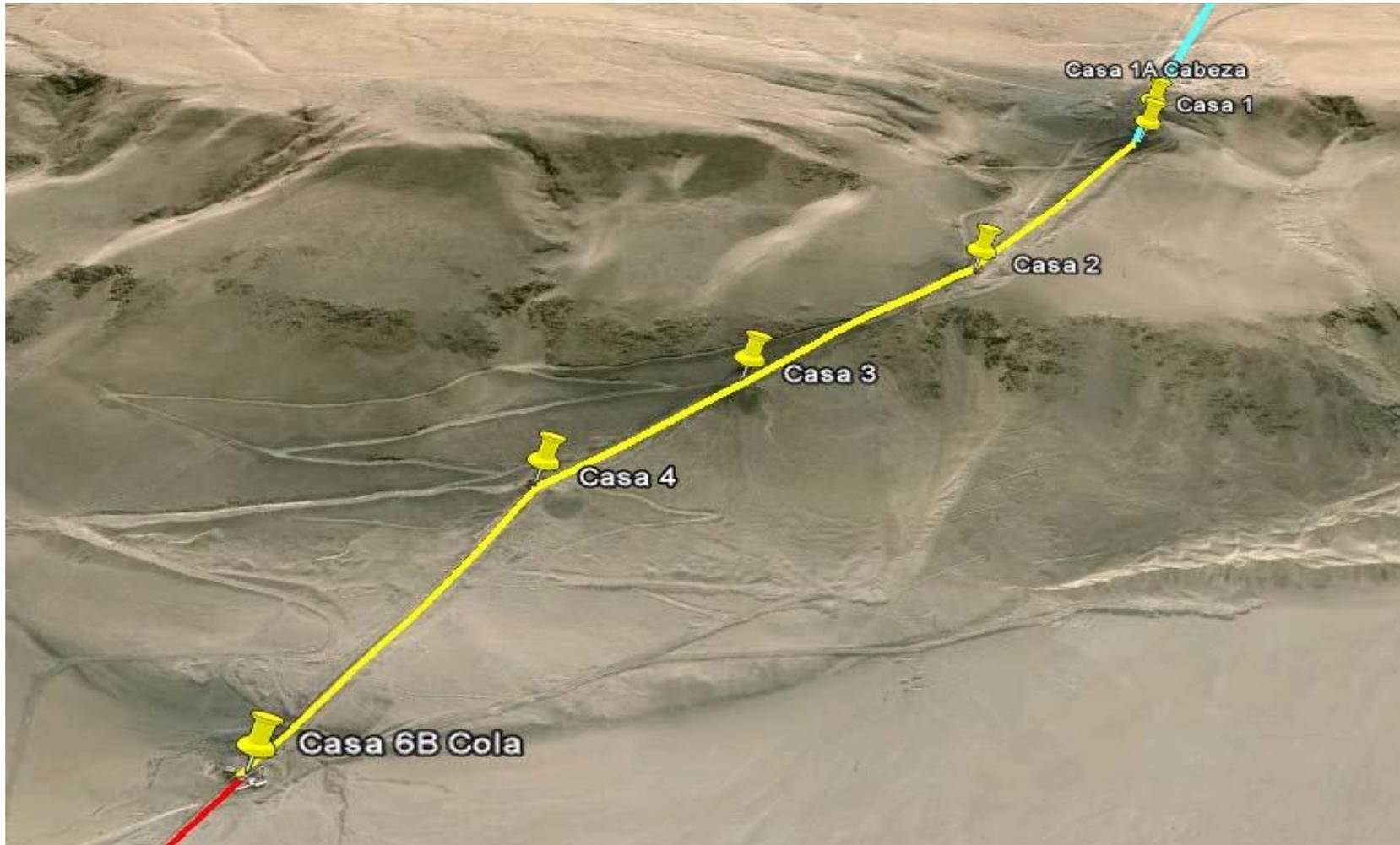


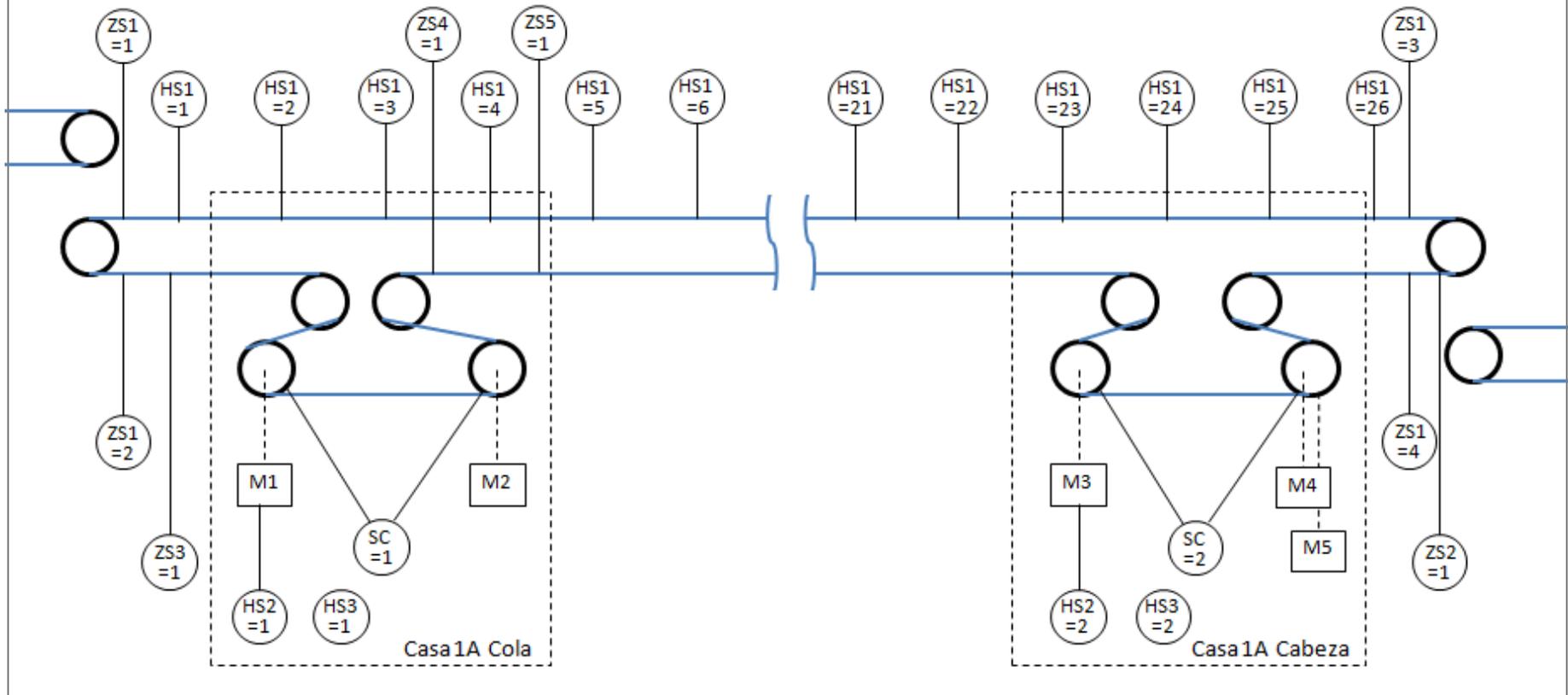
Figura 3.4 Vista panorámica del conjunto inferior (Fuente: Ibídem)



Tabla 3.3 Descripción preliminar de funcionamiento del Conveyor (Fuente: Elab. Prop.)

Faja	Origen	Destino	Motores (KW)	Longitud (m)	Desnivel (m)	Casa Ubic tablero
3031	Stock subterráneo de la Planta 2	Tolva de compensación 1A Cola	1 x 298	293	+11	1A Cola
C12M	Stock subterráneo de la Planta 1	Tolva de compensación 1B Cola	1 x 224	200	+17	1B Cola
1A	Alimentador variable accionado por un motor DC de 37.3 KW ubicado debajo de la tolva de compensación 1A Cola	Chute de transferencia de la Faja 1	5 x 200	5,013	-73	1A Cola/ 1A Cabeza
1B	Alimentador variable accionado por un motor DC de 55.6 KW ubicado debajo de la tolva de compensación 1B Cola	Chute de transferencia de la Faja 1C	3 x 200	1,308	+34	1B Cabeza
1C	Chute de transferencia de la faja 1B	Chute de transferencia ubicado en un tramo de la faja 1A	2 x 250	1,200	-2	1C Cabeza
1	Chute de transferencia de la faja 1A	Chute de transferencia ubicado en un tramo de la faja 2	3 x 224	738	-140	1
2	Chute de transferencia de la faja 1	Chute de transferencia ubicado en un tramo de la faja 3	3 x 224	614	-120	2
3	Chute de transferencia de la faja 2	Chute de transferencia ubicado en un tramo de la faja 4	3 x 224	484	-119	3
4	Chute de transferencia de la faja 3	Chute de transferencia ubicado en un tramo de la faja 5	3 x 224	735	-141	4
5	Chute de transferencia de la faja 4	Tolvas de compensación 6B Cola	1 x 22.5	41	0	6B Cola
6B	Tolva de compensación 6B Cola	Chute de transferencia de Faja 7B	3 x 200	4,360	-125	6B Cola 6B/7B.
7B	Chute de transferencia de la faja 6B	Chute de transferencia de faja 1407	4 x 200	2,104	+47	6B/7B. 7B Cabeza
1407	Chute de transferencia de la faja 7B	Chute de transferencia de faja 1410	1 x 224	370	0	Stacker
1410	Chute de transferencia de faja 1407	Stocks de crudo de las plantas de beneficio	1 x 75	26	+7	Stacker

Figura 3.5 Diagrama de Flujo de Proceso – Faja 1A (Fuente: Elab.Prop.)



Se tienen tres diferentes tecnologías (japonés, alemán y moderno), cada una tiene su propio diseño en la parte de operación, sistema mecánico y sistema eléctrico.

- Sistema Japonés (NKK): Fajas 3031, C12M, 1A, 1B, 5, 6B, 7B, 1407, 1410.

- Sistema Alemán (Krupp & Krupp): Fajas 1,2, 3, 4.

- Sistema Moderno (H&L Ingenieros): Faja 1C.

## 3.2 Filosofía de Control

Dado que todas las fajas, independientemente del fabricante, tienen una disposición de elementos de control similar, variando obviamente en la longitud de la faja y cantidad de elementos de control, a continuación se describe un FPD típico (Diagrama de Flujo de Proceso, ver figura 3.5) y explicación de sus principales elementos:

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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. Esta rutina solamente se aplica en las fajas japonesas.

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 Alemanas: Faja 1, Faja 2, Faja 3, Faja 4**

En esta sección se analiza el control operacional y las paradas de emergencia. La Figura 3.6 resume el flujo de procesos.

#### **a. Control Operacional**

El control operacional es descrito en cinco subsecciones:

- 1) Condiciones previas al arranque.
- 2) Voltaje de control.
- 3) Arranque manual.
- 4) Arranque automático.
- 5) Secuencia de arranque.

#### 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.

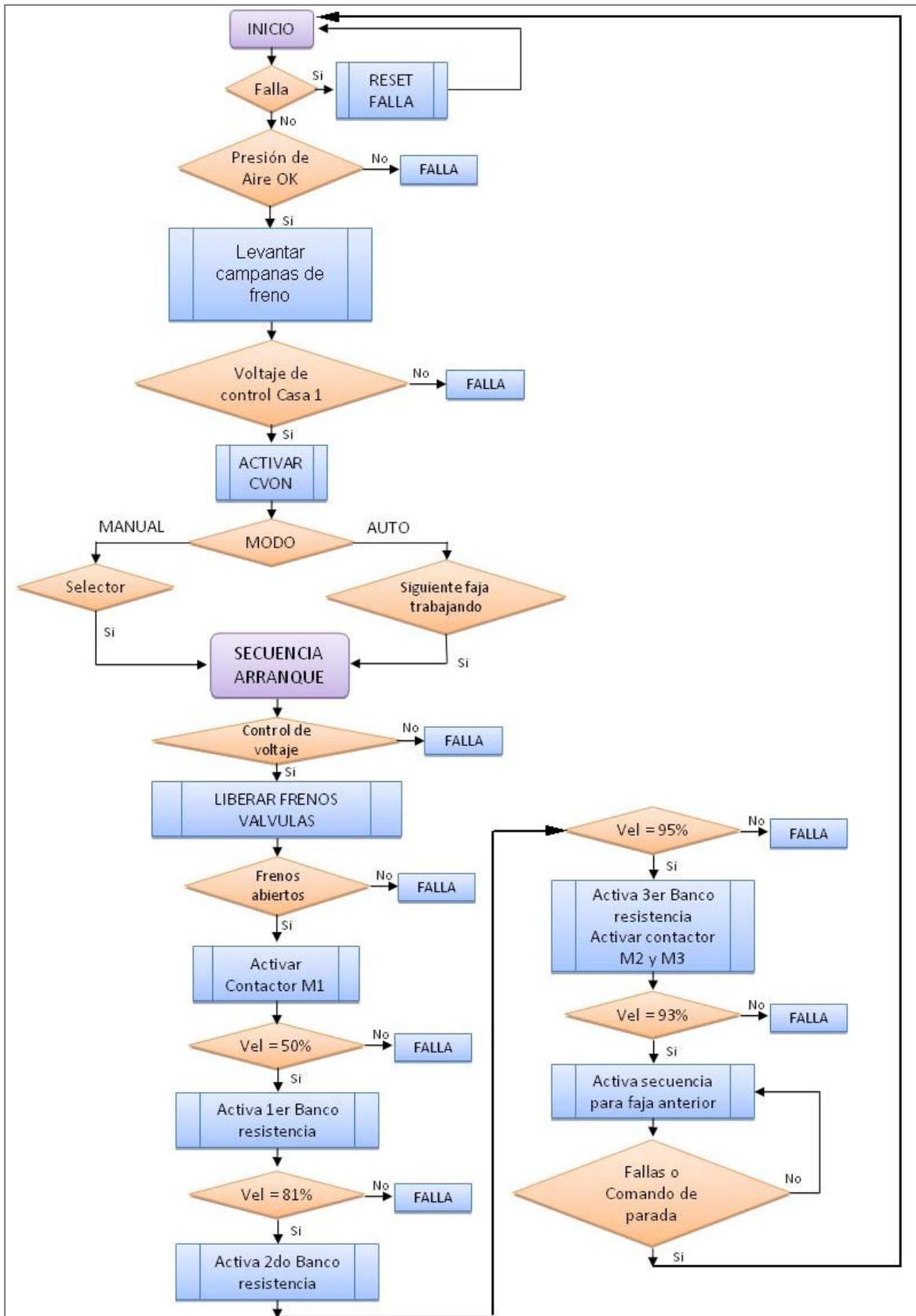


Figura 3.6 Diagrama de flujo de Fajas Alemanas (Fuente: Elab.Prop.)

#### 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), luego se activa el segundo 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 Japonesas: Faja 1A, Faja 1B, Faja 6B, Faja 7B**

Se utiliza el mismo esquema de análisis: Control Operacional y paradas de emergencia.

La Figura 3.7 muestra el flujo de los procesos.

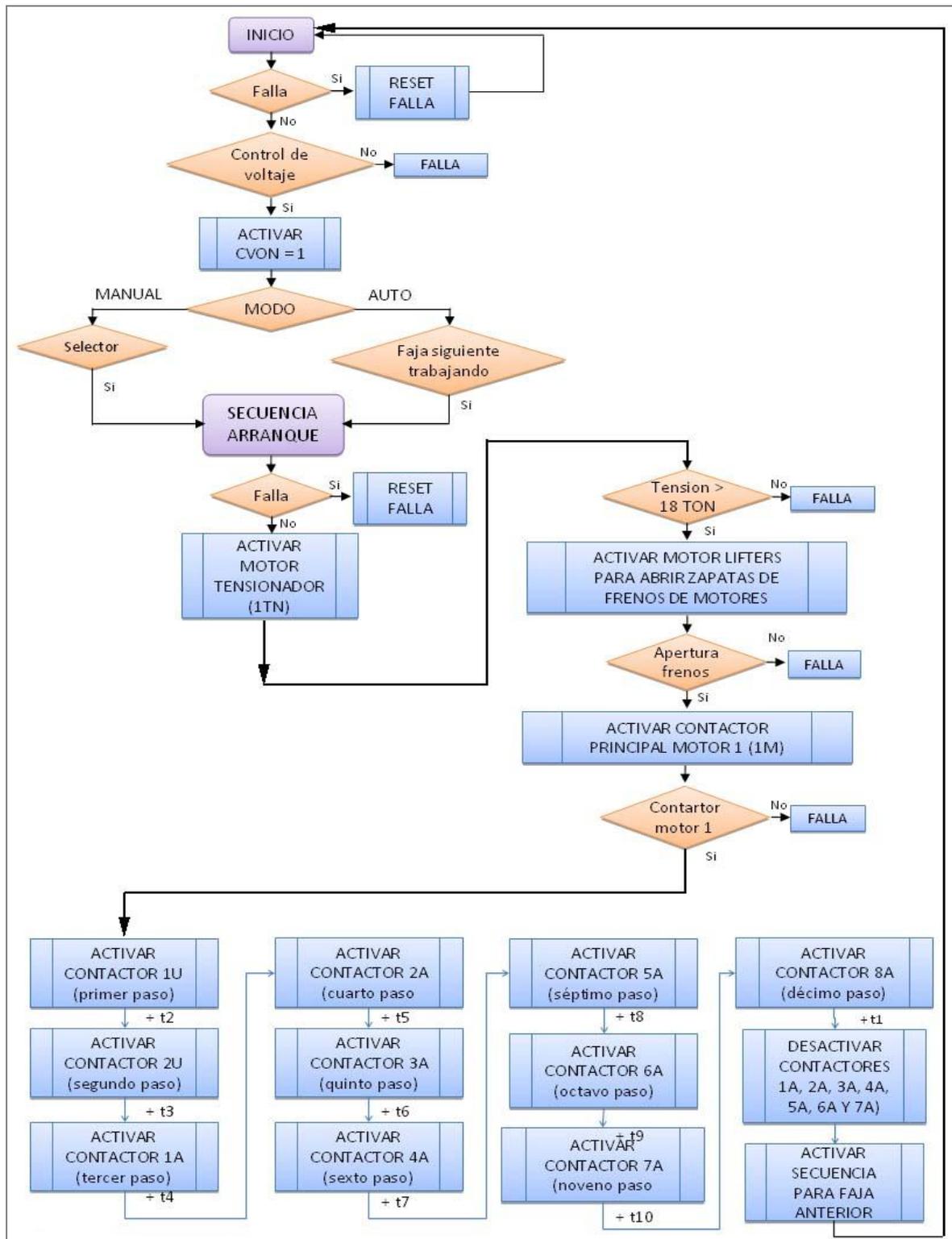


Figura 3.7 Diagrama de flujo de Fajas japonesas (Fuente: Elab.Prop.)

a. Control Operacional

Se analiza en cinco subsecciones.

#### 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). Esta servirá para la energización de los equipos involucrados en la operación de la faja.

#### 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 (1TN).

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 (1B Cabeza).

Faja 6B: Se arranca el motor 1, dos segundos después se arranca el motor 2 (6B Cola) 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,

Etapas 1: Luego de 2 segundos se acciona el contactor 1U.

Etapas 2: Luego de 12 segundos se acciona el contactor 2U.

Etapas 3: Luego de 3 segundos se acciona el contactor 1A.

Etapas 4: Luego de 3 segundos se acciona el contactor 2A.

Etapas 5: Luego de 3 segundos se acciona el contactor 3A.

Etapas 6: Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 4A.

Etapas 7: Luego de 2.5 segundos, se acciona el contactor 5A.

Etapas 8: Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 6A.

Etapas 9: Luego de 2.5 segundos se acciona el contactor 7A.

Etapas 10: Luego de 1 segundo se acciona el contactor 8A.

Etapas 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.

Etapas 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.

### **3.2.3 Faja 1C**

Se utiliza el mismo esquema de análisis: Control Operacional y paradas de emergencia. La Figura 3.8 muestra el flujo de los procesos.

#### 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.

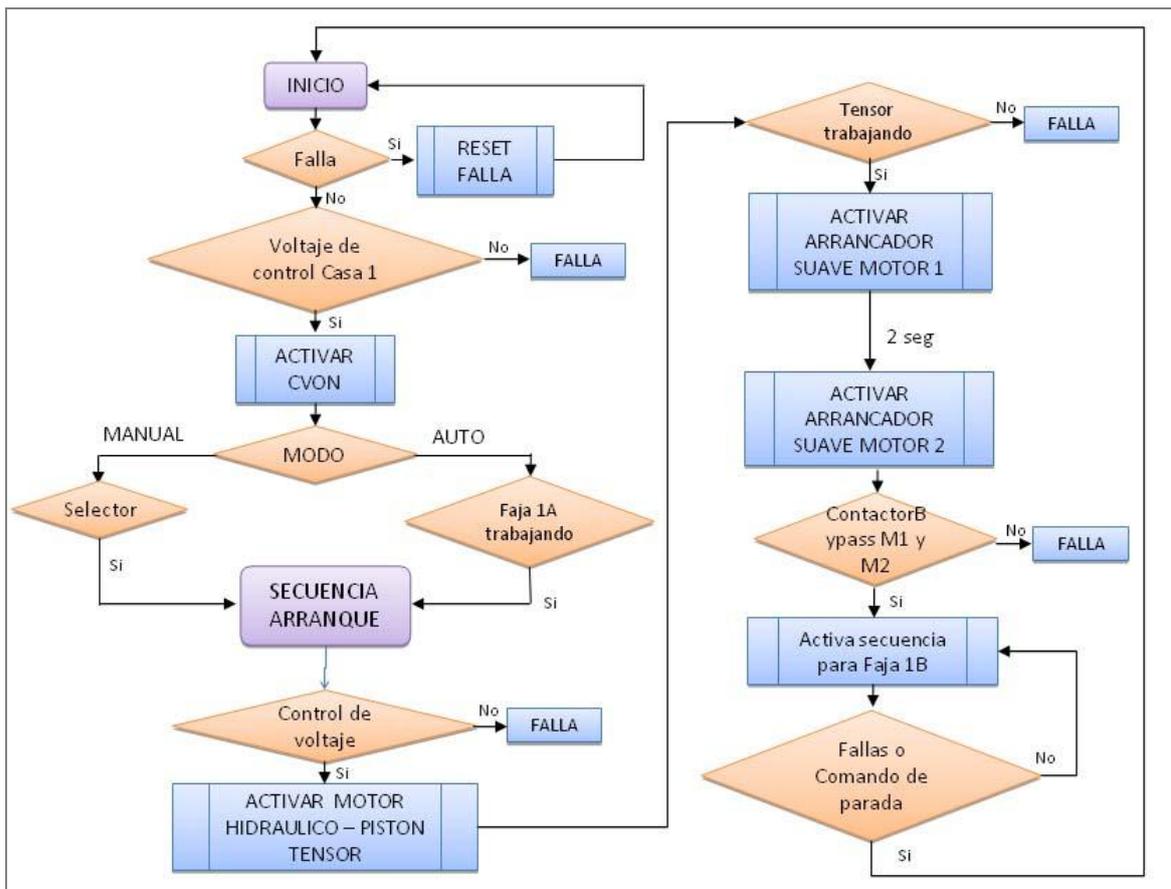


Figura 3.8 Diagrama de flujo de Faja 1C (Fuente: Elab.Prop.)

#### 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.

### 3.2.4 Faja 5

De igual forma se realiza el análisis del control operacional y de las paradas de emergencia.

#### 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.

### 3.2.5 Faja 1407 y 1410 (Stacker)

Se describe el control operacional y las paradas de emergencia.

#### 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.

### 3.2.6 Faja C12M y 3031

Se describe el control operacional y las paradas de emergencia.

#### 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)

### 3.2.7 Alimentadores 1A y 1B

Se describe el control operacional y las paradas de emergencia.

#### 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.

### 3.2.8 Operación del sistema Conveyor

En esta sección se analizan los siguientes ítems: Modo Automático, Modo Manual, Modo Bloqueo y Alimentación del sistema-

#### 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 seteado 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.

### **3.3 Sistema de control previo a la solución, Sistema de Comunicación Telecontrol**

Este sistema de control consistía en un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos montados sobre tableros instalados en cada casa. La topología de conexión era del tipo estrella, es decir todas las casas se comunicaban con la Casa 1 a través de un par de líneas tendidas a lo largo de la faja.

De esta manera era posible que cada casa envíe y reciba información limitada del tipo discreta a Casa 1 con fines de monitoreo. Las principales señales que se enviaban de cada casa eran:

El estado operativo de cada motor (trabajando o parado).

Confirmaciones de control voltaje, otros.

Presencia de fallas eléctricas y mecánicas ( graves y leves).

Las principales señales que recibía cada casa eran confirmaciones de secuencia y comando. En la Figura 3.9, se puede observar la comunicación típica entre una casa cualquiera y la casa 1.

En la Figura 3.10, se puede observar la red de comunicación estrella que se tenía. Asimismo se puede observar la cantidad de información limitada que se disponía con este tipo de comunicación.

#### **3.3.1 Componentes de sistema telecontrol**

Esta tecnología data de los años sesenta, por lo cual la mayoría de sus componentes son a base de semiconductores de baja potencia (transistores, diodos, etc.), dispositivos electromecánicos (contactores, relés) y elementos pasivos (transformadores, cristales osciladores, bobinas, etc.). Todos estos componentes venían montados en tarjetas, motivo por el cual ocupan bastante espacio, por otro lado los componentes usados para la modulación, alimentación y acoplamiento son demasiado robustos con un alto consumo de energía, por lo tanto generadores de calor.

En la Figura 3.11, se muestran tableros típicos de telecontrol en el que se observa lo aparatoso del sistema para la poca información que se podía transmitir.

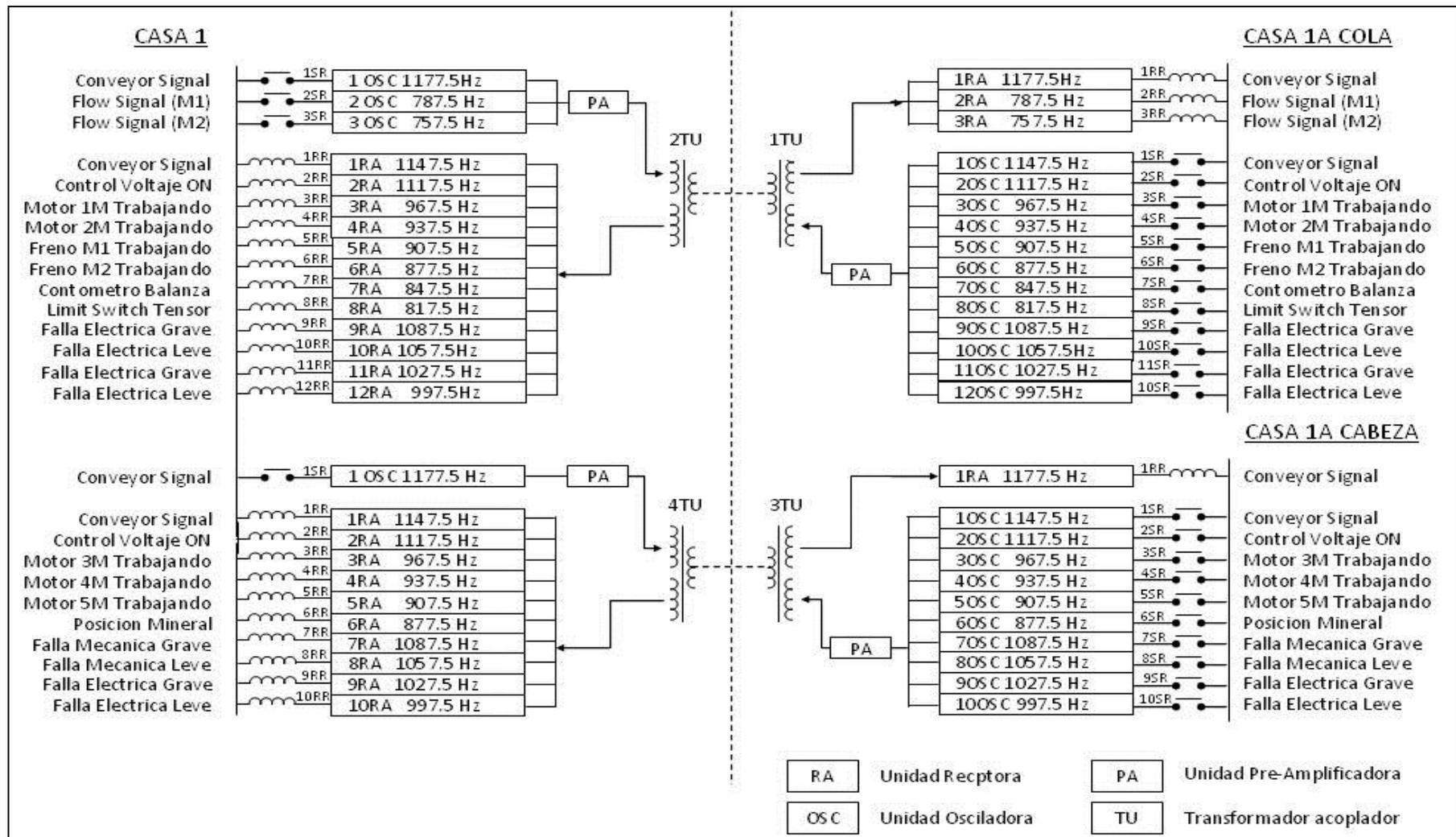


Figura 3.9 Sistema típico de comunicación entre casas por telecontrol (Fuente: Referencia [4])

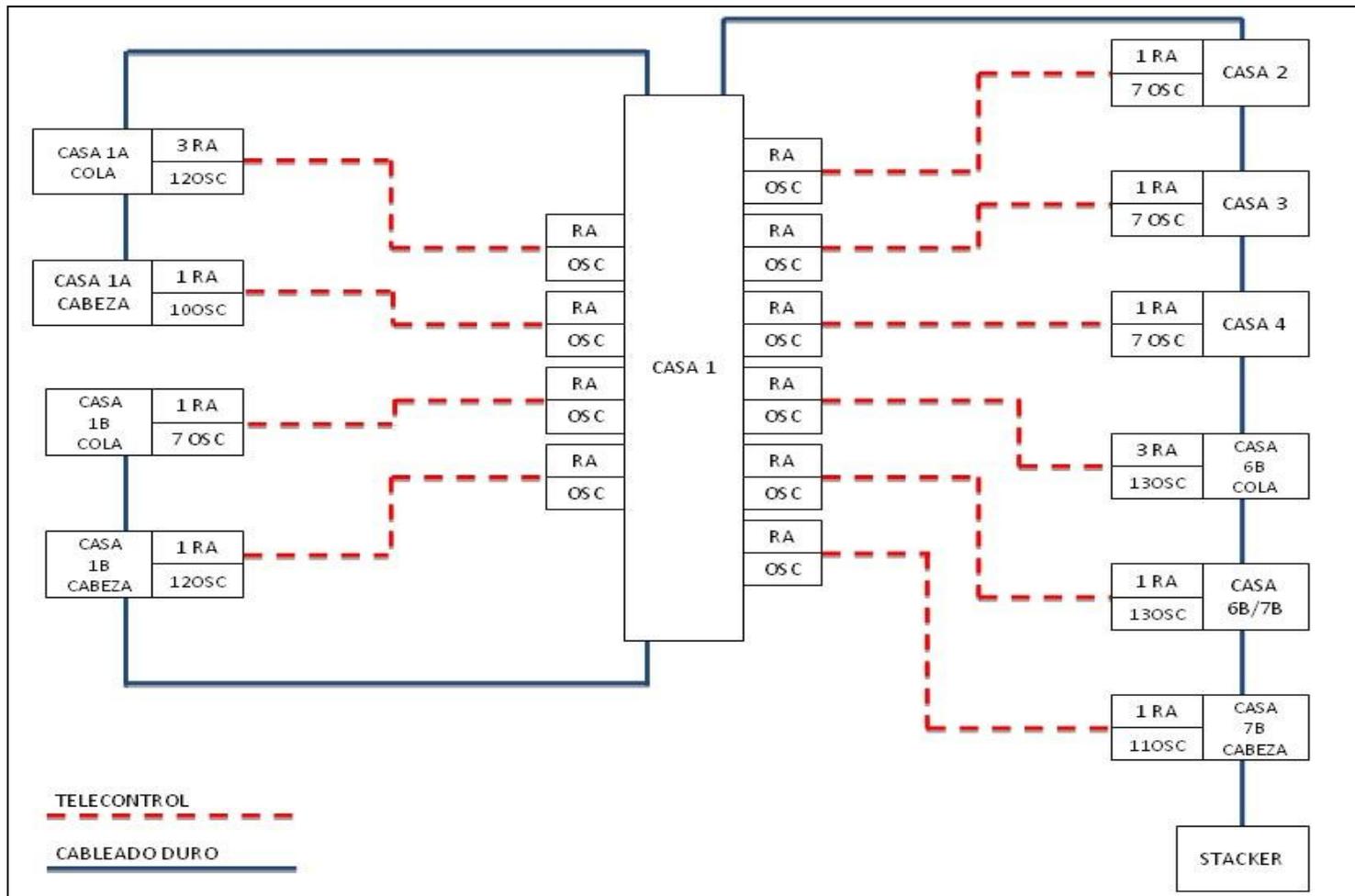
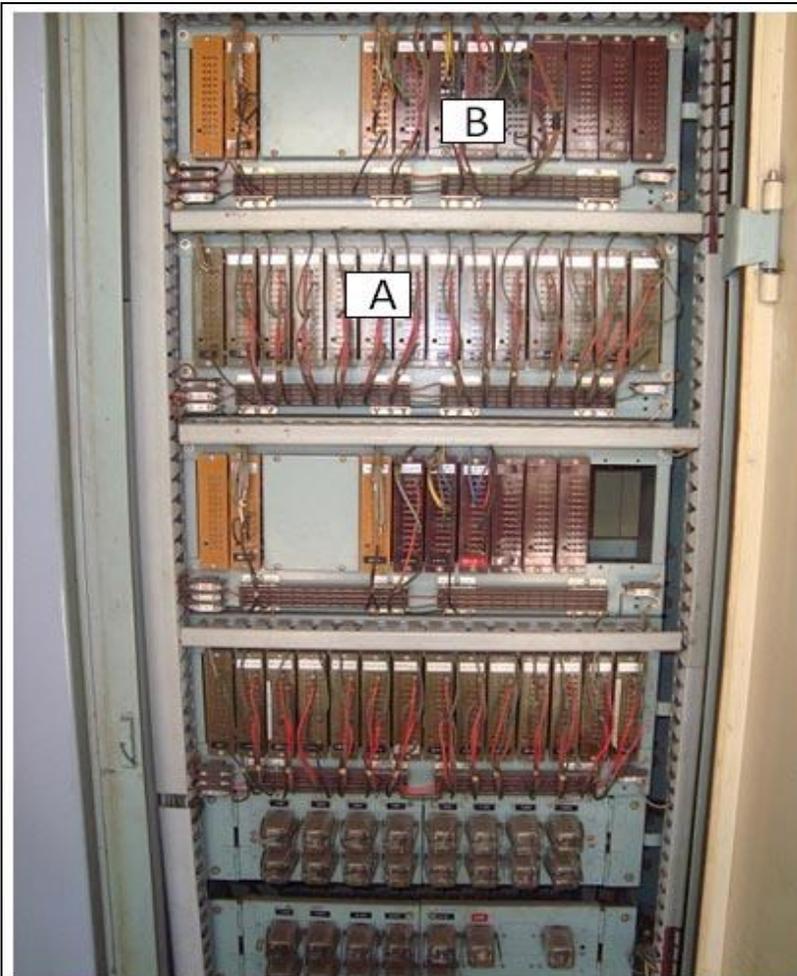
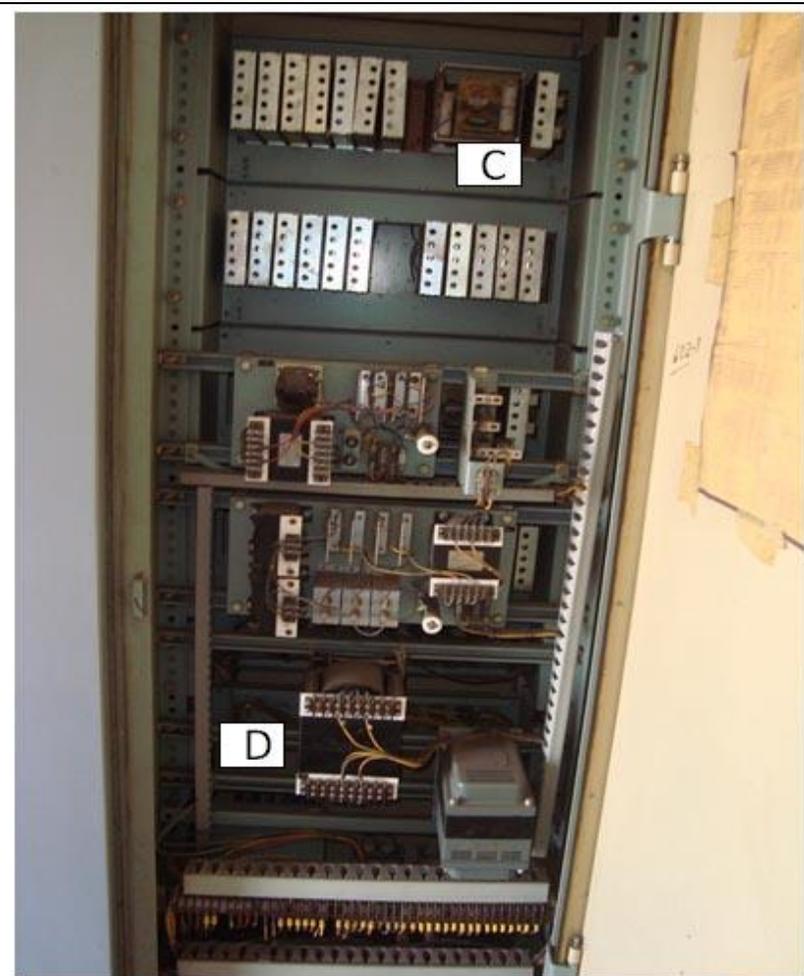


Figura 3.10 Red antigua de comunicación CONVEYOR-TELECONTROL (Fuente: Elab.Prop.)



( A ) - UNIDADES OSCILADORAS  
( B ) - UNIDADES RECEPTORAS



( C ) - UNIDADES PRE-AMPLIFICADORAS  
( D ) - TRANSFORMADOR ACOPLADOR

Figura 3.11 Componentes electrónicos sistema Telecontrol Conveyor (Fuente: Elab. Prop.)

Cualquier falla que se presentaba demandaba de bastante tiempo para su solución debido a la cantidad de circuitería y cableado que se tenía y por no disponer de mayor información. Esto obligaba a disponer stocks de todos los componentes del sistema (tarjetas) incrementando los costos de mantenimiento.

### 3.3.2 Tablero de control maestro

Todas las señales recibidas en la casa 1, se mostraban en un tablero de control y monitoreo en base a:

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 3.12 se observa el tablero de telecontrol, en la actualidad en desuso.

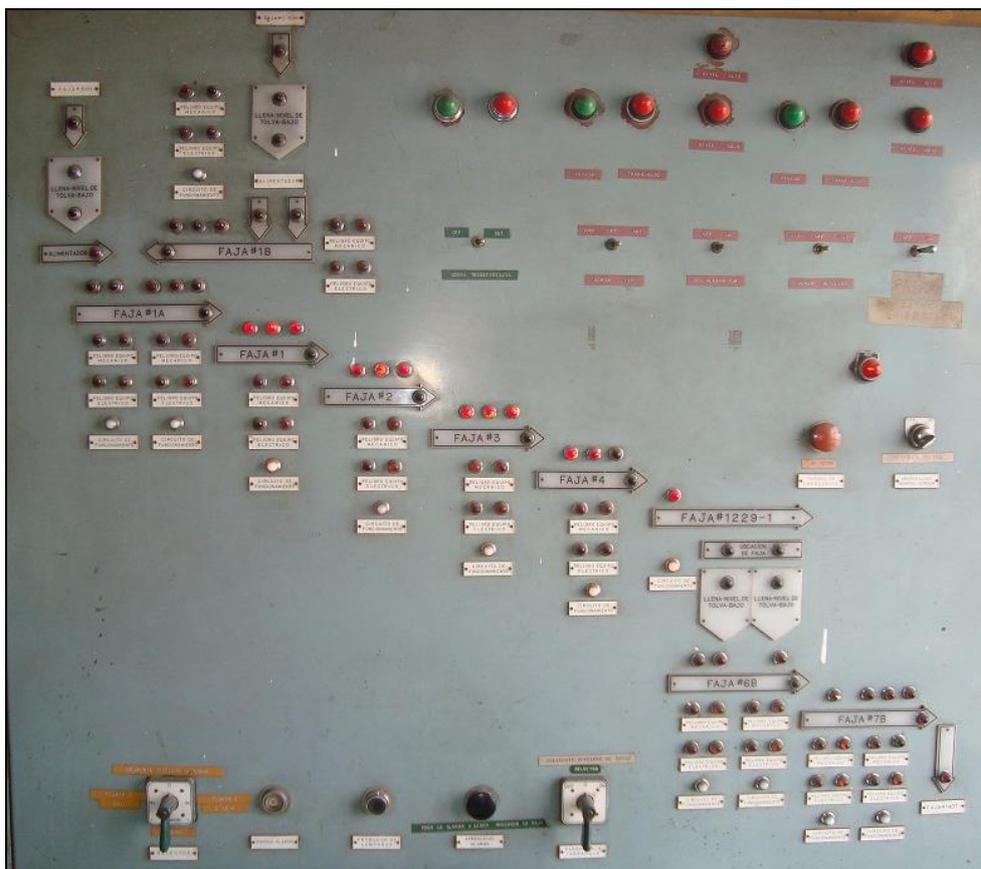


Figura 3.12 Tablero de control antiguo (Fuente: Ibídem)

### **3.3.3 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. Esto se pudo apreciar en la Figura 3.10.

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.

### **3.3.4 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.

# CAPÍTULO IV : INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se describirá el sistema de control actual. Su diseño se apoya en la información analizada en el capítulo anterior, en donde se describió la estructura a controlar y su funcionamiento, su filosofía de control, y el sistema antiguo de telecontrol.

La descripción del nuevo sistema será desde un punto de vista funcional, es decir se resaltaran las funcionalidades y aplicaciones específicas de cada equipo o componente y como se interrelacionan unos con otros.

## **4.1 Dimensionamiento del proyecto**

Dada la tecnología disponible del momento y tomando en cuenta los requerimientos actuales y futuros del sistema conveyor, se requería un sistema de control y comunicación confiable y eficiente donde el factor económico tendría un peso importante a considerar al momento de realizar la evaluación final.

Tomando en cuenta los puntos anteriores y la envergadura del sistema conveyor conformado por 14 fajas transportadoras distribuidos a lo largo de 17 kilómetros, se planteó un sistema de control en base a PLC (Controlador Lógico Programable) del tipo modular dado que se tenía pensado el incremento de capacidad del conveyor y adición de subprocesos aún por desarrollar.

Los procesos que debía automatizar el PLC comprendía principalmente el control de arranque de los motores en su forma automática y manual, de acuerdo a la filosofía de control que se detalló en el capítulo III. La lógica de control del PLC debía reemplazar en lo posible los dispositivos electromecánicos que se disponía en el sistema antiguo tales como contactores, motor-timers, relés de enclavamiento, etc.. Adicionalmente también se requirió el control de bombas de agua salada.

Con respecto al sistema de comunicación para la nueva red de PLC, se tomó en cuenta el trazado de las fajas, distancia entre las casas de control y la topología del terreno, concluyendo que un sistema de comunicación en base a fibra óptica era el más indicado con opciones de comunicación inalámbrica para redundancia.

Los requerimientos de instrumentación eran en su mayoría los mismos dispositivos de campo y control que se disponía, sin embargo se tomó como indispensable el monitoreo de los parámetros eléctricos de los motores y consumo de energía del conveyor.

Para el monitoreo del proceso se planteó un sistema SCADA donde se debía tener acceso a una pantalla general del sistema, pantallas independientes de cada faja, y pantallas de otros subprocesos que se incluyan en el PLC. Por otro lado se requería explotar las bondades de un SCADA como son la generación de reportes, almacenamiento de tendencias en tiempo real e histórico, sistema de alarmas y fallas entre otros. Este SCADA debía ubicarse en la Casa 1; adicionalmente se solicitó dos estaciones para respaldo y desarrollo de la supervisión.

Para las demás casas se planteó paneles de operador con funcionalidad de ejecutar comandos locales y el anuncio de alarmas y fallas.

Para la etapa de implementación, en forma general se requerían los siguientes trabajos:

Provisión de hardware de PLC.

Tableros de control.

Software Scada y Paneles de Operador.

Software de desarrollo para PLC, Scada y Panel de Operador.

Componentes de fibra óptica.

Ingeniería básica y detalle.

Programación de PLC, SCADA y Panel de operador.

Cableado y conexionado Eléctrico de Tableros de PLC.

Tendido de fibra óptica.

Pruebas FAT y SAT.

Puesta en marcha.

Capacitación y documentación.

Dada la envergadura e inversión del proyecto, la Gerencia de Producción aprobó realizar la implementación de la automatización en dos etapas.

La primera etapa (ver sección 4.2) abarcó la automatización de las fajas 1A, 1B, 1C, C12M y 3031 con equipamiento SIEMENS.

La segunda etapa (ver sección 4.3) 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, Kepservers 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 Etapa 1 – Conjunto Superior**

Esta etapa abarcó la automatización de las fajas 1A, 1B, 1C, C12M y 3031 con equipamiento SIEMENS, el cual se pasa a detallar.

### **4.2.1 PLC (Controlador Lógico Programable)**

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 4.1), con un puerto integrado tipo RJ-45 de velocidad de transmisión 10/100 Mbit 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).



Figura 4.1 Módulos utilizados Siemens (Fuente: Referencia [5])

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 4.2).

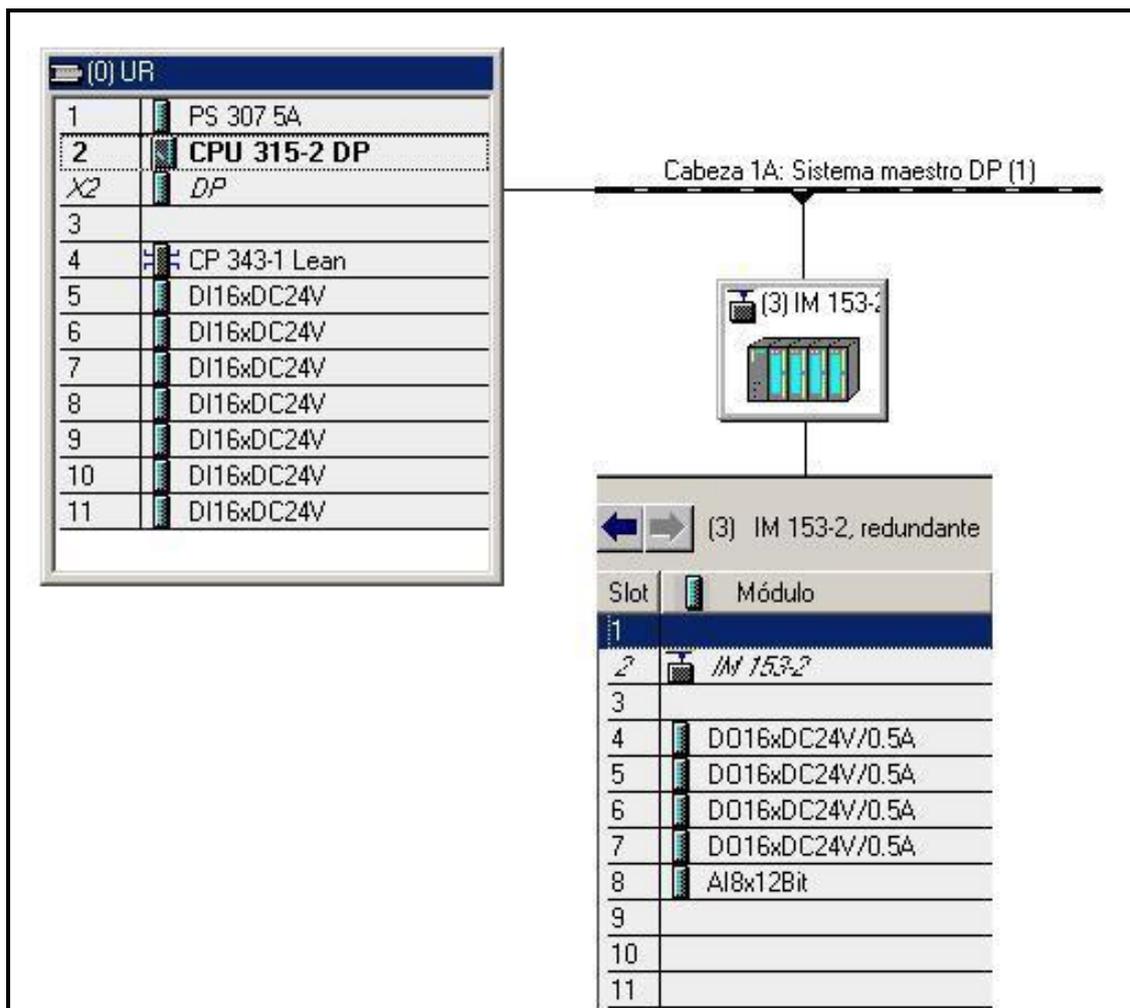


Figura 4.2 Configuración típica usada en una casa (Fuente: Ref. [6])

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 4.6), 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 PLC 1A Cola (Fuente: Elab. Prop.)

Rack 0		Rack 1	
Slot 2	CPU 315-2DP	Slot 2	IM 153-2
Slot 4	CP 343-1 Lean	Slot 4	DI16 x DC24V
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	DO16 X DC24V/0.5A
Slot 8	DI16 x DC24V	Slot 8	DO16 X DC24V/0.5A
Slot 9	DI16 x DC24V	Slot 9	DO16 X DC24V/0.5A
Slot 10	DI16 x DC24V	Slot 10	AI8 X 12Bit
Slot 11	DI16 x DC24V	Slot 11	AO8 X 12Bit

Tabla 4.2 PLC 1A Cabeza (Fuente: Elab. Prop.)

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

Tabla 4.3 PLC 1B Cola (Fuente: Elab. Prop.)

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

Tabla 4.4 PLC 1B Cabeza (Fuente: Elab. Prop.)

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

Tabla 4.5 PLC 1C Cabeza (Fuente: Elab. Prop.)

Rack 0		Rack 1	
Slot 2	CPU 315-2DP	Slot 2	IM 153-2
Slot 4	CP 343-1 Lean	Slot 4	DO16 X DC24V/0.5 A
Slot 5	DI16 x DC24V	Slot 5	DO16 X DC24V/0.5 A
Slot 6	DI16 x DC24V	Slot 6	DO16 X DC24V/0.5 A
Slot 7	DI16 x DC24V	Slot 7	DO16 X DC24V/0.5 A
Slot 8	DI16 x DC24V	Slot 8	AI8 X 12Bit
Slot 9	DI16 x DC24V	Slot 9	
Slot 10	DI16 x DC24V	Slot 10	
Slot 11	CP 340-RS485	Slot 11	

Tabla 4.6 PLC CASA 1 (Fuente: Elab. Prop.)

Rack 0		Rack 1	
Slot 2	CPU 315-2DP	Slot 2	
Slot 4	CP 343-1 Lean	Slot 4	
Slot 5	DI16 x DC24V	Slot 5	

Slot 6	DO16 X DC24V/0.5A	Slot 6	
Slot 7	DI16 x DC24V	Slot 7	
Slot 8	AO8 X 12Bit	Slot 8	
Slot 9		Slot 9	

#### 4.2.2 Tableros de control

Se suministraron tableros importados tipo metálico auto soportado de la marca HIMEL, Modelo: OLN, color gris claro RAL 7032 texturizado, grado de protección IP54, con iluminación interior con fin de carrera en puerta y tomacorriente, de las siguientes dimensiones: alto: 2000 mm + 200 mm (zócalo), ancho: 600 mm, profundidad: 600 mm; conteniendo los siguientes equipos (en este caso se muestra un tablero típico correspondiente a la Casa 1A Cola)

Tabla 4.7 Suministro de componentes de tablero de control típico (Fuente: Ref. [7])

Cant.	Descripción
01	CPU 315-2DP Simatic S7-300 con interface MPI integrada, tensión de alimentación 24 Vdc, 128 Kbyte memoria de trabajo. Interface Profibus DP maestro/esclavo. Requiere micro memory card (MMC)
01	Micro memory card para Simatic S7, cpu S7-300/C7/ET-200S/IM-151, 3.3 voltios, 512 Kbytes
02	Riel para simatic S7-300, longitud = 530 mm.
01	Interfaz ET 200M modelo IM 153-2 para simatic DP, para máximo 8 módulos, con redundancia y modo asíncrono
01	Procesador de comunicaciones CP 343-1 Lean, conexión Industrial Ethernet usando protocolos TCP/IP y UDP, Send/Receive, Comunicación S7, Multicast, puerto RJ45 para LAN 10/100 Mbit
09	Módulo entrada digital SM321, aislamiento óptico, 16 puntos, 24 Vdc, 20 pines
04	Módulo salida digital SM322, aislamiento óptico, 16 puntos, 24 Vdc 0.5 A, 20 pines
01	Módulo entrada analógica SM331, aislamiento óptico, configurable para voltaje, corriente, termocuplas, resistencia. Opción de diagnóstico. Resolución 9/12/14 bits, 8 AI, 20 pines
01	Módulo salida analógica SM332, aislamiento óptico, configurable para voltaje y corriente. Opción de diagnóstico. Resolución 11/12 bits, 8 AI, 40 pines
14	Conectores frontales para módulo de señales S7-300 con tornillo, 20 pines
01	Conectores frontales para módulo de señales S7-300 con tornillo, 40 pines
01	Fuente de tensión estabilizada SITOP modular. Tensión Entrada: 120/230-500 Vac / Tensión Salida: 24 Vdc, 10 A
01	Transformador de Aislamiento 500VA / Tensión Entrada: 220Vac / Tensión Salida: 220Vac
01	Kit de interruptores automáticos Umax=480 Vac, curva tipo C
01	Estabilizador de Voltaje 1KVA, 220Vac
01	Material diverso como relés de acoplamiento, bornes fusibles, bornes, cables, canaletas, cintillos etc.

### 4.2.3 Programación PLC

Para la creación de bloques lógicos se aprovechó la programación simbólica que dispone el STEP 7 el cual simplificó en gran medida la programación. Los bloques usados fueron los bloques de organización (OB), funciones (FC) bloques de función (FB) y bloque de datos (DB), todos estos bloques organizados en forma anidada, donde a cada FC o FB se le asignaba una tarea específica dependiendo si se requería o no la memorización de datos para diferentes procesos.

Todas las funciones son invocadas desde un bloque de organización principal (OB1) para los procesos continuos. Los procesos que se deben ejecutar cada cierto tiempo son invocados desde bloques de organización cíclicos (OB35, se ejecuta cada 100ms). La mayoría de datos se almacenan en forma ordenada en DB globales o DB de instancias.

El lenguaje de programación fue el lenguaje KOP, para lógicas de escalamiento, cálculos numéricos o funciones de librerías se usa el lenguaje AWL por su ventaja de usar acumuladores de pila. 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. Muchas de las líneas de la lógica de control fueron hechos en base a los circuitos de control antiguo del conveyor.

En el anexo A se muestran algunos bloques de control utilizados en la programación de PLC. El objetivo es brindar una idea del tipo de lógica usada en los PLC del conjunto superior de la marca Siemens, para lo cual en la Figura 4.3 se muestra la interfaz de programación, en este caso del controlador instalado en la casa 1A Cola, los cuales se pasan a describir:

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

Figura 4.3 Detalle de bloques de programación típicos (Fuente: Ref. [6])

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 (Ver Anexo-A, Figura A.1).

-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. (Ver Anexo-A, Figura A.2).

- 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 (Ver Anexo-A, Figura A.3).

- FC2: MOTOR 1M, bloque de control de contactores para aceleración del motor 1 (Ver Anexo-A, Figura A.4).

- 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 (Ver Anexo-A, Figura A.5).
  - FC9: FC-ALARMAS, bloque de control para la detección de alarmas y fallas (Ver Anexo-A, Figura A.6).
  - 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 (Ver Anexo-A, Figura A.7).
  - FC16: ENLACES, bloque de control donde se invocan a las funciones FC5 y FC6 para el intercambio de información entre PLC vía Ethernet. (Ver Anexo-A, Figura A.8).
  - 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 (Ver Anexo-A, Figura A.9).
- c) Bloques de Función (FB): Son bloques programables similares a una función FC pero con memoria. Dispone de un bloque datos asignado 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 accesado 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 (Ver Anexo-A, Figura A.10).
- 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.

#### **4.2.4 Configuración de red**

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. La Figura 4.4 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 conforme a las normas IEEE 802.3 (ETHERNET) y 802.11 (Wireless LAN). 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.

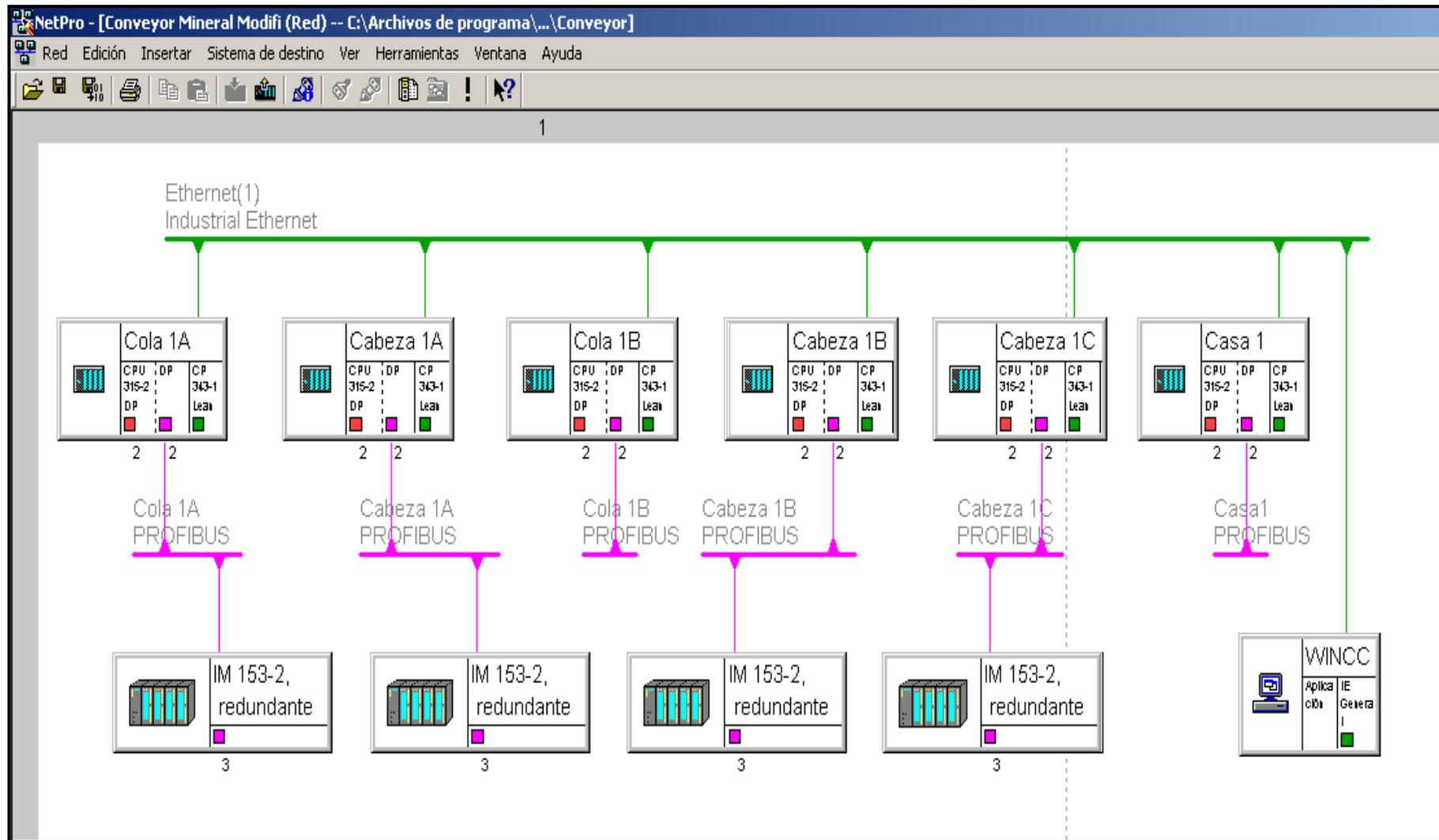


Figura 4.4 Configuración de la red (Fuente: Ref. [6])

En el caso de la red Ethernet se asignó las direcciones mostradas en la Figura 4.5, la cual fue extraída de la opción NetPro del Step 7.

Equipo	Interfaz	Dirección IP	Dirección MAC	Número de dispositivo
Cabeza 1A	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 3	/- - - - - - - - - -	-
Cabeza 1B	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 4	/- - - - - - - - - -	-
Cabeza 1C	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 5	/- - - - - - - - - -	-
Casa 1	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 1	/- - - - - - - - - -	-
Cola 1A	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 2	/- - - - - - - - - -	-
Cola 1B	CP 343-1 Lean	10 . 2 . 1 . 6	/- - - - - - - - - -	-
WMNCC	IE General	10 . 2 . 1 . 17	/- - - - - - - - - -	0

Figura 4.5 Direcciones asignadas (Fuente: Ref. [6])

#### 4.2.5 Enlaces de comunicación entre PLC

La Figura 4.6 muestra la aplicación de los bloques FC descritos para la transferencia de datos bidireccional a través de un enlace configurado.

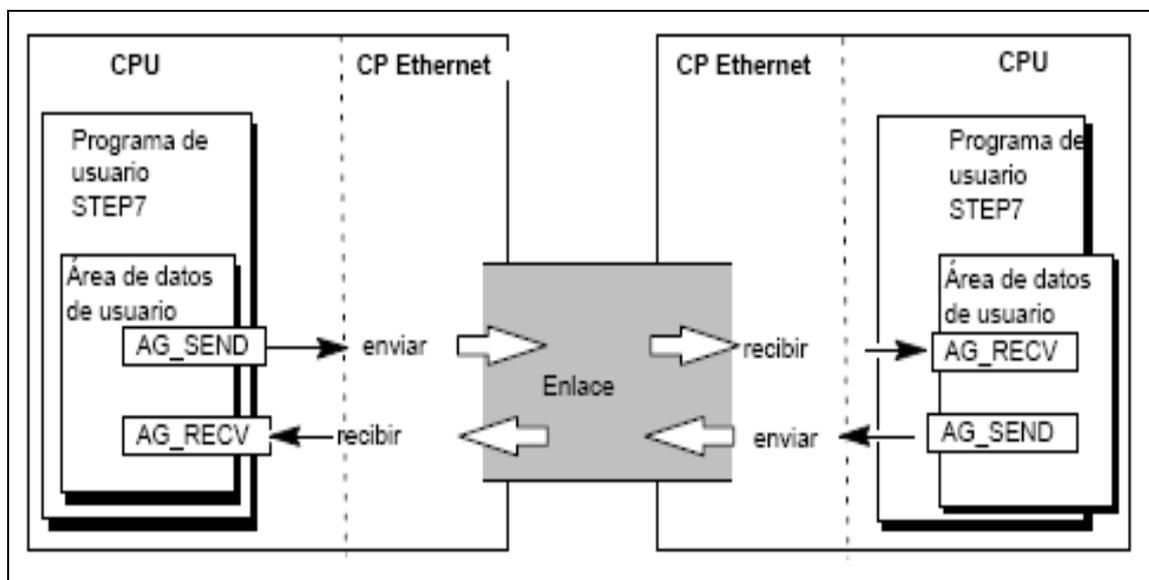


Figura 4.6 Comunicaciones Send/Receive (Fuente: Ref. [8])

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) cargables 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.

El enlace de comunicación usado es del tipo ISO-on-TCP al nivel de transporte (nivel 4 de comunicación según ISO). En un enlace ISO-on-TCP es posible intercambiar mensajes de forma bidireccional y permiten una comunicación controlada por programa/evento a través de Ethernet entre un SIMATIC S7 [5] y un CP Ethernet.

A continuación (Figura 4.7) se muestran los enlaces típicos ISO-on-TCP, para este caso los enlaces que tiene el PLC de la Casa 1A Cola.

ID local	ID del interlocut	Interlocutor	Tipo	Iniciativa local	Subred
0003 A050	0001 A050	Cabeza 1C / CPU 315-2 DP	Enlace ISO-on-TCP	sí	Ethernet(1) [IE]
0002 A050	0001 A050	Cabeza 1A / CPU 315-2 DP	Enlace ISO-on-TCP	sí	Ethernet(1) [IE]
0001 A050	0001 A050	Casa 1 / CPU 315-2 DP	Enlace ISO-on-TCP	sí	Ethernet(1) [IE]

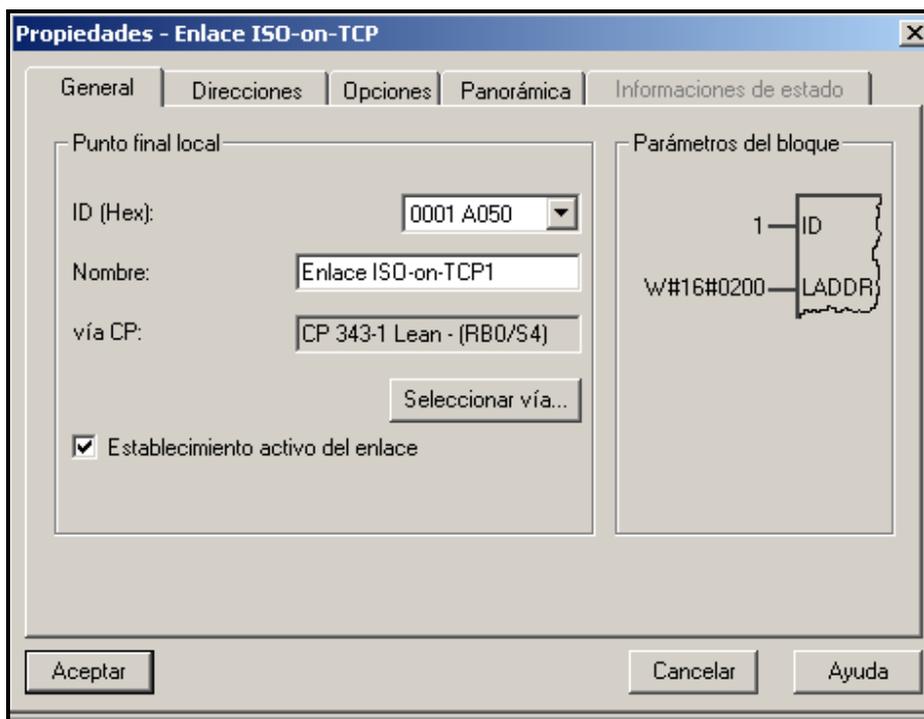


Figura 4.7 Enlaces ISO-on-TCP (Fuente: Ref. [6])

#### 4.2.6 Sistema SCADA

El sistema de supervisión SCADA usado está basado en el Software SCADA SIMATIC WinCC v6.0 SP4 de SIEMENS [9], y en una Computadora Fujitsu SIEMENS SCENIC P320. Su función es supervisar el estado de las diferentes fajas a través de las pantallas gráficas y los avisos de alarma en tiempo real, enviar comandos, parámetros y datos a los diferentes sistema de control PLC S7-300 ubicados en las casas correspondientes para la operación de las fajas y archivar la información histórica de la producción. El detalle de la estación Siemens se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 4.8 Estación Siemens (Fuente: Ref. [7])

Cant.	Descripción
1	Computadora Fujitsu Siemens SCENIC P320 i395G, placa madre $\mu$ ATX D1931, Intel i915G chipset con máximo 4GB. DDR 400 utilizable para memoria física con 4 DIMM slots. Gráficos/ audio/ LAN (10/100/1000) integrados, 4 slots (2x PCI, 1x PCI Express 16x, 1x PCI Express 1x, 5 bahías para discos (2x 5.25", 3x 3.5", accesible externamente), Ultra DMA-100 on PCI-Bus (on board for 1x2 devices), 2x Serial. Puertos ATA, fuente de poder

	280W. Interfaces: 1x puerto serial, 1x puerto paralelo, 1x mouse, 1x teclado, 4x USB 2.0 trasero, 4x USB 2.0 interno, 1x VGA, audio trasero, 1x LAN RJ45, Intel Pentium 4 HT 540 (3.2 GHz) / 1 GB DDR 400 RAM / nVIDIA GeForce 6200 128MB, Dual DVI/ VGA / FDD 1.44MB / DVD+-R/ +-RW, Double Layer, ATAPI / HDD 160 GB, S-ATA, 7.2k.
1	Monitor TFT 17" Fujitsu Siemens SCENICVIEW B19-1
1	Software WINCC V6.0 + SP3, Runtime. 1024 Power tags. Single License
1	Industrial Ethernet SoftNET-S7 Lean V6.2 para Windows XP 32 bits. Single License para CP1612
1	Tarjeta PCI CP 1612 Simatic NET (32 bits) para conexión en PG/PC (10/100 Mbits) con puerto RJ45 vía SoftNET. Driver para Windows XP Profesional.
1	Estabilizador de voltaje 2KVA@220Vac

El diseño y filosofía de las pantallas del SCADA se realizó en constante coordinación con los encargados de la programación del WinCC, tomando en cuenta el alcance del proyecto y la experiencia adquirida con proyectos similares. Se explotó sus características de animación para dar al operador la mejor forma de alertarlo ante condiciones sub-estándares fuera del rango de operación.

Las pantallas que se implementaron fueron las siguientes, La Figura 4.8 resume el esquema de navegación de estas pantallas.

**Pantalla General:** Se muestra el sistema completo de fajas, indicando el estado de cada faja y motores (parado, trabajando o con fallas). La animación se mostrará en color verde cuando está detenido y en rojo cuando está trabajando. También se muestra el valor de tonelaje de las balanzas de los dos circuitos de transporte.

**Pantalla Faja 1A:** Esta pantalla muestra en detalle los estados de los componentes de la Faja 1A, como el estado de los frenos y la corriente de los motores.

**Pantalla Faja 1B:** Similar a la Pantalla Faja 1A.

**Pantalla Faja 1C:** Similar a la Pantalla Faja 1A.

**Pantalla Cola 1A:** Esta pantalla muestra los parámetros pertenecientes a la casa 1A Cola, la información se ha agrupado en tres partes: estados de alarmas (Plomo si no hay alarma y rojo si hay presencia de la alarma), parámetros de los motores (amperajes de cada fase de los tres motores) pertenecientes a la Cola 1A y parámetros del medidor de energía (muestra los amperajes, voltajes, potencias y consumos de energía registrados por el medidor multifunción instalado).

**Pantalla Cabeza 1A:** Similar a la Pantalla 1A Cola.

Pantalla Cabeza 1B: Similar a la Pantalla 1A Cola.

Pantalla Cabeza 1C: Similar a la Pantalla 1A Cola.

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, lugar de procedencia de la alarma (Cabeza 1A, Cola 1A, Faja 1B, Faja 1C o Casa1).

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

Pantalla Bombas: Muestra los estados de las bombas que se encuentran distribuidos a lo largo del conveyor.

Pantalla Reportes: Muestra los datos de performance o desempeño del conveyor como horas motor y horas operadas.

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 dos meses de las señales analógicas más importantes.

Pantalla Arquitectura: Muestra todos los componentes de la red instalada, en caso de falla de comunicación de alguna de las estaciones de trabajo (PLC) ésta mostrará un mensaje indicando la falla de comunicación.

Sub Pantalla Secuencia de arranque: Se muestra el estado del contactor principal y los contactores de la secuencia de arranque de todos los motores y por cada faja.

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 Login: Permite ingresar el nombre de usuario y contraseña para salir de la aplicación.

Menú Superior: Contiene botones para mostrar las diferentes pantallas descritas.

Menú Inferior: Contiene una sub ventana de alarmas, y botones para resetear fallas, reconocer alarmas y para salir de la aplicación.

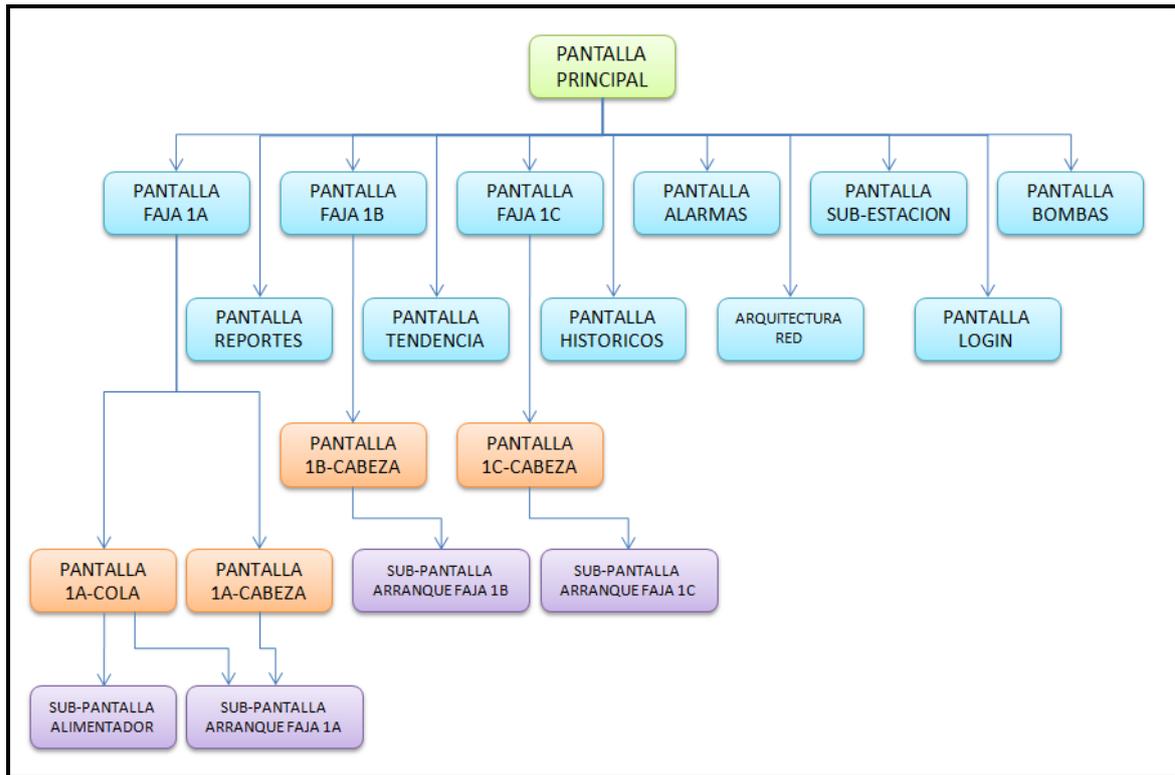


Figura 4.8 Esquema de navegación pantallas SCADA WinCC (Fuente: Elab. Prop.)

#### 4.2.7 Enlaces de comunicación entre PLC y SCADA

Tal como se muestra en la Figura 4.4, se tiene el sistema SCADA conectado a la red Ethernet. Para la comunicación con los PLC se utiliza el software SOFTNET-S7 (listado en la Tabla 4.8) que permite acoplar estaciones de trabajo con sistemas de automatización mediante redes Industrial Ethernet. La interfaz de conexión utilizada es la tarjeta PCI CP 1612 instalada en la estación SCADA.

Esta estación SCADA es una computadora (PC) con el software y hardware necesario para ser conectado a una red Siemens. El hardware (tarjeta de red CP 1612) puede ser comparado como un controlador de comunicación Ethernet e insertado en un slot virtual. Este slot virtual es implementado en la PC mediante el Editor Configurador de estación (Figura 4.9), herramienta que permite acceder a la administración de componentes de la PC, Los componentes instalados son:

Slot 1: IE General, representa el módulo Industrial Ethernet CP1612.

Slot 3: Aplicación, programa de usuario para configuración de enlaces, usado para comunicarse con otras aplicaciones y otros dispositivos. Dentro de esta aplicación se pueden configurar los servicios de comunicación Send/Receive S7, usado también para los enlaces entre PLC's.

Estos componentes requieren una configuración adicional mediante la herramienta STEP 7, donde se crea un proyecto nuevo en el cual se debe insertar una PC Simatic con el mismo nombre de la PC. En la configuración de hardware de la PC Simatic, se debe insertar los mismos módulos y en las mismos slots creados en el Editor Configurador de Estación.

En el componente IE General, se debe configurar la dirección IP de la PC y a su vez debe estar conectado a una red Ethernet. Dentro del módulo Aplicación se crea los enlaces de comunicación, en este caso del tipo S7, que permitirán finalmente el intercambio de información entre el SCADA y todos los PLC.

Se deben crear los enlaces necesarios asignándoles un nombre de interlocutor único el cual servirá para la comunicación con el WinCC con su respectiva dirección IP (Figura 4.10).

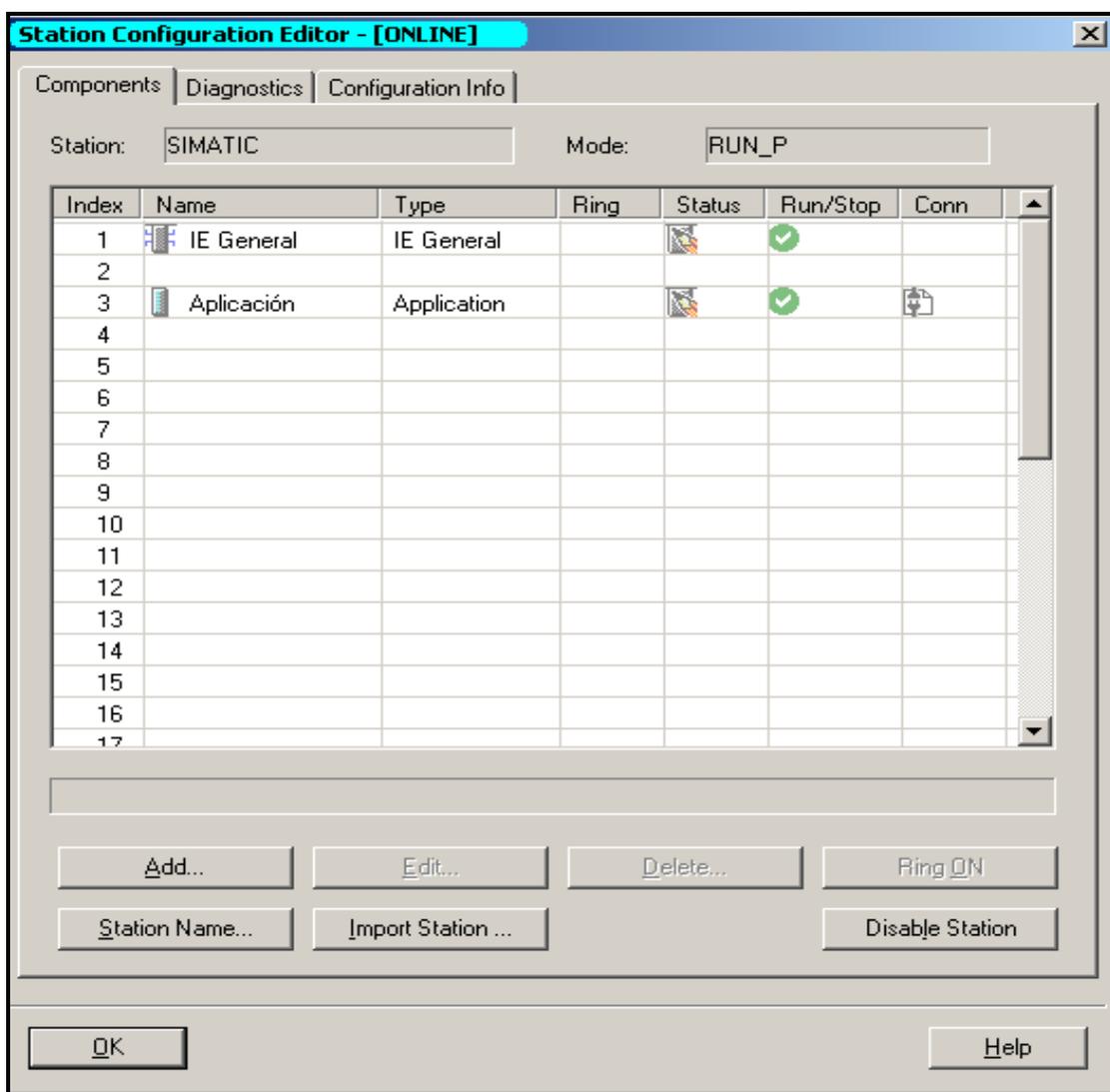


Figura 4.9 Editor Configuración de estaciones (Fuente: Ref. [10])

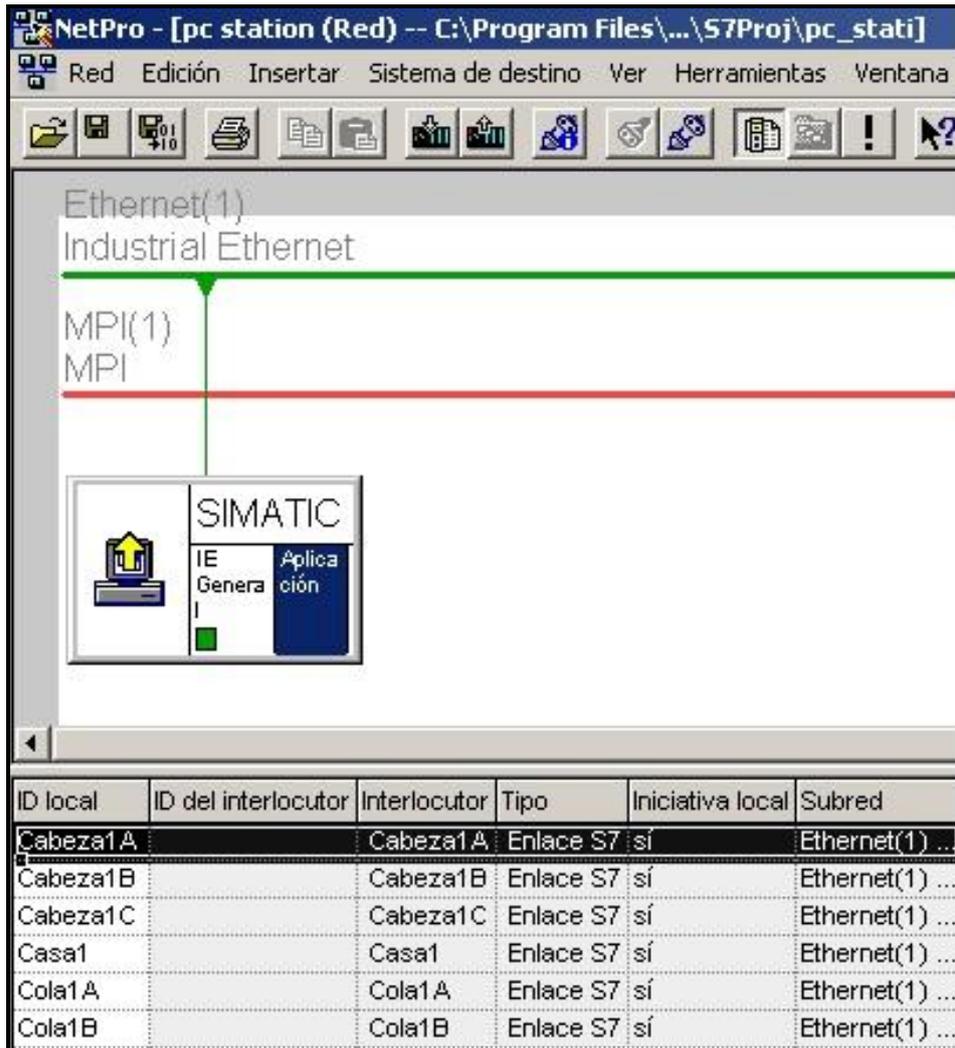


Figura 4.10 Enlaces de comunicación SCADA (Fuente: Ref. [6])

#### 4.2.8 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 4.9, los cuales pasamos a detallar.

Tabla 4.9 Instrumentos Profibus (Fuente: Elab.Prop.)

Equipo	PLC					
	1A Cola	1A Cabeza	1B Cola	1B Cabeza	1C Cabeza	Casa 1
Relés multifunción DIRIS	1	1	1	1	1	-
SIMOCODE Pro V	2	3	-	3	2	-
Balanza Ramsey Micro-Tech 3000	-	-	1	-	-	-
Variador Velocidad SIMOREG	1	-	-	-	-	-
Panel Operador OP77B	1	1	1	1	1	-

a. Relés Multifunción DIRIS

Estos relés multifunción modelo DIRIS A40 (Figura 4.11), 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.



Figura 4.11 Relé Multifunción Diris A40 (Fuente: Ref. [11])

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

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 4.12).

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.



Figura 4.12 Simocode Pro-V (Fuente: Ref. [12])

#### 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 (Figura 4.13).



Figura 4.13 Integrador Micro-Tech 3000 (Fuente: Ref. [13])

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 4.14) [14][15] 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 asignadas en el circuito del inducido que van desde 15 hasta los 3000 A.



Figura 4.14 Variador de velocidad SIMOREG (Fuente: Ref. [14])

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.

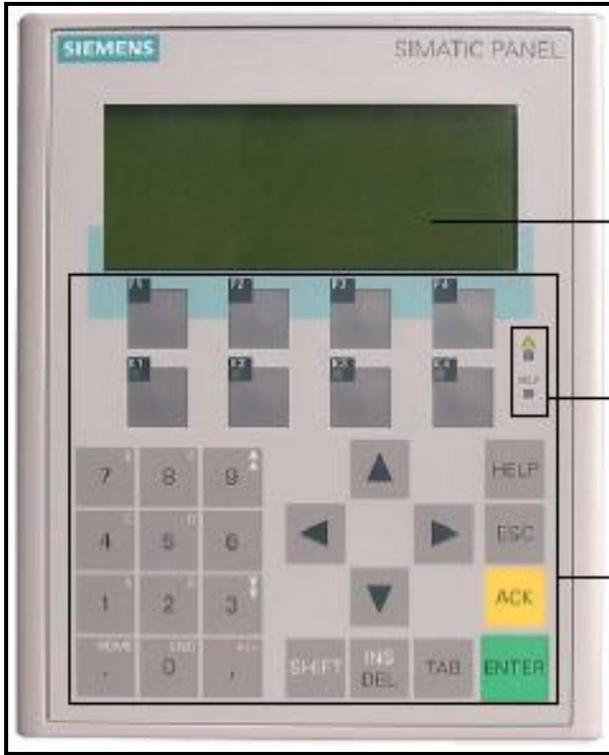


Figura 4.15 Panel de operador OP77B (Fuente: Ref. [5])

### 4.2.9 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.

La red Profibus se basa en la norma EN 50170, soporta velocidades de transmisión de 9.6 Kbps hasta los 12 Mbps, en este caso, dado la distancia corta a los dispositivos de campo, se usa una velocidad de 1.5 Mbps. El número máximo de estaciones permitidas es de 127 y de éstas como máximo 32 estaciones activas. El medio físico usado es un cable morado apantallado de dos hilos,

este tipo de medio permite extender la red hasta 10 Km. dependiendo de la velocidad y usando repetidores.

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.

La Figura 4.16 muestra la distribución de una Red Profibus típica, en este caso de las casa 1A Cola.

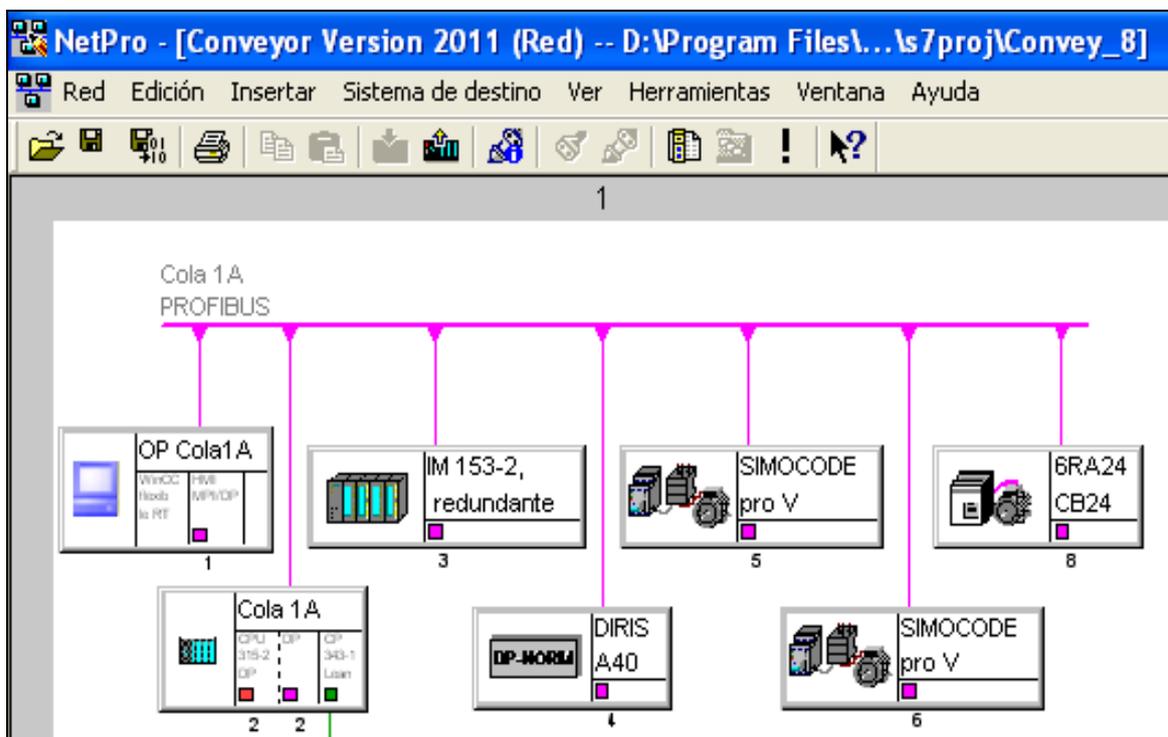


Figura 4.16 Configuración Red Profibus DP PLC 1A Cola (Fuente: Ref. [6])

Todos los equipos de instrumentación mencionados en el punto anterior en cada casa de control, incluidas las estaciones adicionales IM-153, fueron implementados sobre una red Profibus DP. La configuración se realiza con la opción HW Configurator del STEP 7.

#### 4.2.10 Red Ethernet

En esta sección se hace una pequeña referencia teórica sobre esta tecnología para luego describir la solución implementada.

##### a. Aspectos generales

El estándar utilizado para la red Ethernet es una combinación entre el 100Base-TX y 100Base-FX (se utiliza medios físicos de cable STP y fibra óptica), con una velocidad de transmisión de 100 Mbps [8]. Esta comunicación es a través del procesador de comunicaciones CP 343-1 que posibilita la conexión del S7-300 a Industrial Ethernet.

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.

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.

Modbus es el protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor que utiliza Ethernet-TCP/IP en la capa superior 7 de aplicación del modelo de interconexión OSI. Ethernet-TCP/IP define la tecnología de transmisión de datos adicionales para el protocolo Modbus (Figura 4.17).

El Protocolo TCP/IP es el conjunto de protocolos de comunicaciones utilizados para Internet, conocido con el nombre de dos de los protocolos más importantes en ella: Trasmision Control Protocol (TCP) e Internet Protocol (IP).

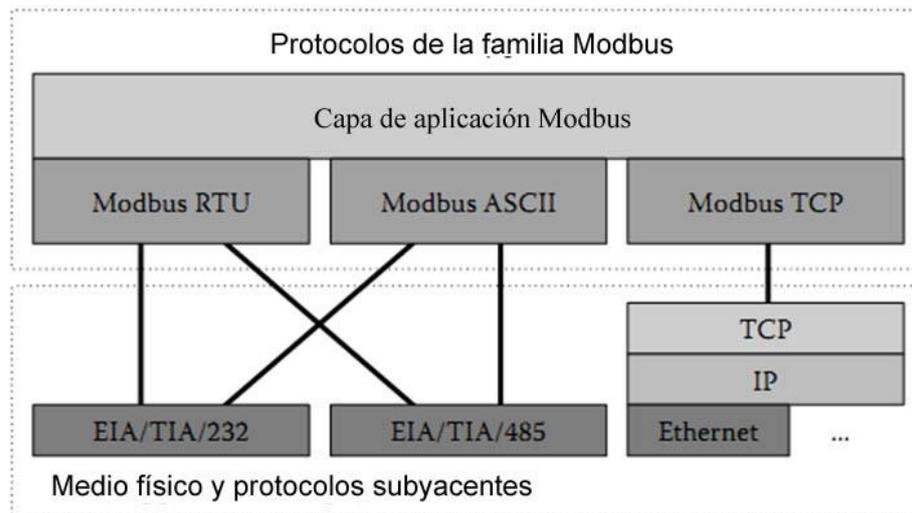


Figura 4.17 Protocolo Ethernet TCP/IP (Fuente: Ref. [17])

El protocolo en el nivel de enlace MAC de la norma IEEE 802.3 es el Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión (CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection), el cual es un protocolo asíncrono de contienda.

En este caso las estaciones que comparten el medio pueden transmitir de forma aleatoria en cualquier momento, siempre y cuando el medio se encuentre libre, sino continúa esperando hasta que el canal quede libre para poder transmitir inmediatamente, si se detectara una colisión durante la transmisión, envía una breve señal para asegurarse de que todas las estaciones se enteren de la colisión y paren de transmitir, después de mandar la señal de interferencia, espera un tiempo aleatorio e intenta transmitir otra vez.

Ethernet utiliza estos protocolos para el control de las capas de aplicación, transporte y enlace (Modbus, TCP, IP, MAC)

#### b. Arquitectura de la red Ethernet implementada

Se consideró una red óptica con fibra óptica monomodo entre las estaciones maestra (PLC's) y la estación SCADA teniendo en cuenta las grandes distancias involucradas. En cuanto al equipamiento de hardware necesario para la comunicación Ethernet se requirió lo mostrado en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Equipamiento Comunicación Ethernet

Item	Cant.	Descripción
1	1	Switch Simatic Net, SCALANCE X108, 8 puertos x 10/100Mbps tipo RJ45, led de diagnóstico, Indicador de falla.
2	5	Fast Ethernet Media converter marca Allied Telesyn modelo AT-MC104XL, 100BaseTX/100BaseFX monomodo, Alimentación 220 Vac
3	4	Base modular para uso exterior con conector Industrial Ethernet Fast Connect RJ45, interface 2 x 100 Mbps
4	150	Cable estandar 4 x 2, categoría 6 para conexión a Base modular RJ45 en metros
5	2	Cable industrial Ethetnet RJ45/RJ45, categoría 6 pre-ensamblado, long. 6 m
6	8	Cable industrial Ethetnet RJ45/RJ45, categoría 6 pre-ensamblado, long. 2 m
7	1	Switch Simatic Net Modular, SCALANCE X414-3E, 2 X 10/100/1000Mbps y 12 puertos X 10/100Mbps tipo RJ45, 1 X Gigabit y 2 X 100 Mbit, redundancia integrada, administrador de red.
8	2	Módulo EM496-4 para Scalance X-400, incluye 4 puertos x 100 Mbps tipo RJ45
9	1	Módulo MM491-2LD para Scalance X-400, incluye 2 puertos x 100 Mbps para fibra tipo monomodo
10	1	Fuente SITOP modular entrada 120 / 230 Vac - 500 Vac, salida 24 Vdc 5 amperios

Asimismo para el montaje y accesorios de conexionado de la fibra óptica se requirió lo mostrado en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Equipamiento Fibra óptica

Item	Cant.	Descripción
1	8,000	Cable de Fibra Óptica Monomodo de 06 Hilos
2	36	Pigtail de Fibra Óptica Monomodo ST / Longitud: 01 mt.
3	6	ODF Caja Terminal FO para 08 Acopladores ST
4	6	Patch-Cord Duplex de FO Monomodo con conectores ST-ST / Longitud: 02 mt.
5	36	Acoplador ST/ST Monomodo
6	1	Insumos de fusión, limpieza y etiquetado para cable de fibra, Pernos, Tarugos, etc.
7	2	Kit de conectores BFOC para cable de fibra óptica.

Tal como se muestra en la figura 4.18, 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 conversor de medios de fibra óptica a RJ-45 directamente al módulo de comunicaciones del PLC.

En la casa 1 hay una variante debido a que el sistema SCADA también se comunica por Ethernet a la red, por lo cual se adicionó un hub industrial Scalance X-108 entre el conversor de medios y el PLC al cual se conecta el SCADA.

Para el nodo central en Casa 1C se utilizó un switch administrable de la familia Scalance modelo X-400 del tipo modular para uso en redes de planta de alto rendimiento. Su estructura modular permite adaptar los switches a diversas configuraciones. Consta de módulos para conexión de fibra óptica y extensiones para Industrial Ethernet tipo RJ-45, la gama incluye variantes para fibras multimodo (hasta 750m) y monomodo (hasta 10km). Son aptos para tecnología a 10/100/1000 Mbps.

Permite una fácil configuración de la red sin necesidad de calcular tiempos de propagación, también para redes de gran alcance, el switch almacena los datos recibidos en los puertos y los retransmite autónomamente a la dirección de destino.

La restricción a la extensión de red condicionada por el sistema de detección de colisiones (CSMA/CD) finaliza en el puerto.

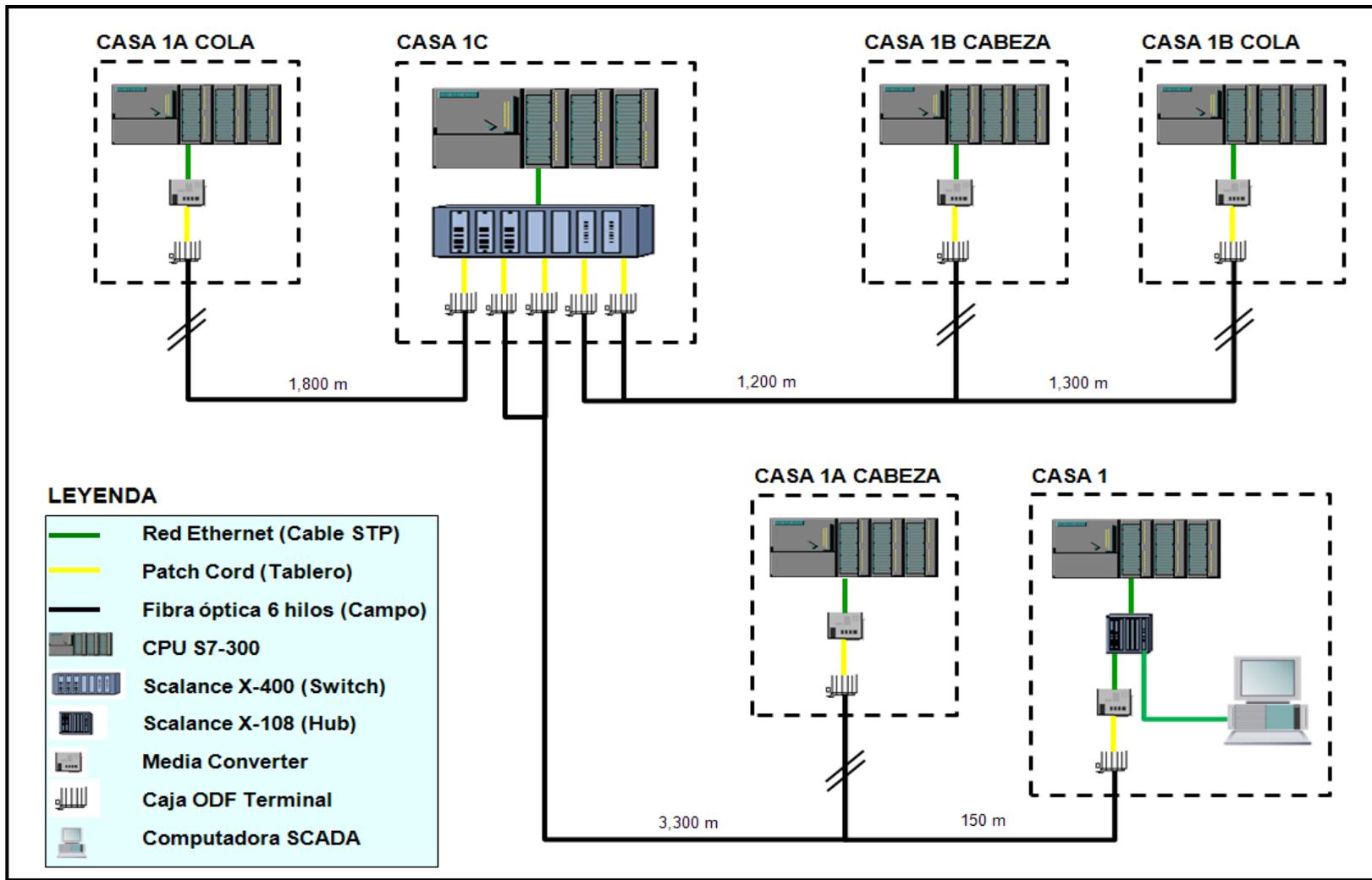


Figura 4.18 Arquitectura Red Comunicación Ethernet (Parte superior) (Fuente: Elab.Prop.)

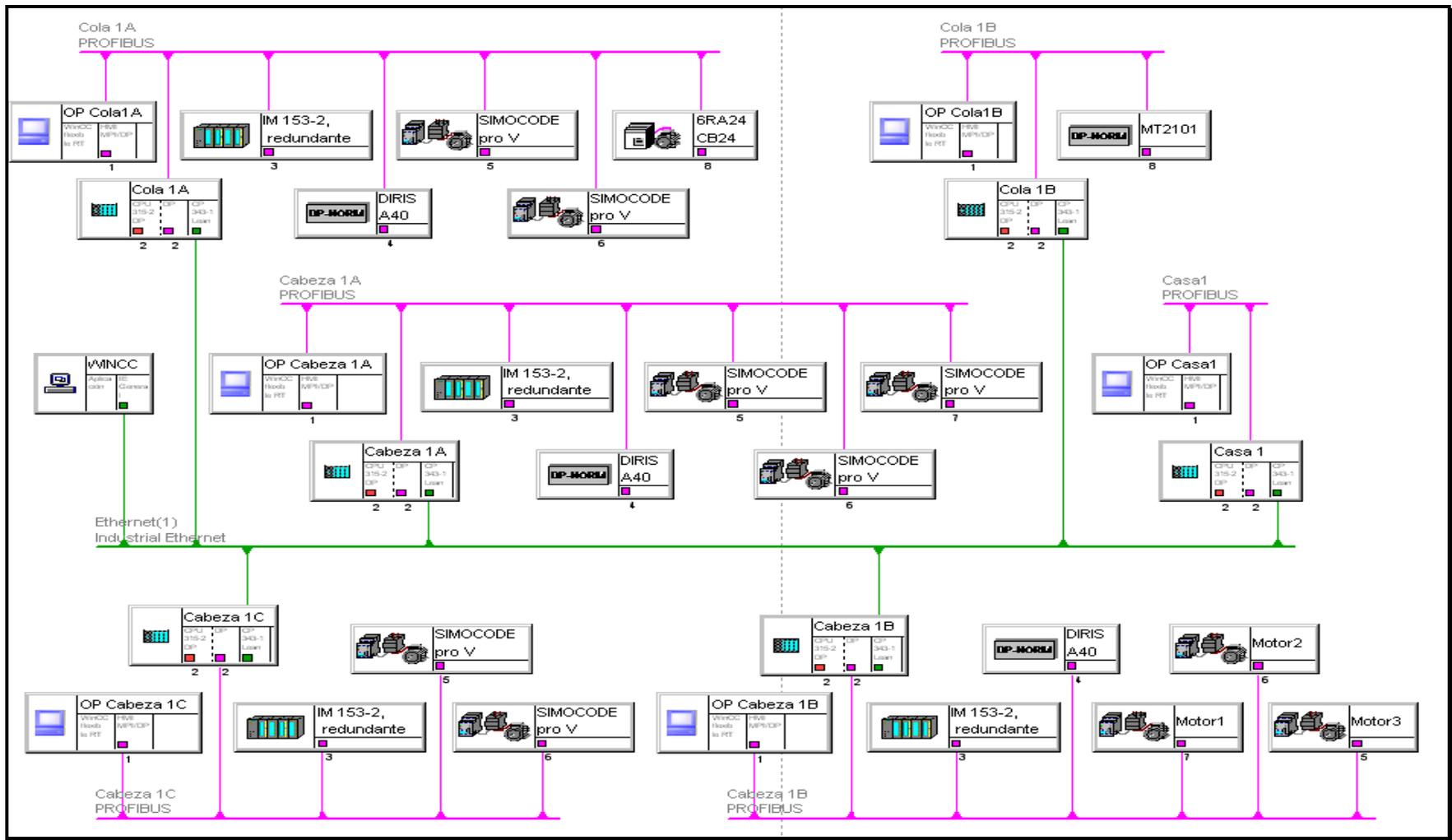


Figura 4.19 Arquitectura Final Etapa 1 (Parte superior) (Fuente: Ref. [6])

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 monomodo 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.

#### **4.2.11 Esquema general de la Etapa 1**

La Figura 4.19 (página anterior) 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.

### **4.3 Etapa 2 – Conjunto Central e Inferior**

Esta etapa abarcó la automatización de las fajas 1, 2, 3, 4, 5, 6B, 7B, 1407 y 1410 con equipamiento Allen Bradley y arquitectura de Rockwell Automation, el cual se pasa a detallar.

#### **4.3.1 PLC Allen Bradley (Controlador Lógico Programable)**

Se utilizaron controladores de la marca Allen Bradley (Figura 4.20) [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.



Figura 4.20 Tipos de CPU Allen Bradley (Fuente: Ibídem)

El procesador de la serie ControlLogix dispone de una capacidad de memoria hasta 2 Mbytes, 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 de utiliza el escáner 1756-DNB y las demás casas utilizan como escáner el módulo 1769-SDN. La Figura 4.21 ilustra los componentes mencionados.

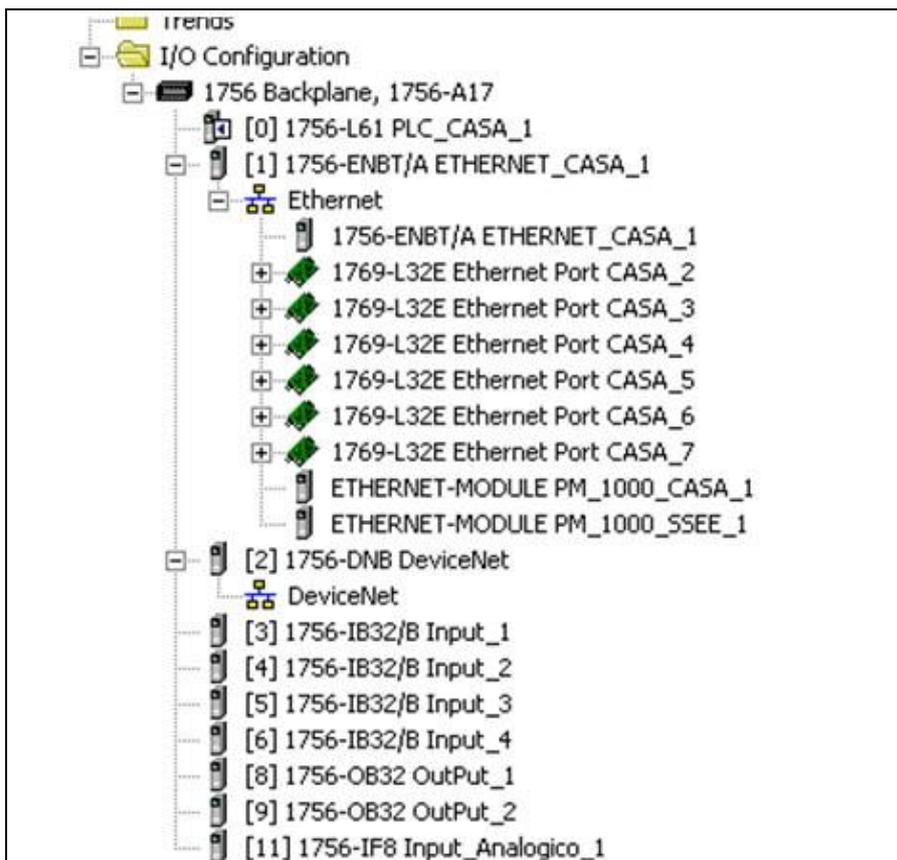


Figura 4.21 Configuración típica de Hardware PLC Allen Bradley (Fuente: Ref. [20])

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 4.12, 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 4.12 Distribución módulos PLC Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

PLC CASA 1		
1756 Chassis 13 slots		
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
PLC CASA 2		
Rack 0		
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

PLC CASA 3		
Rack 0		
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

PLC CASA 4		
Rack 0		
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
PLC CASA 6B Cola		
Rack 0		
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

PLC CASA 6B/7B		
Rack 0		
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-PA4	Fuente alimentación 5VDC - 4 A
PLC CASA 7B Cabeza		
Rack 0		
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
<b>PLC CASA STACKER</b>		
Rack 0		
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 7	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
Slot 8	1769-OB32	Módulo salida 32 ptos. 24VDC
Slot 9	1769-PA4	Fuente alimentación 5VDC – 4 A

### 4.3.2 Tableros de control

Se suministraron gabinetes metálicos de tipo auto soportado TS8 marca RITTAL de procedencia alemán. Modelo: 8806.500, color gris claro RAL 7035 pintado por electroforesis, grado de protección IP55, incluyendo kit de iluminación interior con fin de carrera en puerta y tomacorriente. Dimensiones: alto: 2100 mm (alto), 800 mm (ancho), 600 mm (fondo). En cuanto a los tableros para los Paneles de Operador se consideraron gabinetes murales también de la marca RITTAL, grado de protección IP66, color RAL 7035. Dimensiones: alto: 600 mm (alto), 600 mm (ancho), 210 mm (fondo). La Tabla 4.13 muestra el tablero correspondiente al PLC de la Casa 1.

Tabla 4.13 Equipamiento típico Tableros PLC Allen Bradley (Fuente: Ref. [21])

Cant.	Descripción
01	Gabinete auto soportado marca Rittal de 2000x800x600 mm, IP55, Zócalo de 10 cm. y kit de iluminación
01	Interruptor principal y bornes varios marca Allen Bradley
01	Fuente de 5V @ 10 amp, alimentación 85-265 Vac, modelo 1756-PA72

01	Fuente de alimentación Device Net 24V @ 3.8 amp, 91W , modelo 1606-XLDNET4
01	Chassis 13 slots 1756-A13
01	CPU Procesador Logix5561, 2 Mbytes memoria RAM, modelo 1756-L61
01	Memoria EPROM Compact Flash 64 MB, 1784-CF64
01	Brigde Módulo Ethernet 10-100 Mbit/s
01	Módulo Scanner Device Net Compact I/O, modelo 1769-SDN
04	Módulo entrada digital 1756-IB32, 32 puntos, 10-31 Vdc 36 pines
02	Módulo salida digital 1756-OB32, 32 puntos, 10-31 Vdc 36 pines
01	Módulo entrada analógica 1756-IF8, 8 puntos, 0/4-20 ma. y 0-5 Vdc
02	Slot vacío para chasis 1756
08	Conectores frontales atornillables 36 pines par módulo estándar, modelo 1756-TBCH
01	UPS Ferroresonante Eaton Powerware Ferrups, modelo S4k2U2000
01	Fuente 24 Vdc 5A marca Allen Bradley modelo 1606-XLE120E

### 4.3.3 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, BootP/DCHP Server para inicialización y direccionamiento Ethernet, configurador de redes Device Net, 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 B 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 4.22 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-B, Figura B.1).
- 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 explicados en la sección 4.3.5 (Ver Anexo-B, Figura B.2).
- E3: Sub-rutina donde se hace la lectura de los datos entregados por los medidores de corriente de los motores (Ver Anexo-B, Figura B.3).
- 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 (Ver Anexo-B, Figura B.4).
- FRENOS: Sub-rutina de control para la operación de apertura y cierre de los frenos durante la secuencia de arranque (Ver Anexo-B, Figura B.5).
- INPUT\_DI: Sub-rutina donde se listan las entradas en forma ordenada y se le asignan el nombre a los tags internos (Ver Anexo-B, Figura B.6).

- MOTORES: Sub-rutina para el control de los motores auxiliares como el compresor, ventilador y tensionador (Ver Anexo-B, Figura B.7).
- OUTPUT\_DI: Sub-rutina donde se listan los tags internos y se les direcciona la salida correspondiente (Ver Anexo-B, Figura B.8).
- POWERMONITOR: Sub-rutina donde se hace la lectura de los datos entregados por el medidor multifunción de la casa y de las sub-estaciones (Ver Anexo-B, Figura B.9).
- 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 (Ver Anexo-B, Figura B.10).
- SECUENCIA\_APAGADO: Sub-rutina creada para la opción de apagado automático del sistema conveyor (Ver Anexo-B, Figura B.11).
- 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 (Ver Anexo-B, Figura B.12).

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.

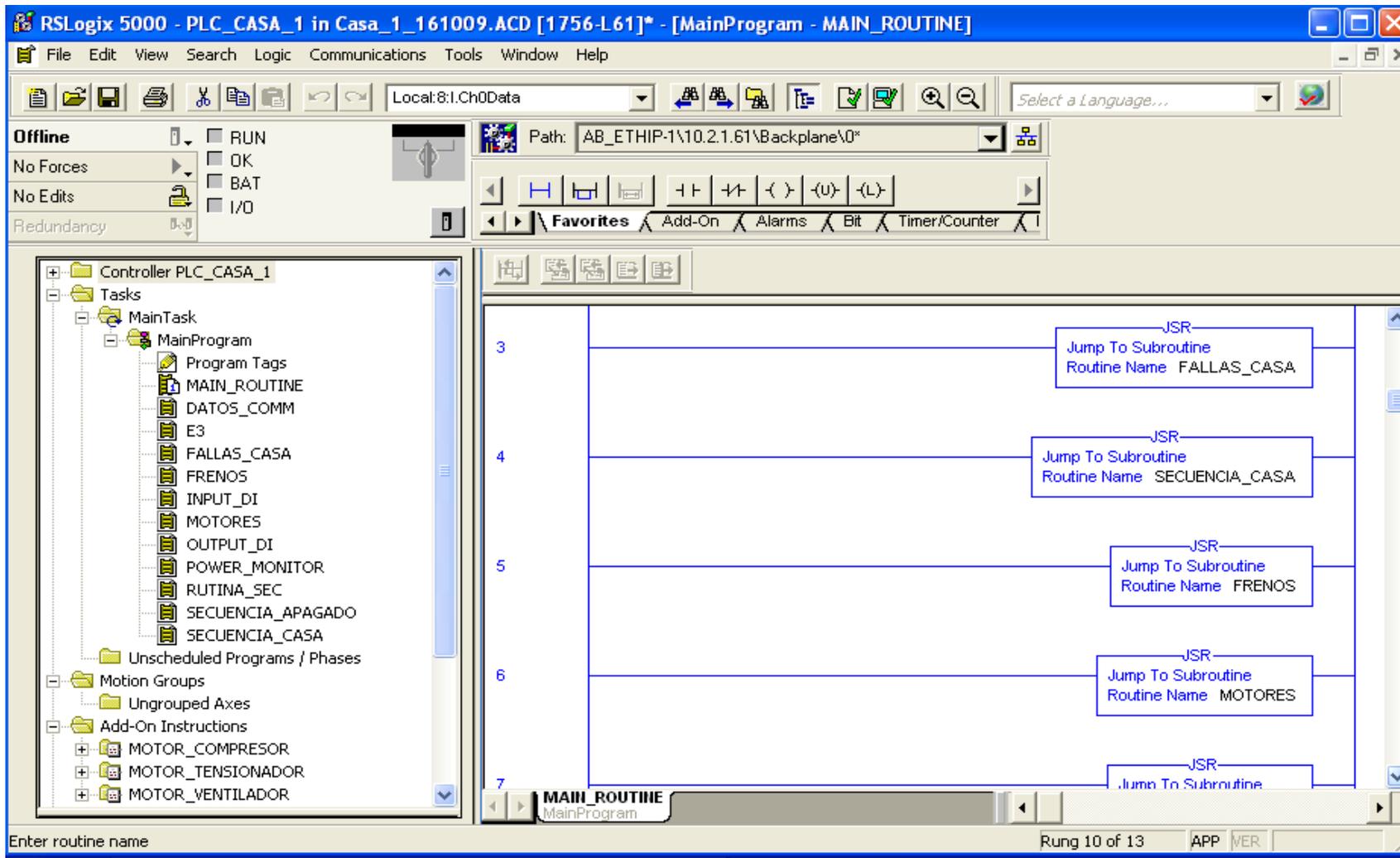


Figura 4.22 Programación típica PLC con software RSLogix 5000 (Fuente: Ref. [20])

### 4.3.4 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 4.23).

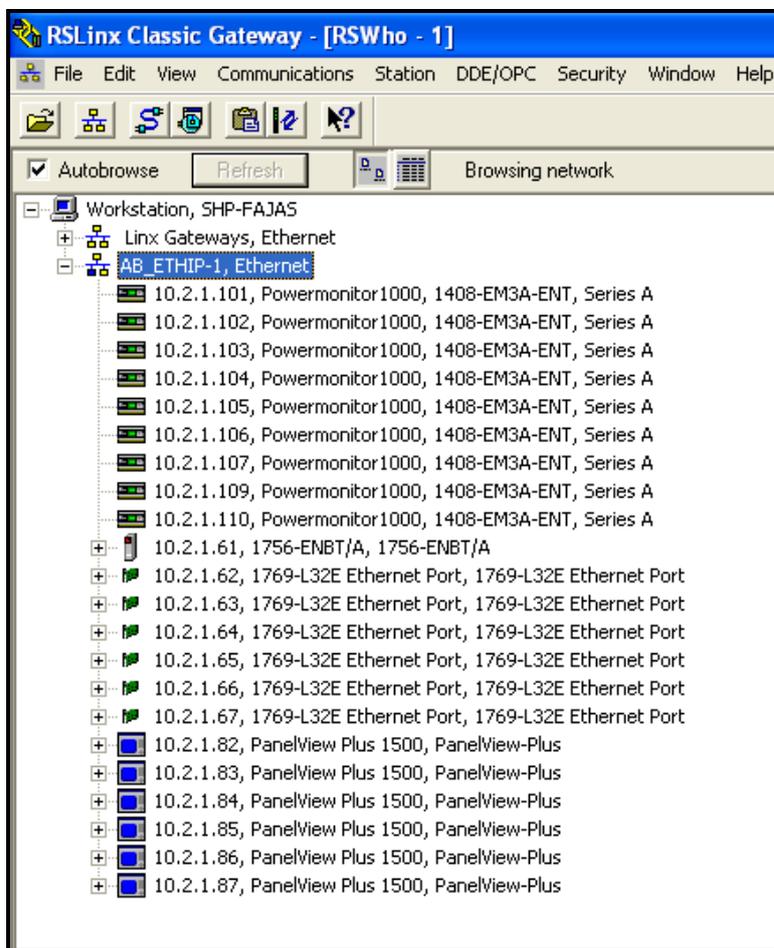


Figura 4.23 Dispositivos reconocidos en el RSLinx (Fuente: ref [22])

En este caso se tomó en cuenta la máscara y direcciones que se disponía en la red Siemens de la parte alta, para configurar la red Ethernet Allen Bradley, sobre una velocidad de 100 Mbps en el modo half-duplex.

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 4.14 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 4.14 Direcciones IP PLC Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

Equipo	Interfaz	Dirección IP
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 4.15, 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 4.15 Direcciones IP dispositivos Ethernet Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

Equipo	Interfaz	Dirección IP
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

Equipo	Interfaz	Dirección IP
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

### 4.3.5 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 4.24).

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.

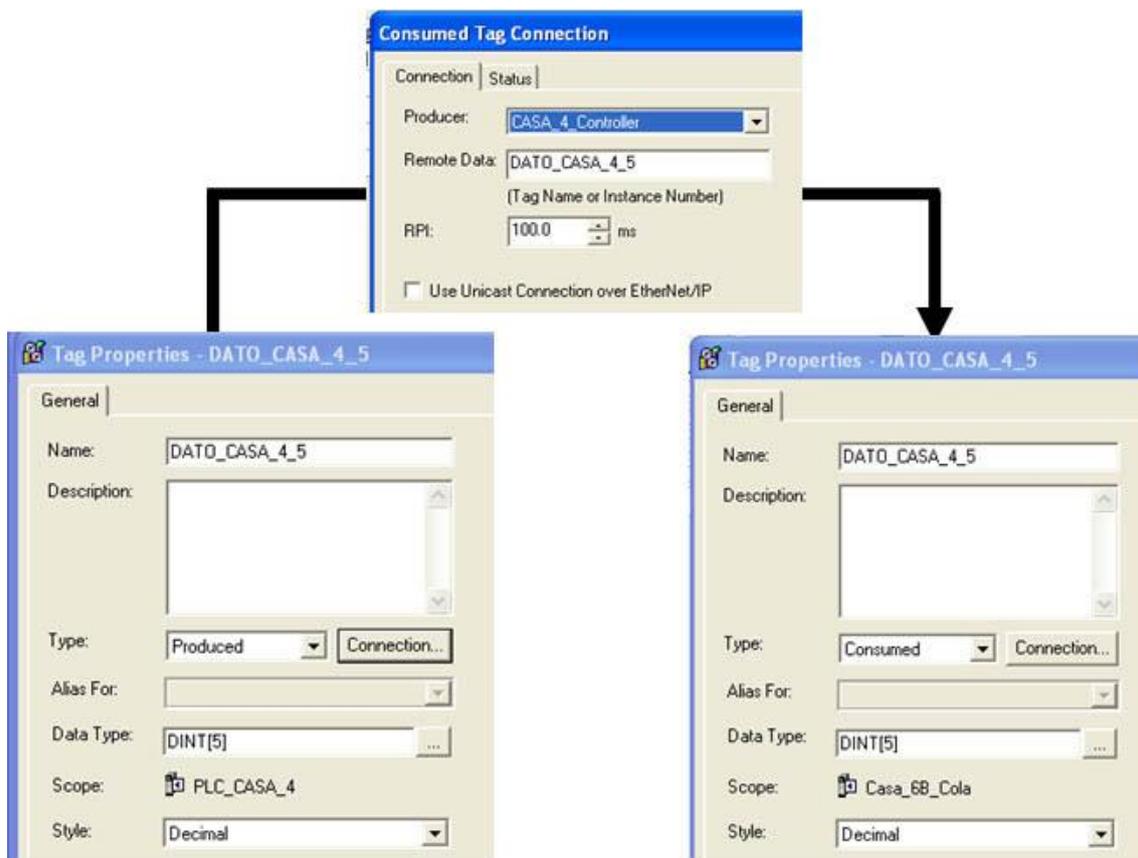


Figura 4.24 Comunicación por tags producidos - consumidos (Fuente: Elab.Prop.)

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 interface 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.

### 4.3.6 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.

Se debe mencionar que el SCADA ubicado en la Casa 1, durante la segunda etapa reemplazó al SCADA implementado en la primera etapa, debido a que el operador no podía trabajar con dos sistemas distintos, todas las pantallas necesarias fueron rediseñadas en el nuevo SCADA Factory Talk View.

El hardware solicitado para las computadoras industriales se describe en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Hardware PC SCADA Factory Talk View (Fuente: Ref. [21])

Cant.	Descripción
3	Computadora Industrial marca OIC, modelo Profesional PLUS series Bechtop, chasis de aluminio NEMA 4X, case ATX, slots de expansión 3 x PCI. Placa Intel Pentium IV 3.2 FSB 800 MHz 1MB Cache. 1GByte de memoria RAM DDR2, disco duro 160 GBytes HD SATA 7200 rpm, 128 MBytes video PCI, lectora CD-R/W/DVD.
3	Monitor industrial LCD ToughView 18", teclado industrial Ci/200
2	Software Factory Talk View SE Station, licence 100 display
3	Software Kepservers Enterprise
1	Software RSLogix 5000 Standard
1	Software Factory Talk Studio for Factory Talk View Enterprise

Para el diseño de las pantallas se mantuvo un formato similar al diseñado con el SCADA WinCC, 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 4.25.

Las pantallas que se copiaron del SCADA WinCC mantuvieron la misma funcionalidad y fueron las siguientes:

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.

Las pantallas que fueron agregadas en el nuevo SCADA fueron:

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: Similar a la Pantalla Faja 1.

Pantalla Faja 3: Similar a la Pantalla Faja 1.

Pantalla Faja 4: Similar a la Pantalla Faja 1

Pantalla Faja 5: Similar a la Pantalla Faja 1.

Pantalla Faja 6B: Similar a la Pantalla Faja 1.

Pantalla Faja 7B: Similar a la Pantalla 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.

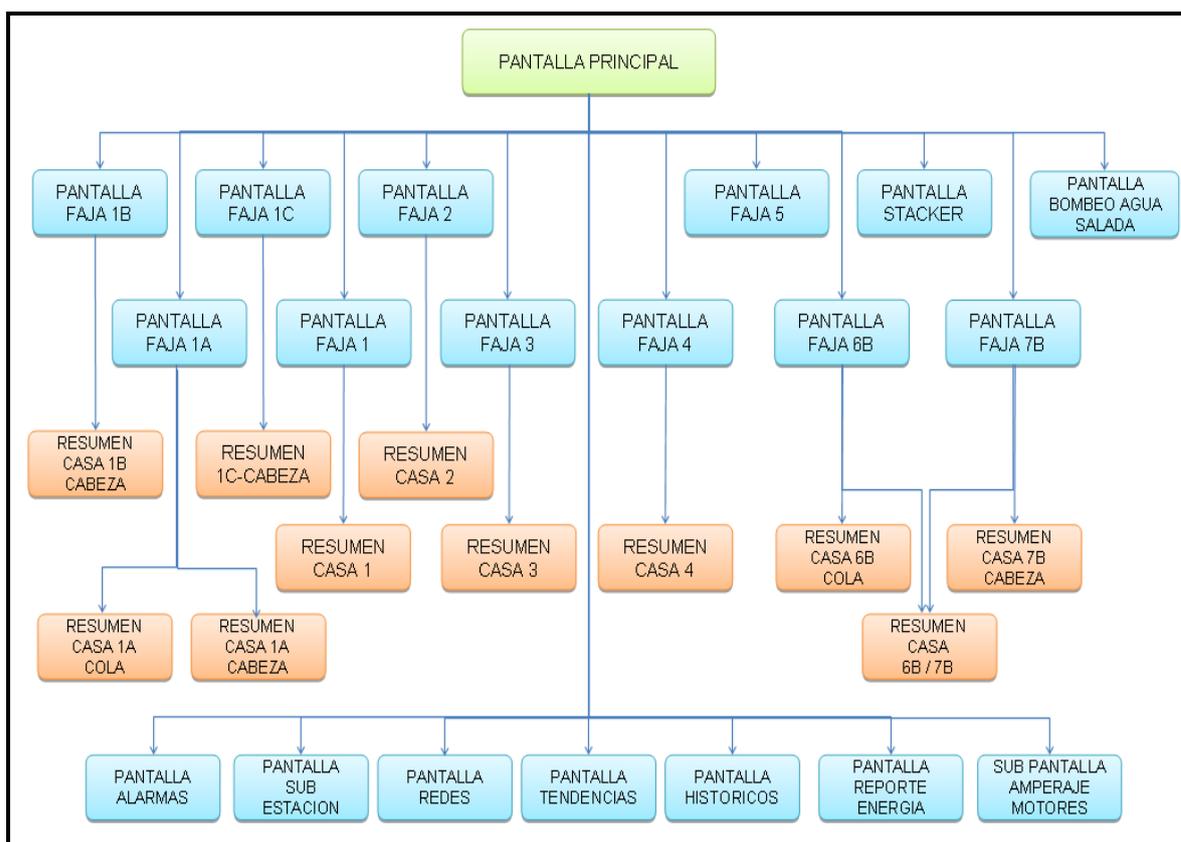


Figura 4.25 Esquema de navegación pantallas SCADA FTView (Fuente: Elab.Prop.)

Pantalla Resumen Casa 2: Similar a la Pantalla Casa 1

Pantalla Resumen Casa 3: Similar a la Pantalla Casa 1

Pantalla Resumen Casa 4: Similar a la Pantalla Casa 1

Pantalla Resumen Casa 6B Cola: Similar a la Pantalla Casa 1

Pantalla Resumen Casa 6B / 7B: Similar a la Pantalla Casa 1

Pantalla Resumen Casa 7B Cabeza: Similar a la Pantalla 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 Históricas:** 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.

### 4.3.7 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 4.26). 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.

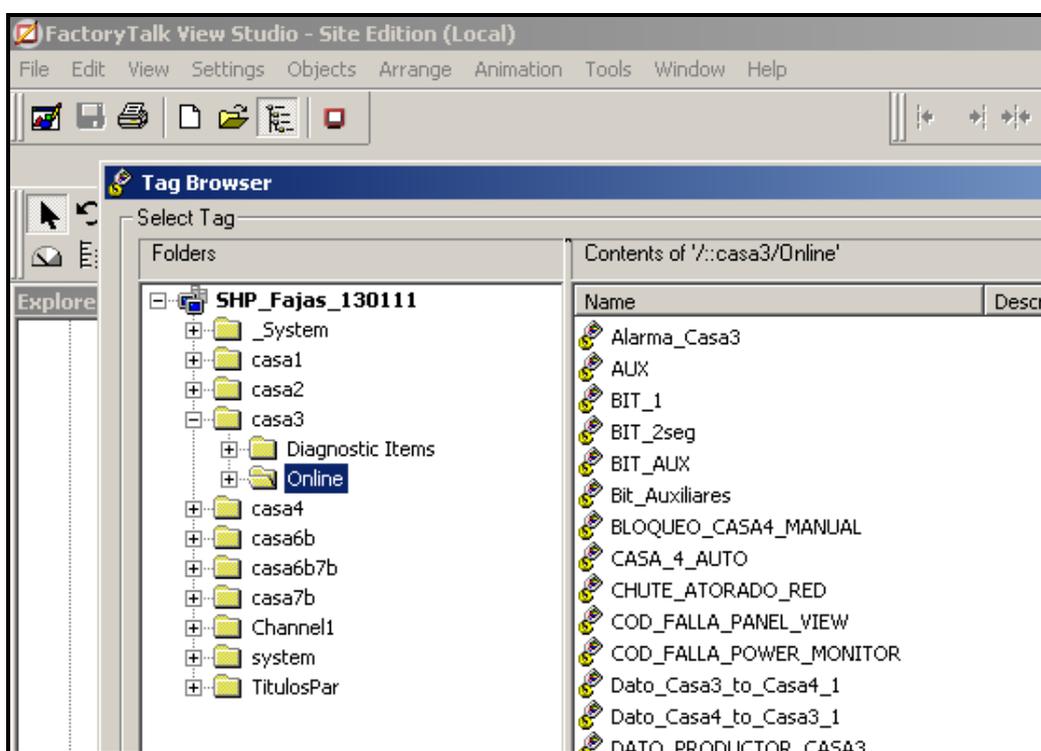


Figura 4.26 Direccionamiento de tags por RsLinx (Fuente: Ref. [23])

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 4.27) hace la función de servidor OPC.

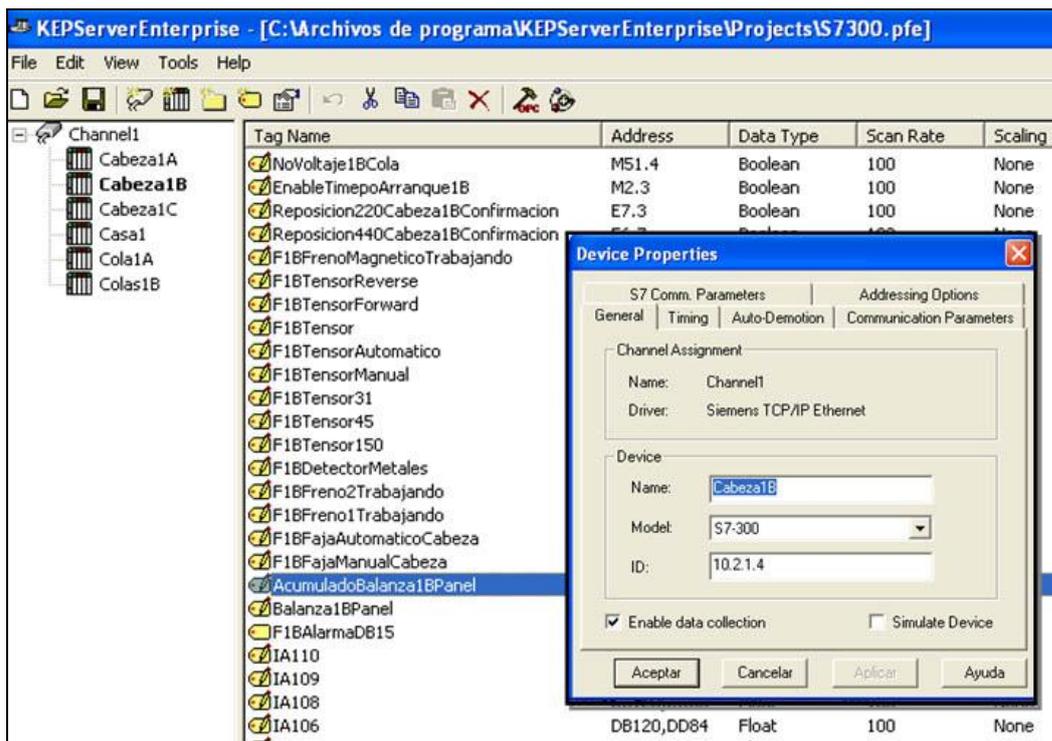


Figura 4.27 Configuración y direccionamiento KepServer (Fuente: Ref. [24])

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.

### 4.3.8 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 4.17 Instrumentos Device Net / Ethernet (Fuente: Elab.Prop.)

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 4.28) 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 10BaseT 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 4.15, 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 conveyer en la pantalla de consumo de energía del SCADA.



Figura 4.28 Powermonitor 1000 Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

#### 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 4.29), 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.

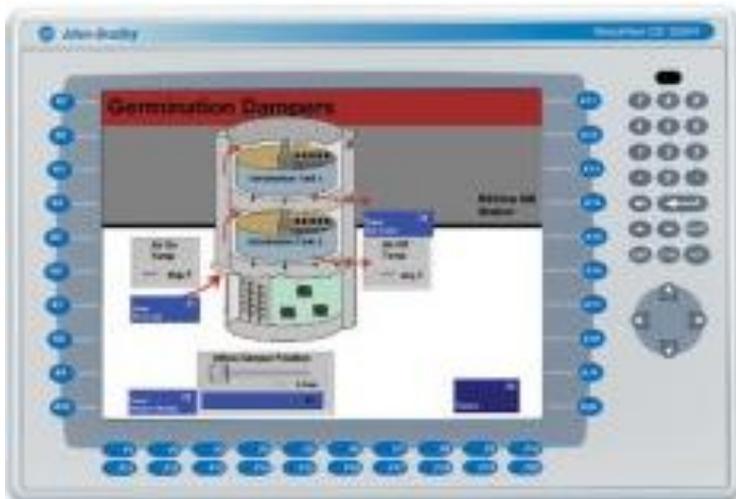


Figura 4.29 Panel View Plus 15'' Allen Bradley (Fuente: Elab.Prop.)

### 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 4.30). 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.



Figura 4.30 Relé E3 Plus (Fuente: Elab.Prop.)

### 4.3.9 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 estroboscopio, 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 RSNetWorx for Device Net (Figura 4.31), 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”, por lo consiguiente los módulos E3 Plus tienen los nodos “1”, “2” y “3”, dependiendo de la cantidad de motores.

Una vez creado 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.

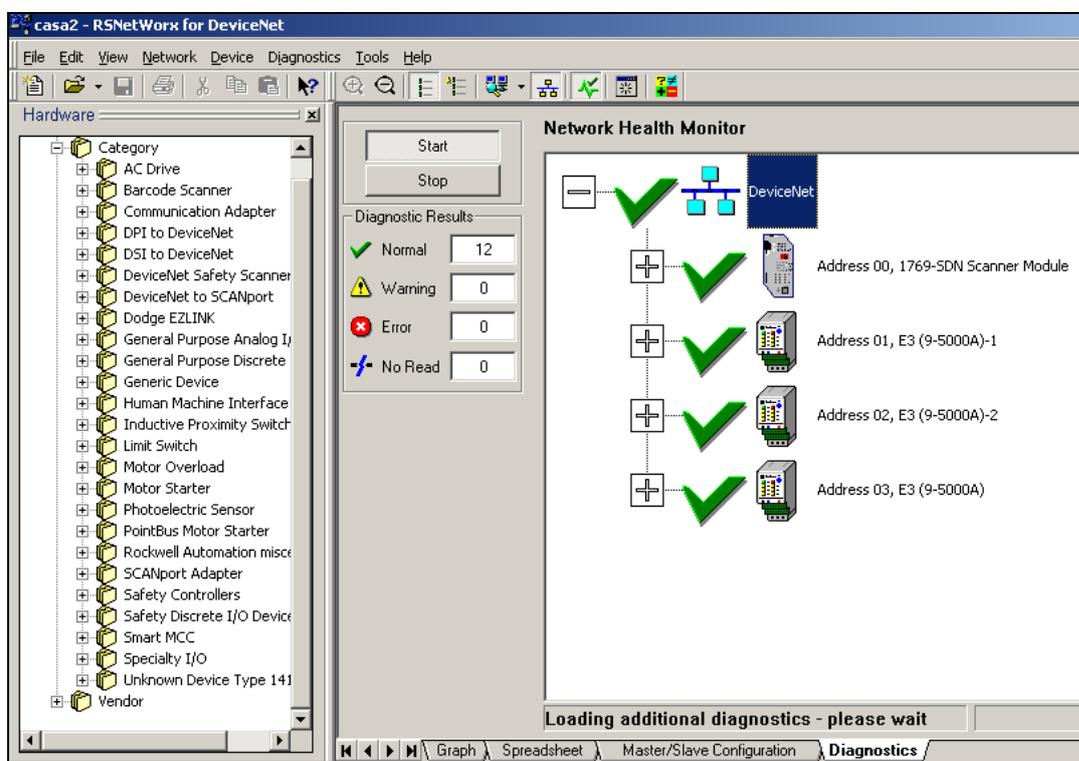


Figura 4.31 Configuración red Device Net – Casa 2 (Fuente: Ref. [25])

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, tal como se puede apreciar en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18 Equipamiento Red Device Net – PLC Conveyor (Fuente: Ref. [21])

Item	Descripción	Código	Cant.
1	DeviceNet Scanner Module	1756-DBN	1
2	Compact I/O DeviceNet Scanner Module	1769-SDN	6
3	Electronic Overload relays 193-EC	193-EC1ZZ	19
4	Open - style Terminador	1485A-C2	7
5	Terminador Mini-male	1485A-T1M5	7
6	Female Field attachable mini Quick - Disconnect Connector	871A-TS5-N3	26
7	Male Field attachable mini Quick - Disconnect Connector	871A-TS5-NM3	19
8	Mini T-Port tap with left keyway	1485P-P1N5-MN5L1	26
9	Thin Cable - Mini male to Conductor (1m)	1485G-P1M5-C	26
10	Power Tap Sealed for Thick Trunk System	1485C-P12T5-T5	7
11	Thick Cable (25 metros)	1485C-P1-A25	7
12	DeviceNet Power Supply - 91W, 24 Vdc, 3.8 A	1606-XLDNET4	1

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.

#### 4.3.10 Red Ethernet

Esta comunicación es a través del procesador de comunicaciones 1756-ENBT y el puerto Ethernet integrado en el CPU 1769-L32E. El protocolo usado para la comunicación es el Ethernet/IP, el cual es un protocolo industrial (IP), que utiliza el Standard Ethernet IEEE 802.3 como protocolo base, el conjunto de protocolos Standard Ethernet TCP/IP y el protocolo de control e información CIP (Figura 4.32) que permite la transmisión de mensajes E/S en tiempo real entre dispositivos similares.

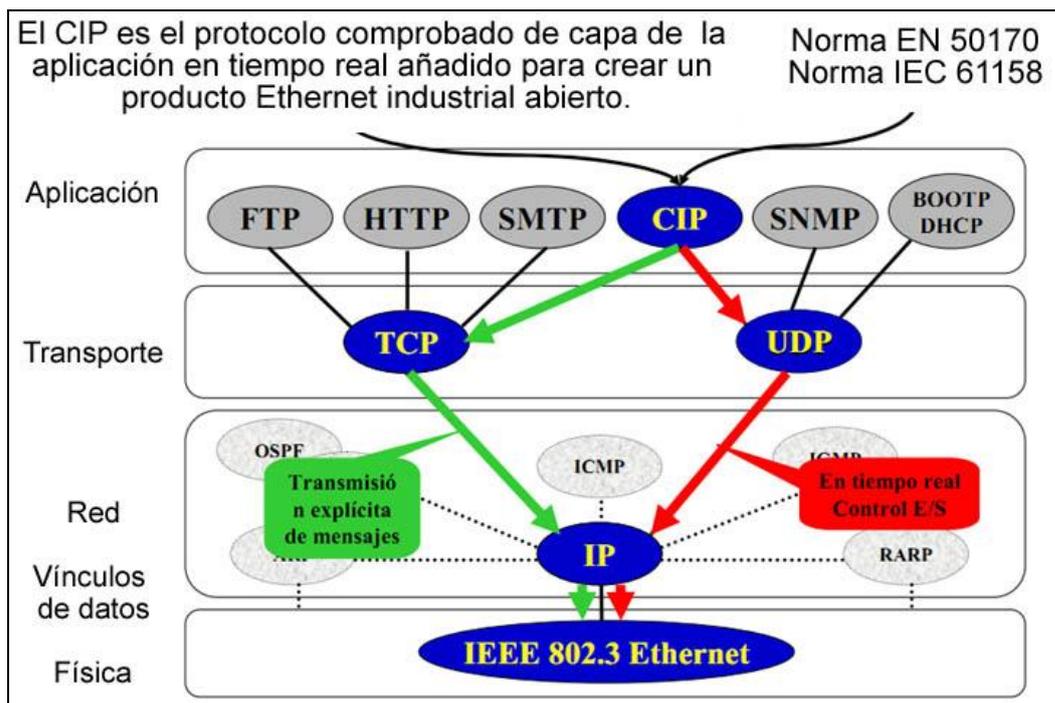


Figura 4.32 Estructura comunicación Ethernet/IP (Fuente: Ref. [26])

Es una solución abierta para la interconexión de redes industriales que aprovecha los medios físicos y los chips de comunicaciones Ethernet comerciales, permite comunicaciones full duplex de 10/100 Mbps y medios físicos diversos como cable coaxial, par trenzado y fibra óptica.

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. En cuanto al equipamiento de hardware necesario para la comunicación Ethernet se requirió lo siguiente:

Tabla 4.19 Equipamiento Ethernet Casa 1 y Casa 7B Cabeza (Fuente: Ref. [21])

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Gabinete de Pared 11 RY 22"x 20.5" x 23" Negro	GW-2060	1 x 2
2	Switch Administrable 24 puertos 10/100TX + 2 puertos 10/100/1000T/2 slots	AT-8000S/24-10	1 x 2
3	Chassis para 12 convertidores de media	AT-MCR12-10	1 x 2
4	Convertidor de media 100 TX (RJ-45) a 100 FX (SC)	AT-MC103XL-20	1 x 2

	Monomodo (hasta 15 Km)		
5	Patch Cord FO SC/SC Monomodo Duplex 3 mt	J2-SCSCP-03	1 x 2
6	Patch Cord UTP RJ-45 Categoría 6 Multifilar 3 mt. gris	MC6-8-T-10-04B	6 x 2
7	Multi Protocolo Gateway - Woodhead	APP-ESR-GTW	1

Tabla 4.20 Equipamiento Ethernet Casa 2, 3, 4, 6B, 6B/7B (Fuente: Ibídem)

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Gabinete de Pared 11 RY 22"x 20.5" x 23" Negro	GW-2060	1 x 5
2	Switch Administrable 24 puertos 10/100TX + 2 puertos 10/100/1000T/2 slots	AT-8000S/24-10	1 x 5
3	Chassis para 12 convertidores de media	AT-MCR12-10	1 x 5
4	Convertidor de media 100 TX (RJ-45) a 100 FX (SC) Monomodo (hasta 15 Km)	AT-MC103XL-20	2 x 5
5	Patch Cord FO SC/SC Monomodo Duplex 3 mt	J2-SCSCP-03	2 x 5
6	Patch Cord UTP RJ-45 Categoría 6 Multifilar 3 mt. gris	MC6-8-T-10-04B	3 x 5

Tabla 4.21 Equipamiento Ethernet Stacker (Fuente: Ibídem)

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Switch industrial, 5 puertos RJ45, marca Hirschman	2711P-K15C4A1	1
2	Patch Cord UTP RJ-45 Categoría 6 Multifilar 3 mt. gris	MC6-8-T-10-04B	3

Asimismo para el montaje y accesorios de conexionado de la fibra óptica se requirió lo siguiente.

Tabla 4.22 Ferretería Fibra Óptica (Fuente: Ibídem)

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Cable FO Monomodo ADSS 12 fibras AllWave ZWP 599 kgf – PowerGuide	AT-3BE17D6-012-CLGA	9,850
2	Bandeja FO 6/72 Puertos	FCP3-DWR	7
3	Panel FO con 3 módulos acopladores SC Duplex Multimodo / Monomodo	RIC-F-SC6-01	24
4	Pigtail FO SC Monomodo Simplex AllWave ZWP 1.0 m pulido UPC	300492394	144
5	Manguito Termocontractil 60 mm	HT-60	144
6	Organizador 16 empalmes FO Fusión Individual	105356562-10-N	12
7	Ferretería de Retención ADSS marca PLP	2872002C1E1	74
8	Ferretería de Suspensión ADSS marca PLP	44009949B1	87

9	Amortiguadores de viento marca Dumilson	PSVD-030DE	37
10	Crucetas		7

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.

En el caso del Stacker, esta casa se integra a la red de forma inalámbrica a través de un radio módem ESTEEM con la casa 7B Cabeza. En el Stacker se tiene un switch industrial marca Hirschmann con 5 puertos en RJ45. A este switch se conectará el PLC, el PanelView Plus y el radio módem ESTEEM.

Tabla 4.23 Enlace Stacker - Casa 7B Cabeza (Fuente: Ibídem)

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Esteem, 900 MHz, Spread Spectrum Serial Ethernet, Unlicensed, d384 Kbps	195Es	1
2	Pole Mounting Kit, Model 195 Series	AA195PM	1
3	Power Supply, POE, 48 Vdc / 100 – 250 Vac	AA175	1
4	Antena, 900 MHz, Omni-dir, 2dBi, Dir-mt, TNC-mro	AA20DMEs	1

Tabla 4.24 Enlace Casa 7B Cabeza – Stacker (Fuente: Ibídem)

Item	Descripción	Código	Cant.
1	Esteem, 900 MHz, Spread Spectrum Serial Ethernet, Unlicensed, d384 Kbps	195Es	1
2	Pole Mounting Kit, Model 195 Series	AA195PM	1
3	Power Supply, POE, 48 Vdc / 100 – 250 Vac	AA175	1
4	Antena, 900 MHz, Omni-dir, 2dBi, Dir-mt, TNC-mro	AA20DMEs	1

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 4.25 Enlace Casa 1 – Casa 7B Cabeza (Fuente: Ibídem)

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 6°, 27 dBi, 5.8 GHz, Hyperlink	HG5827G	1
4	Cables coaxiales superflex ¼" corrugados N-N macho	H6-NPNP-1.5M	1

Tabla 4.26 Enlace Casa 7B Cabeza - Casa 1 (Fuente: Ibídem)

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 6°, 27 dBi, 5.8 GHz, Hyperlink	HG5827G	1
4	Cables coaxiales superflex ¼" corrugados N-N macho	H6-NPNP-1.5M	1

### 4.3.11 Esquema final de la solución implementada

En la Figura 4.33 se muestra la arquitectura de la red Ethernet correspondiente al conjunto Central e Inferior.

Por otro lado, en la Figura 4.34 se muestra el esquema de las redes Device Net, también para el conjunto Central e Inferior.

Finalmente en la Figura 4.35, se muestra la arquitectura actual de la red Ethernet del Sistema Conveyor.

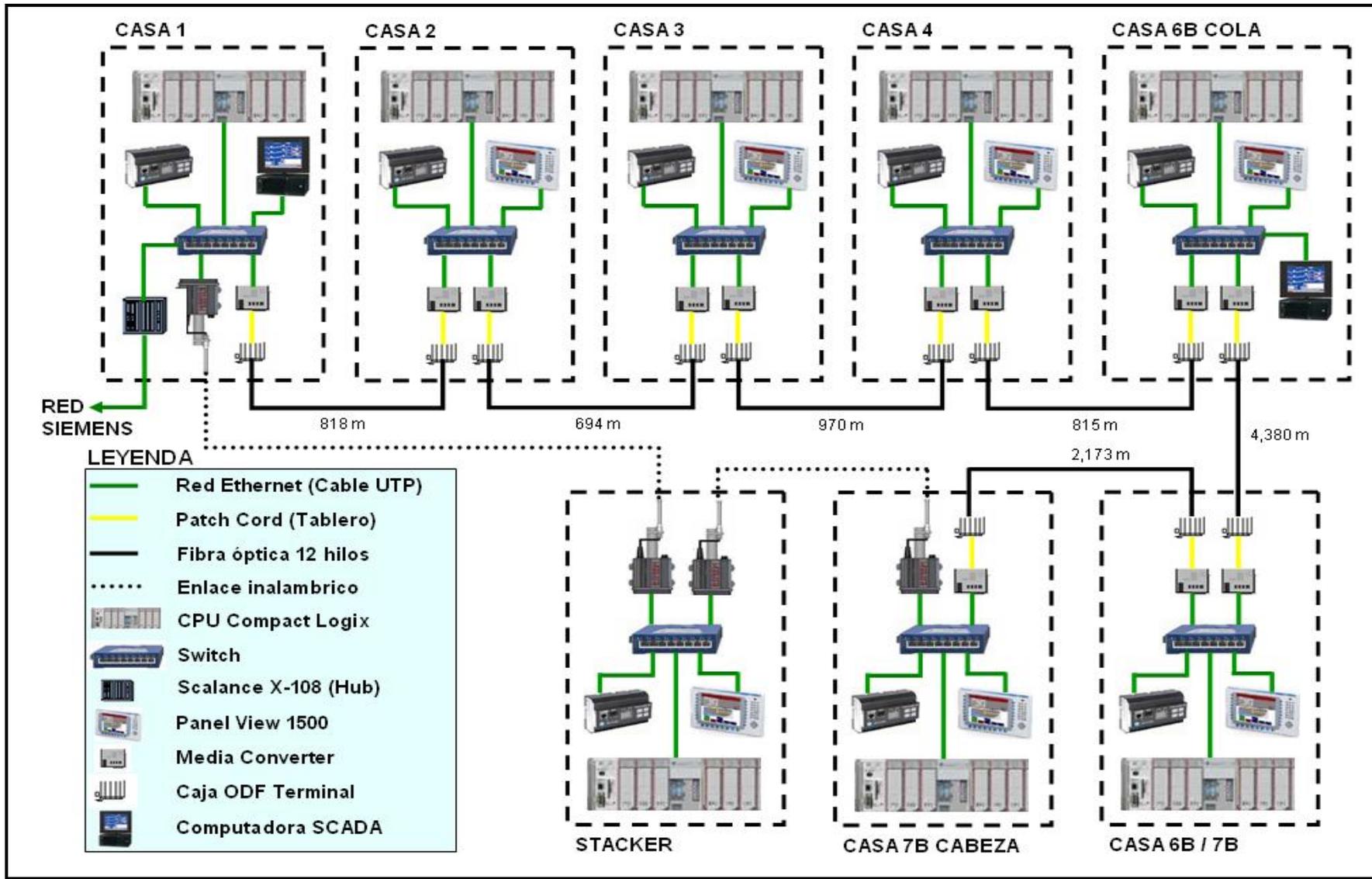


Figura 4.33 Arquitectura Red Comunicación Ethernet (Conjunto Central e Inferior) (Fuente: Elab.Prop.)

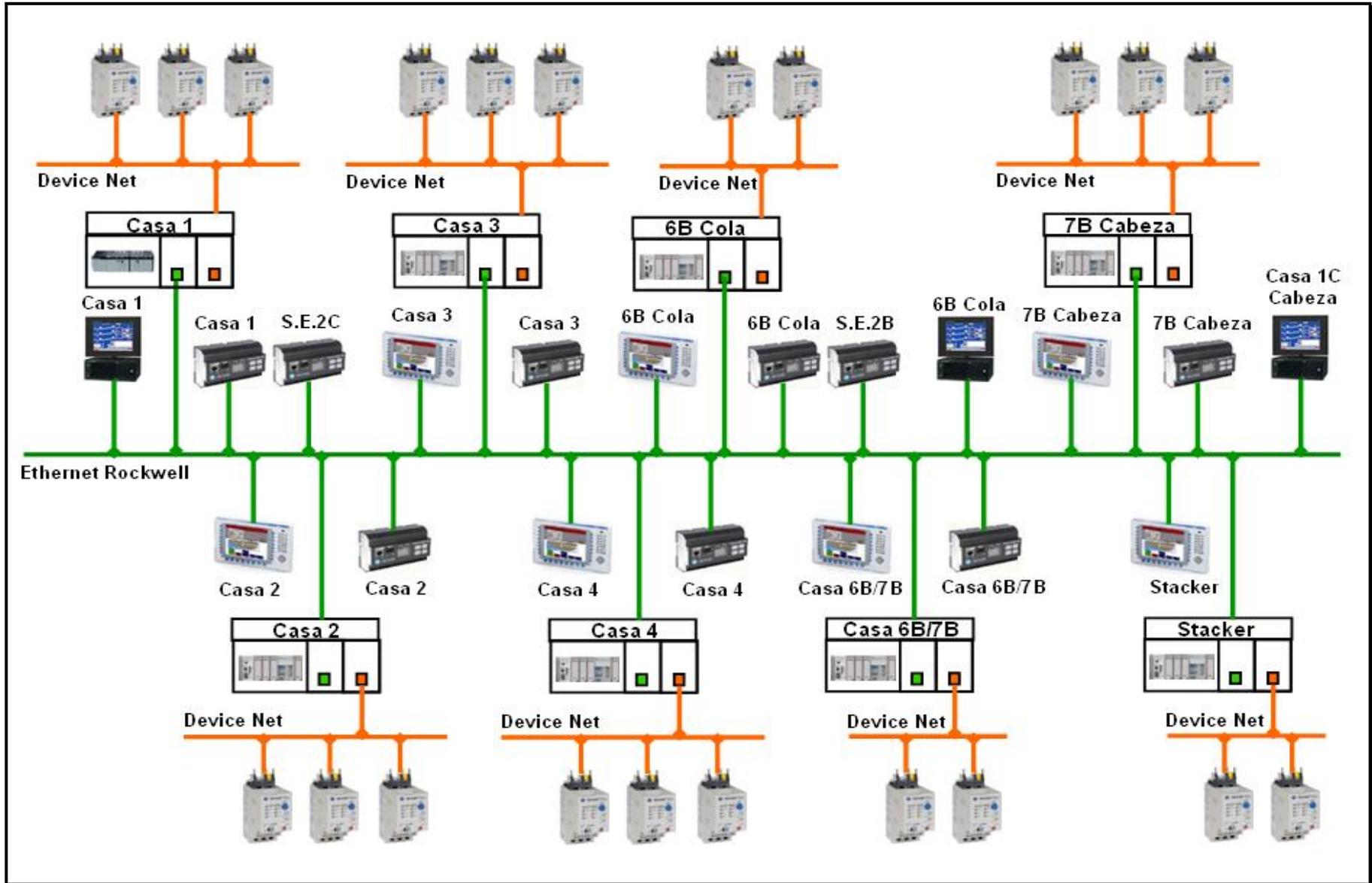


Figura 4.34 Detalle Redes Device Net (Conjunto Central e Inferior) (Fuente: Elab.Prop.)

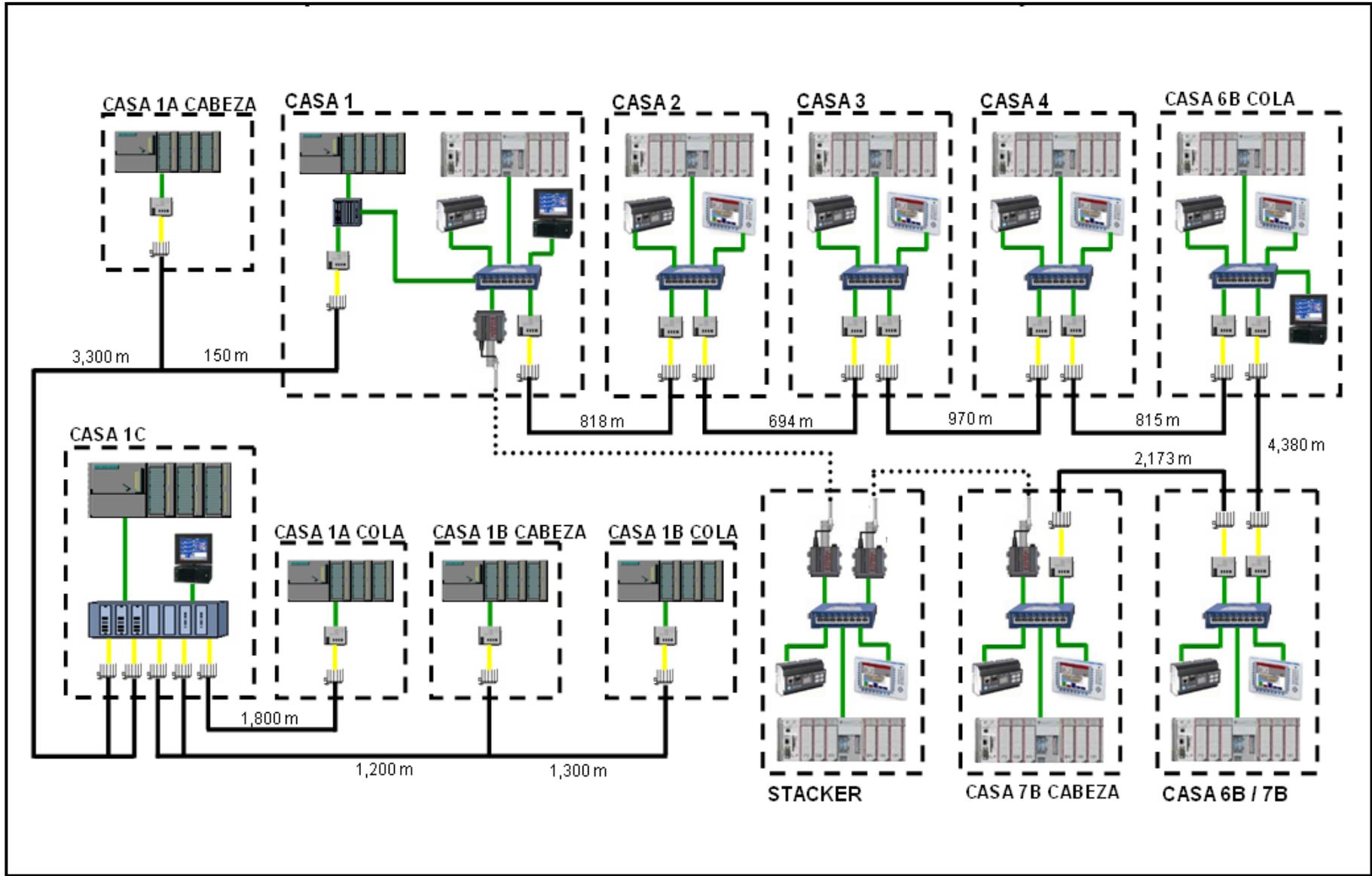


Figura 4.35 Arquitectura Comunicación Sistema Conveydor (Fuente: Elab.Prop.)

# CAPÍTULO V : COSTOS Y CRONOGRAMA

En este capítulo se realiza un análisis de los costos incurridos para este proyecto, así como también se muestra el cronograma de trabajos usados para la implementación del mismo.

## 5.1 Costos del proyecto

El proyecto se realizó en dos etapas, la primera etapa corresponde a la automatización de las fajas del conjunto superior y la segunda etapa a las fajas del conjunto Central e Inferior.

Para la primera etapa, se tiene el detalle de costos unitarios tanto para el equipamiento como para los servicios que fueron necesarios contratar dado la magnitud de los trabajos. Estos costos sub totales se muestran en las Tabla 5.1 y 5.2.

En la Tabla 5.3 se muestra el costo total incurrido en la automatización del conjunto superior el cual ascendió a un monto total de \$ 317,656.80 incluido el I.G.V.

Para la segunda etapa se licitó un proyecto tipo Llave en mano, por lo cual no se cuenta con los costos unitarios sino con un monto total que incluía todo el equipamiento y servicio necesarios para cumplir con los alcances de los trabajos, el cual ascendió a un monto total de \$ 412,066.06 incluido el I.G.V.(Ver Tabla 5.4)

Finalmente en la Tabla 5.5 se muestra el costo total que significó la automatización de todo el Sistema Conveyer, con un monto total de \$ 729,722.86 correspondiendo el 43.5 % a la primera etapa y el 56.5 % a la segunda etapa.

Se debe considerar que todos los montos totales tienen incluido el I.G.V. de 19% vigente en las fechas que se generaron las órdenes de compra.

Tabla 5.1 Sub Total Costos Incurridos - Equipamiento Automatización Conjunto Superior (Fuente: Ref. [27])

ítem	Descripción	cant.	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Tablero PLC N° 1 casa 1	1	12,203.00	12,203.00
2	Tablero PLC N° 2 casa 1a cola	1	13,196.58	13,196.58
3	Tablero PLC N° 3 casa 1b cabeza	1	12,477.99	12,477.99
4	Tablero PLC N° 4 casa 1c	1	11,482.03	11,482.03
5	Tablero PLC N° 5 casa 1a cabeza	1	11,477.73	11,477.73
6	Tablero PLC N° 6 casa 1b cola	1	9,271.67	9,271.67
7	Herramientas de programación	1	12,756.82	12,756.82
8	Equipamiento para la integración de balanza	1	2,639.28	2,639.28
9	Estación de supervisión SCADA WINCC	1	10,109.57	10,109.57
10	Equipamiento / accesorios para red óptica Ethernet	1	18,494.84	18,494.84
11	Fibra óptica y accesorios ferretería	1	48,202.07	48,202.07
12	Suministro de medidores de energía DIRIS	4	899.13	3,596.52
13	Suministro de medidores de corriente de motores SIMOCODE	13	833.88	10,840.44
14	Suministro de equipos y accesorios de conexiónado eléctricos	1	8,585.61	8,585.61
15	Suministro de sistema de alimentación ininterrumpida	1	5,693.19	5,693.19
Sub total USD				191,027.34
IGV 19 %				36,295.19
Total general USD				227,322.53

Tabla 5.2 Sub Total Costos Incurridos - Servicios

Automatización Conjunto Superior (Fuente: Ref. [28])

ítem	Descripción	cant.	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Servicio de ingeniería de campo	1	1,800.08	1,800.08
2	Servicio de pruebas de fibra óptica	1	6,077.79	6,077.79
3	Servicio de configuración y programación	1	9,515.77	9,515.77
4	Servicio de montaje y tendido de fibra óptica	1	7,869.62	7,869.62
5	Servicio de digitalización de planos	1	1,299.60	1,299.60

6	Servicio de cableado y conexionado de señales	1	34,927.18	34,927.18
7	Servicio de transporte de suministro	1	681.10	681.10
8	Servicio de puesta en marcha	1	13,740.01	13,740.01
Sub total USD				75,911.15
IGV 19 %				14,423.12
Total general USD				90,334.27

Tabla 5.3 Total Costos Incurridos

Automatización Conjunto Superior (Fuente: Elab.Prop.)

ítem	Descripción	cant.	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Equipamiento	1	191,027.34	191,027.34
2	Servicios	1	75,911.15	75,911.15
Sub total USD				266,938.49
IGV 19 %				50,718.31
Total general USD				317,656.80

Tabla 5.4 Total Costos Incurridos Automatización

Conjunto Central e Inferior (Fuente: Ref. [29])

ítem	Descripción	cant.	Precio Unitario USD	Precio Total USD
1	Equipamiento y servicios	1	346,274.00	346,274.00
Sub total USD				346,274.00
IGV 19 %				65,792.06
Total general USD				412,066.06

Tabla 5.5 Total Costos Incurridos Automatización Sistema CONVEYOR

(Fuente: Elab.Prop.)

ítem	Descripción	cant.	%	Precio total USD
1	CONJUNTO SUPERIOR	1	43.53	266,938.49
2	CONJUNTO CENTRAL E INFERIOR	1	56.47	346,274.00
Sub total USD				613,212.49
IGV 19 %				116,510.37
Total general USD				729,722.86

## 5.2 Cronograma de trabajos

En las figuras 5.1 y 5.2 se muestran los diagramas de Gantt de las dos etapas, en ellas se puede explicar las estrategias que se usó para la implementación del proyecto.

La faja transportadora como actividad es la columna vertebral de la producción de la mina, por lo cual una condición era minimizar las paradas del sistema, aprovechando en lo posible las paradas de los días domingo por mantenimiento; esa alternativa se explotó en ambas etapas del proyecto.

La primera etapa ( Figura N° 5.1) duró casi 4 meses, donde el mayor tiempo invertido fue para el entubado y tendido de la fibra óptica a lo largo del conveyor, esta fibra fue enterrada en su mayor parte y una pequeña parte fue tendido aéreo a través de postes.

Una vez instalada la fibra se procedió al montaje de los tableros nuevos, su anclaje y tendidos de líneas desde y hacia el PLC, también se realizó el montaje de los otros dispositivos como relés, contactores auxiliares, instrumentos de medición, etc.. Estos trabajos fueron realizados con la faja trabajando de tal manera que se aprovechó para dejar el menor trabajo posible para la puesta en marcha del PLC, dado que para esta actividad se tenía que parar la faja.

Para la puesta en marcha del PLC en las casas 1B Cola, 1B Cabeza y 1C, si bien se paraban las fajas, el sistema seguía trabajando a través de la faja 1A por lo cual no fue necesario hacerlo los domingos. En el caso de la puesta en marcha de la Casa 1A Cola y 1A Cabeza, se realizó al mismo tiempo ya que ambas controlan el funcionamiento de la faja 1A, su implementación llevó tres días a tiempo completo.

En el caso de la Casa 1, la parada fue solamente de 12 horas aprovechando el mantenimiento del sistema. Posterior a las puestas en marcha se debió capacitar a los operadores y personal de mantenimiento. Durante todo este período fue necesario realizar diversas correcciones a la lógica de los programas, debido a defectos no previstos que se iban presentando durante los primeros días de cada puesta en marcha.

Para la segunda etapa, se aprovechó la experiencia de la primera etapa. Esto no se reflejó en el tiempo utilizado para el proyecto que duró casi 6 meses, debido a los trabajos realizados para la instalación de la fibra óptica, en su mayor parte tendido aéreo, por las condiciones del terreno más difíciles y mayor tramo comparado con la primera etapa.

Tal como se nota en el cronograma de la Figura 5.2, en esta etapa se realizaron el montaje de los tableros y tendido de líneas en paralelo con la puesta en marcha de los PLC utilizando exclusivamente los días domingos, minimizando las paradas del conveyor. Luego de cada puesta en marcha también se iba corrigiendo los problemas que se iban presentando.

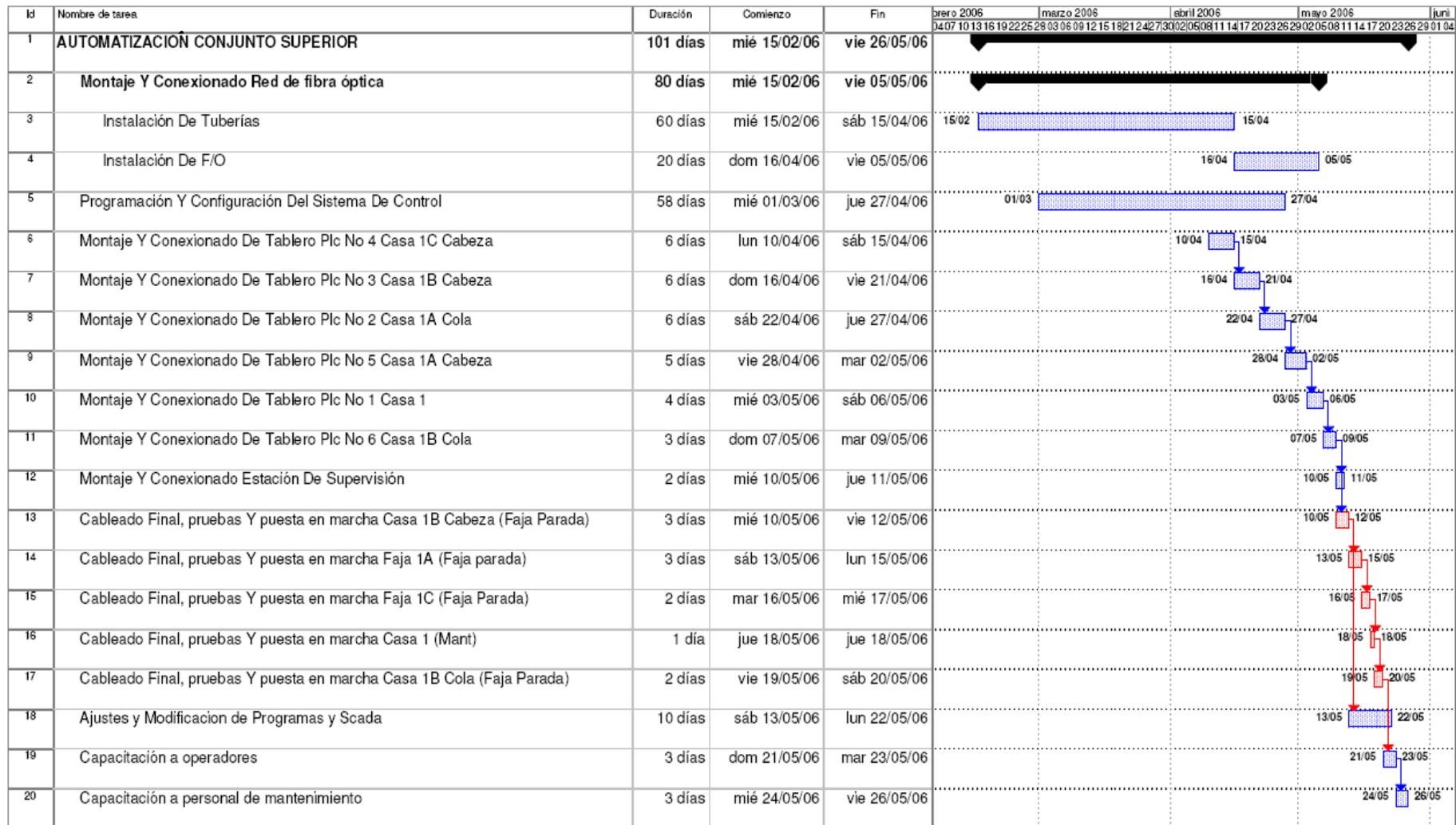


Figura 5.1 Cronograma Automatización Conjunto Superior (Fuente: Elab.Prop.)

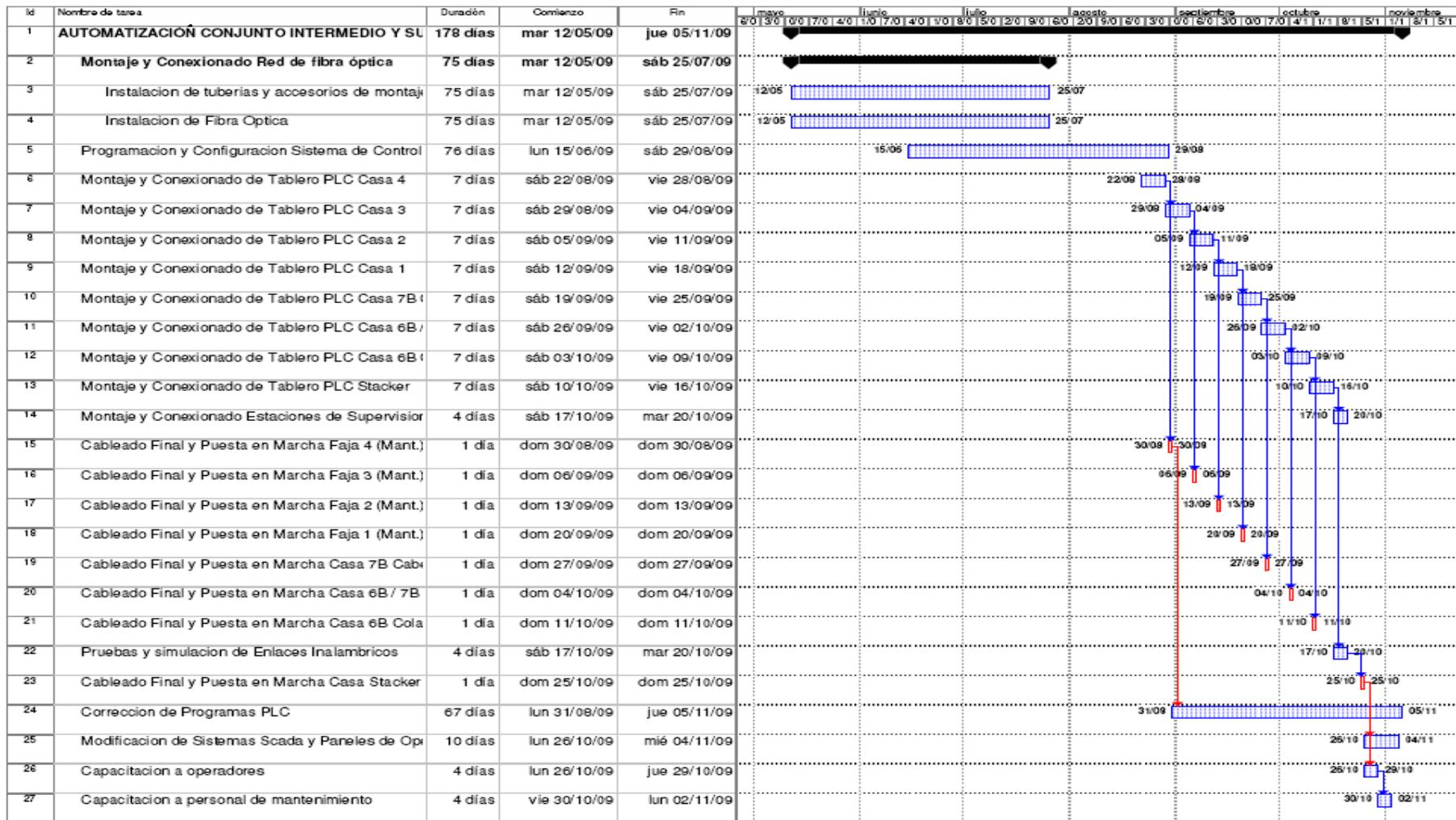


Figura 5.2 Cronograma Automatización Conjunto Central e Inferior (Fuente: Elab.Prop.)

Acerca de mi participación en el proyecto desarrollado, considero fue importante durante casi todas las etapas del mismo.

Participé en la concepción del proyecto y el planteamiento de su justificación ante nuestra gerencia. Una vez que el proyecto fue aprobado y licitado, formé parte del comité de evaluación para la elección del proveedor de suministros y servicios con mayor participación para la segunda etapa.

Participé durante los trabajos preliminares conjuntamente con el proveedor de servicios en el levantamiento de información necesaria para el desarrollo de los programas del PLC, listados de señales y requerimientos del sistema. De igual manera se participó durante el diseño y concepción de pantallas a desarrollar para los sistemas Scada.

Durante los trabajos con faja trabajando como el montaje de tableros y cableado de señales se apoyó de forma intermitente en la supervisión de los mismos ya que mis otras responsabilidades impedía estar en forma permanente. No obstante durante toda la etapa de ejecución del proyecto se participó siempre de las reuniones de coordinación y avance, en las cuales se corregía y/o daba las sugerencias necesarias para el mejor desarrollo del proyecto.

Para los trabajos de puesta en marcha de las diferentes casas de control, que implicaba parada de la faja, se participó a tiempo completo como supervisor y de forma comprometida con la producción debido a los tiempos cortos de parada que se disponía, sobretodo durante la primera etapa, que resultó ser la más laboriosa.

La lógica desarrollada para los PLC era revisada antes de la puesta en marcha conjuntamente con el proveedor de servicios, los errores presentados durante las pruebas y posterior a ellas eran corregidas de inmediato. De igual manera se trabajó con el desarrollo del sistema Scada. Esta tarea se me facilitó gracias a la experiencia con PLC's del mismo fabricante que se tenía en otros procesos de la mina.

Actualmente, desde la culminación del proyecto hasta la fecha se ha realizado diversas modificaciones (mejoras) e implementado nuevas secuencias de control y monitoreo debido los requerimientos de la producción que se vienen presentando.

### **5.3 Análisis de costos**

En la Tabla 5.6 se muestra un resumen de la producción del Conveyor durante los últimos 10 años. Se puede notar que entre el año 2000 y 2010 la producción casi se ha duplicado, para lograr esta cantidad de toneladas transportadas se ha tenido que duplicar las horas de operación del sistema

dado que la capacidad de la faja por diseño y metodología de trabajo (tiempos muertos) no puede superar las 2,000 TMS / Hora promedio.

Tabla 5.6 Cuadro Performance Conveyor (Fuente: Ref. [30])

Año	Demoras	Horas Operación	Toneladas Métricas	producción x Hora	Disponibilidad
	Total				Operativa
2,000	815.2	3,152.0	6,101,922	1,935.0	98.7
2,001	808.9	3,334.4	6,674,155	2,001.6	98.5
2,002	588.0	3,690.0	7,063,685	1,914.2	97.3
2,003	765.5	4,431.9	8,134,001	1,835.3	97.3
2,004	867.2	5,100.0	9,150,000	1,826.0	96.4
2,005	923.0	5,809.4	10,561,520	1,818.0	95.5
2,006	1,243.1	6,198.1	11,109,835	1,792.4	94.0
2,007	1,412.1	6,098.2	11,317,224	1,855.8	93.5
2,008	1,388.4	6,464.9	11,788,479	1,823.5	93.9
2,009	1,273.4	5,701.3	10,615,531	1,861.9	95.1
2,010	1,253.3	6,342.7	11,968,404	1,887.0	94.0

Este aumento de horas de operación trae consigo un mayor desgaste de todo el sistema, fajas, sistema motriz, estructura, así mismo también aumentan las probabilidades de fallas eléctricas. Con el tiempo perdido por fallas eléctricas antes de la automatización definitivamente no se hubiera podido garantizar el nivel de producción que se tiene en la actualidad.

Posterior a la implementación de la primera etapa, la inversión hecha se reflejó directamente en una reducción de las demoras eléctricas sobretodo por paradas fantasmas y fallas del sistema de control, esto fue determinante para la ejecución de la automatización de la segunda etapa.

Finalmente, una vez que se completó la automatización en todo el sistema, se logró reducir aún más las demoras eléctricas.

Considerando que la automatización del Conveyor fue determinante para lograr duplicar la producción, esto se puede revertir para determinar el tiempo de recuperación de la inversión realizada.

Solamente se consideraría el incremento de la producción del año 2010 versus la producción antes del inicio de la automatización del sistema (2005).

- Incremento de Cantidad de horas de operación al año: 533 horas / año.

- Promedio de jalado: 1,890 toneladas / hora.

- Cantidad de toneladas transportadas x año: 1,007370 toneladas.
- Costo tonelada transportada: \$ 0.2881 / tonelada.
- Monto incurrido x año: \$ 290,223.30.
- Costo inversión: \$ 730,000.
- Tiempo recuperación de inversión: 2.5 años.

El proyecto de modernización del sistema de control y monitoreo del Conveyor fue concluído en su totalidad y viene operando desde noviembre del 2009. Bajo estas premisas y considerando el tiempo de recuperación de la inversión calculado, se puede afirmar que el costo del proyecto ya ha sido recuperado.

# CONCLUSIONES

La modernización del sistema de monitoreo y control de la faja transportadora fue realizada de manera satisfactoria en dos etapas utilizando tecnologías similares de diferentes fabricantes.

El uso del PLC como controlador es el más recomendable para la modernización de procesos basados en fajas transportadoras como el Conveyor.

El uso de Ethernet como protocolo de comunicación a través del medio físico de fibra óptica es el más recomendable para procesos que involucran grandes distancias entre las estaciones de control como el Conveyor.

La utilización de un sistema SCADA como sistema de monitoreo brinda a los operadores y a la supervisión información confiable y en tiempo real para la toma de decisiones más efectiva.

Con la modernización del sistema de monitoreo y control del Conveyor se logró eliminar las fallas provocadas por la obsolescencia del antiguo sistema de control, reduciendo el tiempo de parada por fallas eléctricas.

La modernización del sistema Conveyor fue determinante para garantizar el incremento de la producción, traducándose en ganancia para la empresa recuperable en un corto tiempo.

# ANEXO A : PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS – CONJUNTO SUPERIOR

Las Figuras presentadas en este anexo corresponden a partes de algunos programas de PLC desarrollados exclusivamente para la casa 1A Cola para el control del conveyor (conjunto superior) [31].

---

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

---

## OB1 - <offline>

"BLOQUE PRINCIPAL"

```
Nombre:                               Familia:
Autor:                                 Versión: 0.1
                                       Versión del bloque: 2
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
CALL "FCMetales"               FC22
CALL "Simocode"                FC18
CALL "DIRIS"                   FC19
CALL "Simoreg"                 FC20
                                -- Comunicacion Cabeza 1C
                                -- Detector de Metales
                                -- Lectura de Simocode
                                -- Lectura de Medidor de Energia
                                -- Lectura de datos
```

---

```
Segm.: 2   Balanza
```

---

```
CALL "SCALE"                   FC105
IN      := "Balanza 1A cola"    PEW268
HI_LIM := 2.500000e+003
LO_LIM := 0.000000e+000
BIPOLAR:=FALSE
RET_VAL:=MW184
OUT     := "SE-CASA 1".Balanza  DB10.DBD2
                                -- Scaling Values
                                -- Balanza
```

Figura A.1 Programa OB1- PRINCIPAL (Fuente: Ref. [31])



SIMATIC Conveyor 040811\Cola 30/01/2012 09:56:15 a.m.  
 1A\CPU 315-2 DP\...\FC1 - <offline>

**FC1 - <offline>**

"CONTROL 1"

Nombre: Familia:  
 Autor: Versión: 0.1  
Versión del bloque: 2  
 Hora y fecha Código: 04/08/2011 01:16:57 p.m.p.m.  
Interface: 16/03/2006 05:22:34 p.m.p.m.  
 Longitud (bloque / código / datos): 00932 00774 00002

Bloque: FC1

Segm.: 1 Control Voltaje ON

DB11.DEX0. 0 CONTROL VOLTAGE ON *RE- CABEZA 1A*. DB_CVX_1A_ HEAD	M50.0 Control Voltaje ON *CVX*
	( )

Segm.: 2 Sttoping Command

DB11.DEX0. 1 STOPPING COMMAND *RE- CABEZA 1A*. DB_STPX_ 1A_HEAD	M50.1 Sttoping Command *STPX*
	( )

Segm.: 3 Starting Command

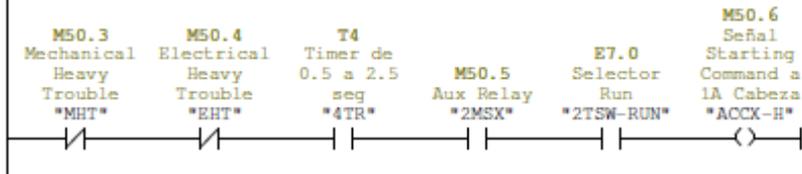
DB11.DEX0. 2 STARTING COMMAND *RE- CABEZA 1A*. DB_SX_1A_ HEAD	M50.2 Starting Command *SX*
	( )

Segm.: 4 Señal de reset de Cola a Cabeza

E1.5 Selector CS-RESET *CS-RESET*	DB12.DEX0. 6 Señal de reset de Cola a Cabeza *SE- CABEZA 1A*. Reset_1A_ Cola
	( )

Continúa...

Segm.: 5 Señal Starting Command a 1A Cabeza



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



Segm.: 7 Emergency Stop



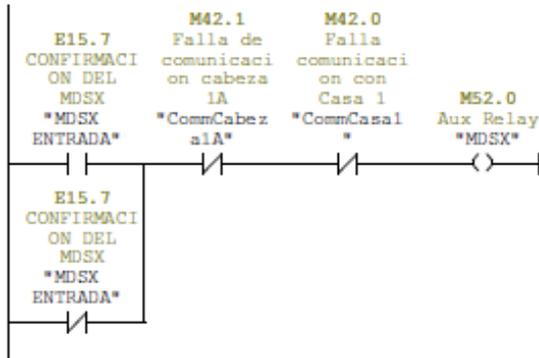
Segm.: 8 Señal Emergency Stop de 1A Cabeza



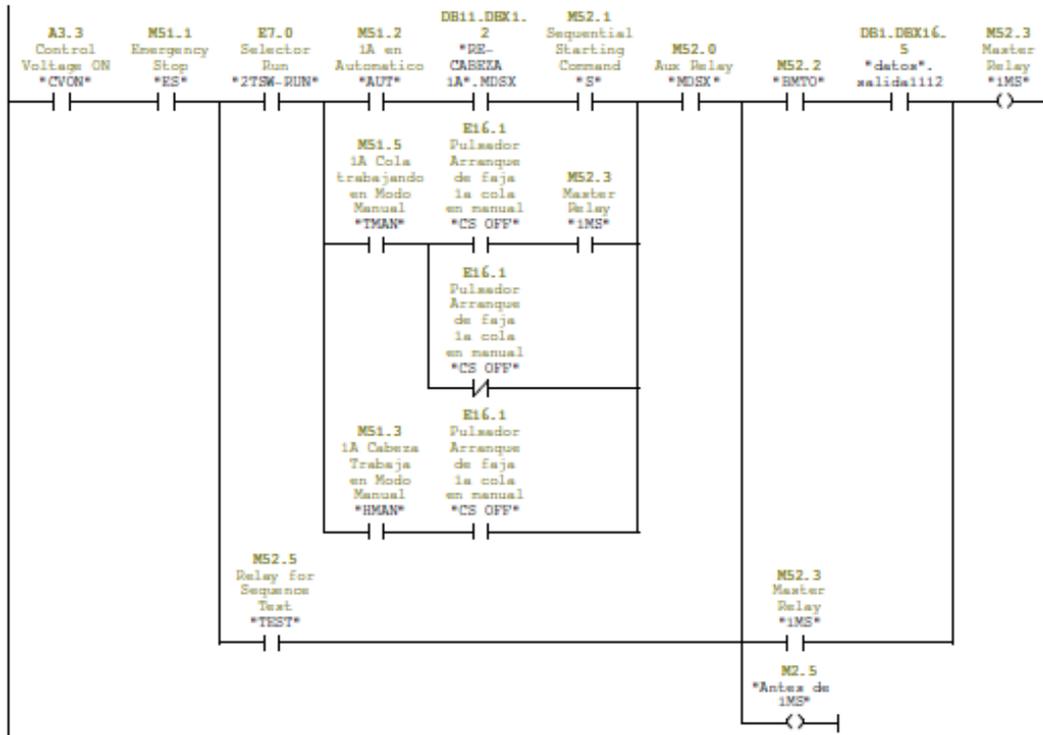




Segm.: 14 Aux Relay



Segm.: 15 Master Relay



Continúa...

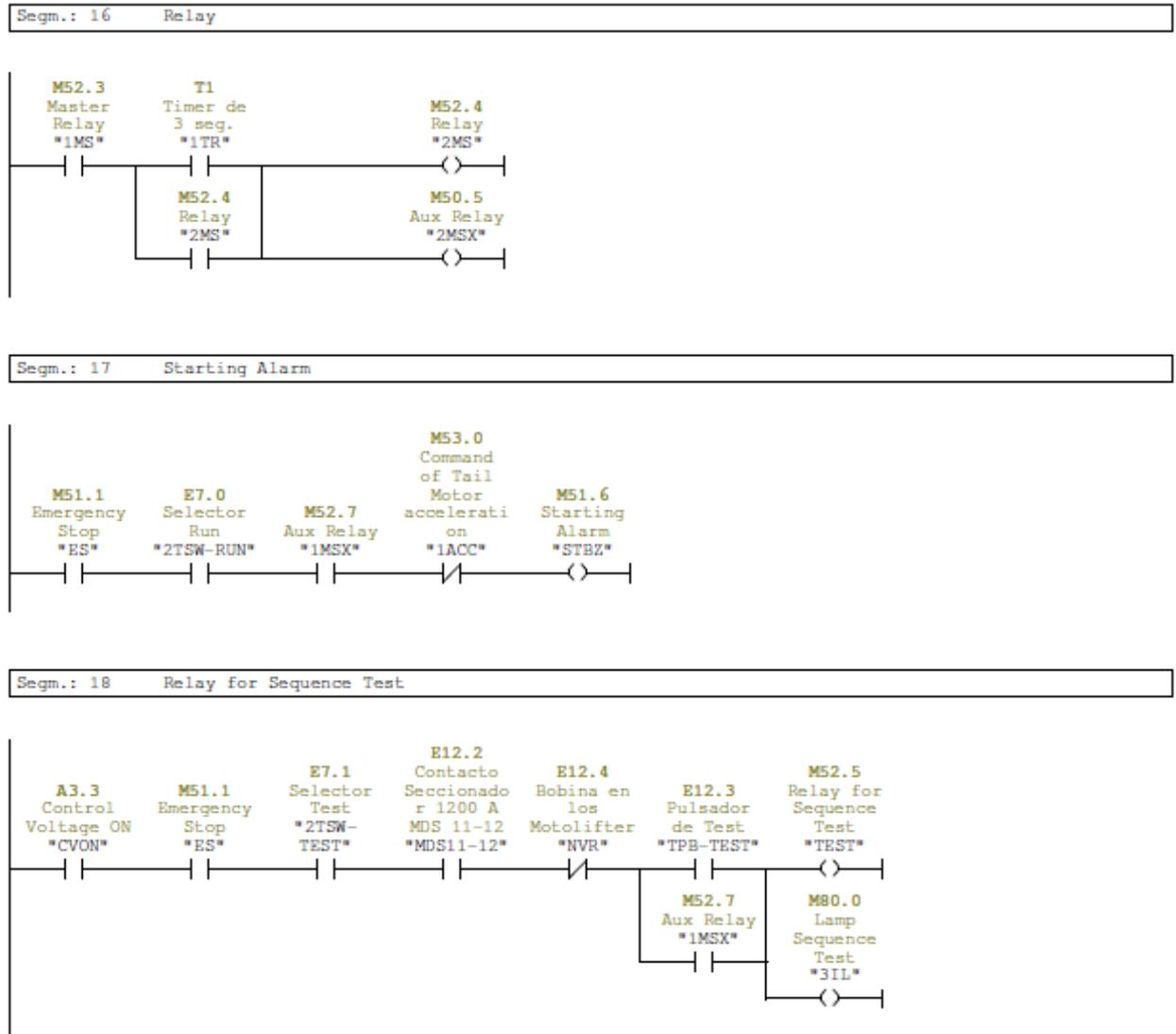


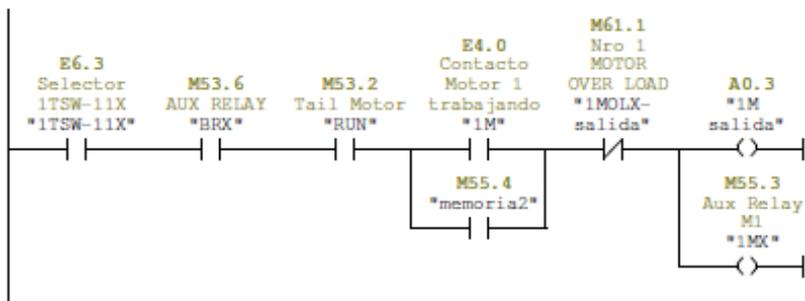
Figura A.3 Programa FC1- CONTROL 1 (Fuente: Ibídem)

**FC2 - <offline>**

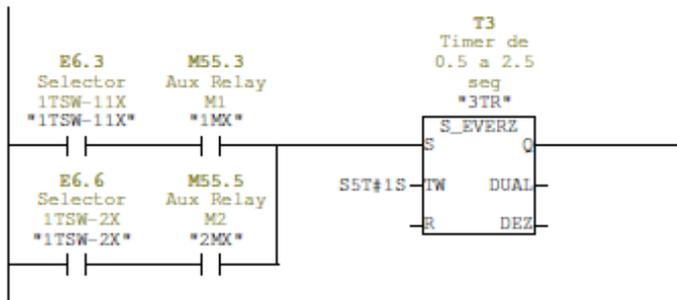
"MOTOR 1M"  
**Nombre:** Familia:  
**Autor:** Versión: 0.1  
Versión del bloque: 2  
**Hora y fecha Código:** 12/07/2008 01:54:04 p.m.p.m.  
Interface: 20/03/2006 04:04:42 p.m.p.m.  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00468 00338 00002

Bloque: FC2

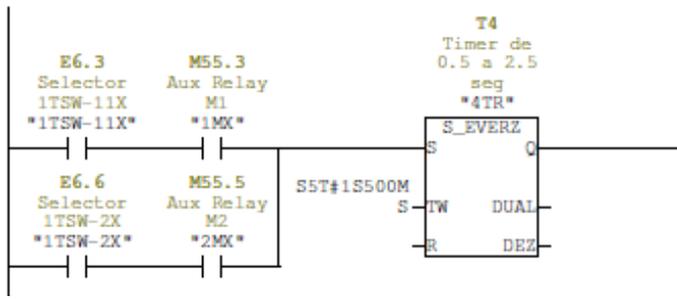
Segm.: 1 Contactor Principal 1M



Segm.: 2 Timer de 0.2 a 10 seg

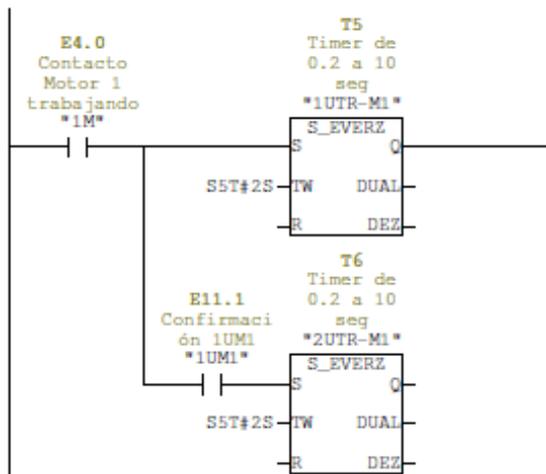


Segm.: 3 Timer de 0.2 a 10 seg

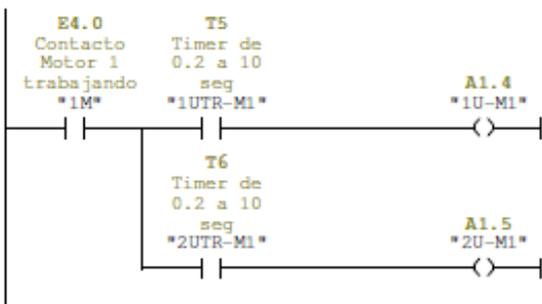


Continúa...

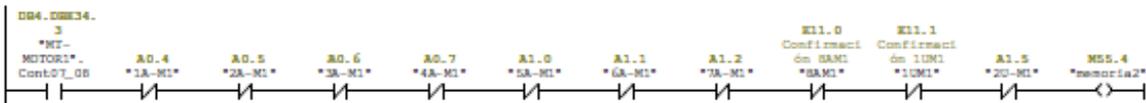
Segm.: 4 Timer de 0.2 a 10 seg



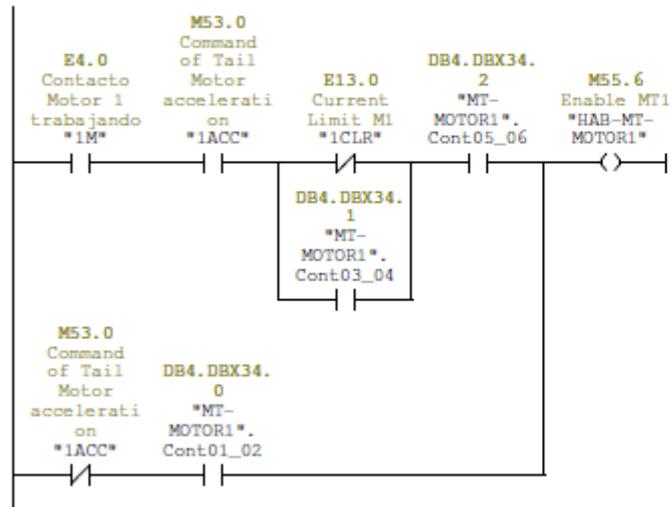
Segm.: 5 Contactor 1U M1



Segm.: 6



Segm.: 7      Habilitacion de secuencia de Motor 1



Continúa...

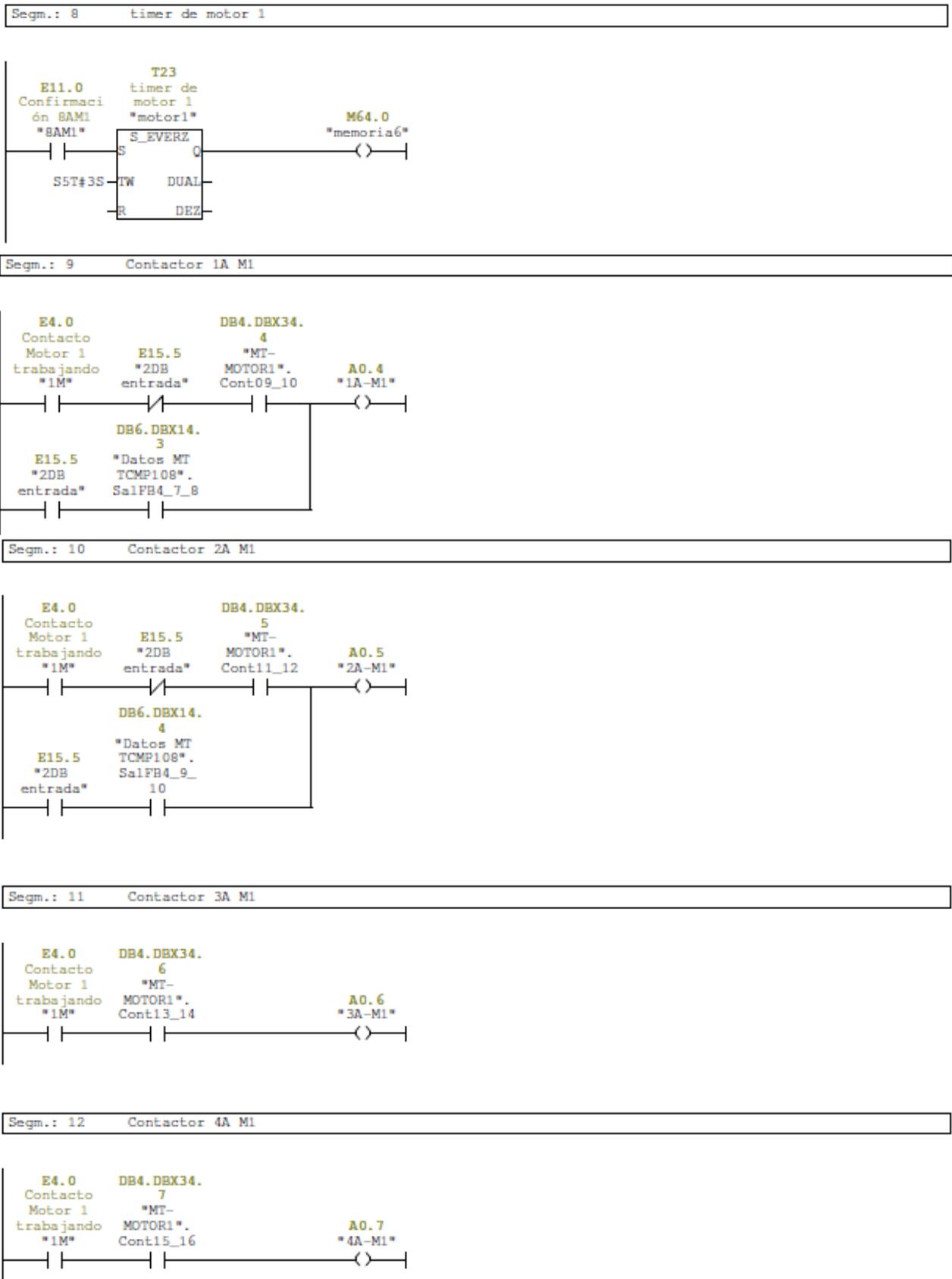
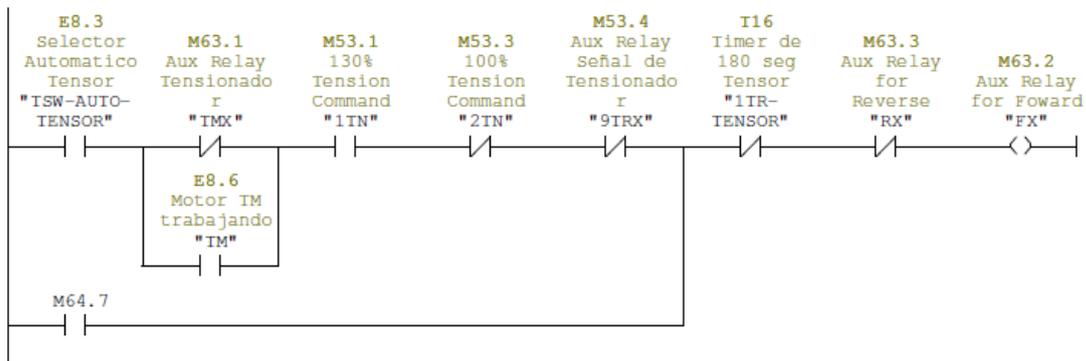


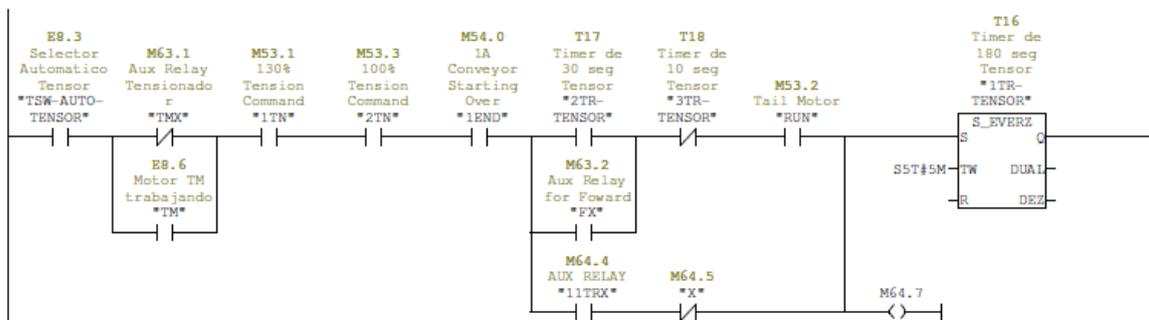
Figura A.4 Programa FC2- CONTROL 1M (Fuente: Ibídem)



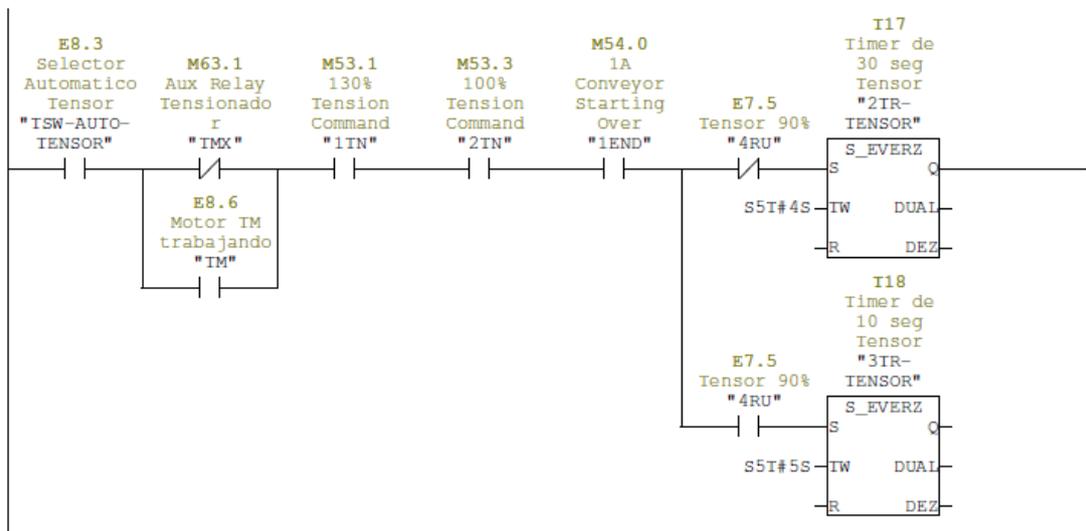
Segm.: 3 Aux Relay for Foward



Segm.: 4 Aux Relay for Foward

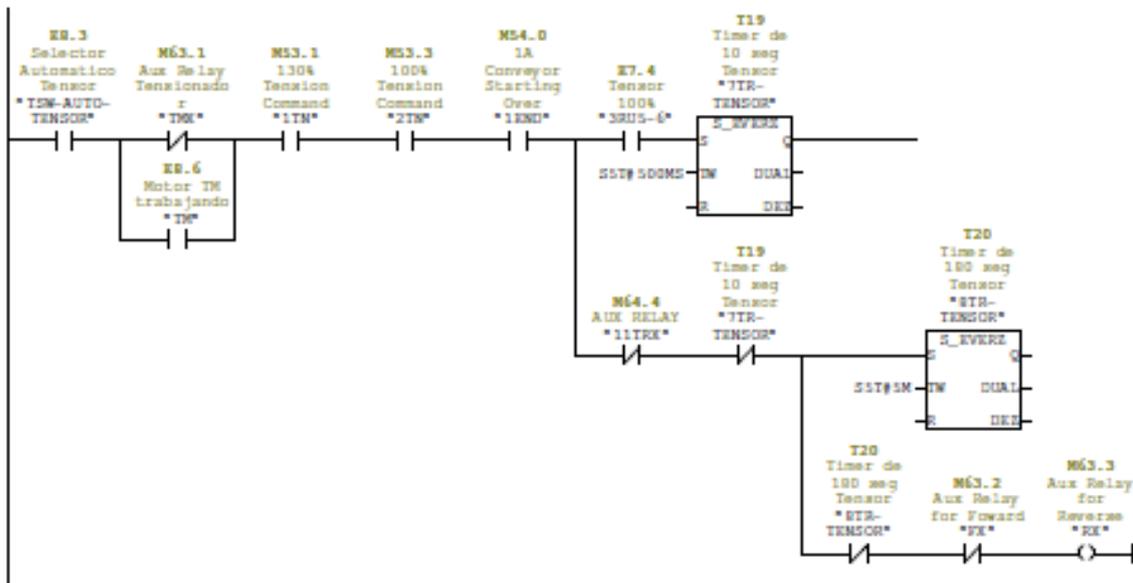


Segm.: 5 Timer de 30 seg Tensor

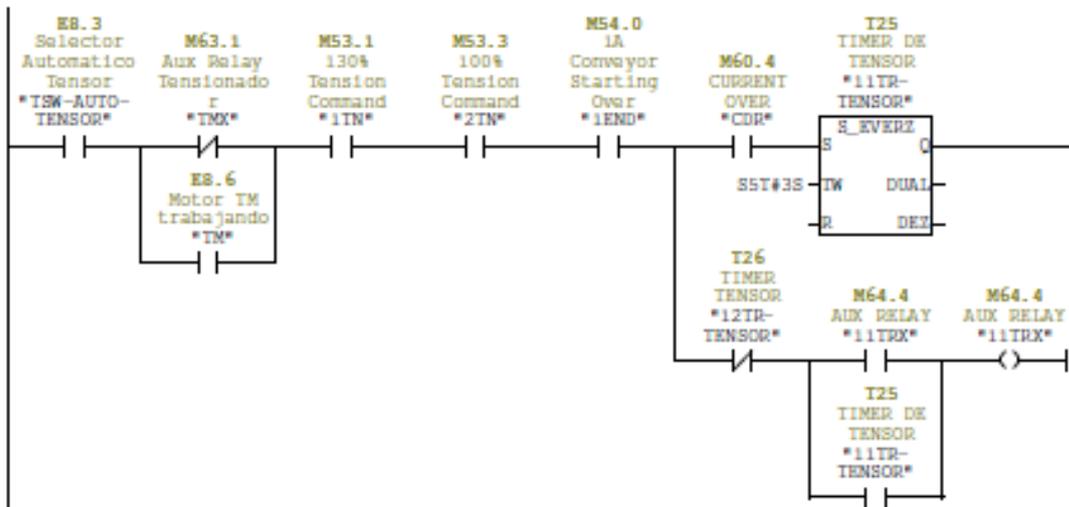


Continúa...

Segn.: 6 Timer de 30 seg Tensor



Segn.: 7 Timer de 30 seg Tensor



Segn.: 8 Timer de 30 seg Tensor

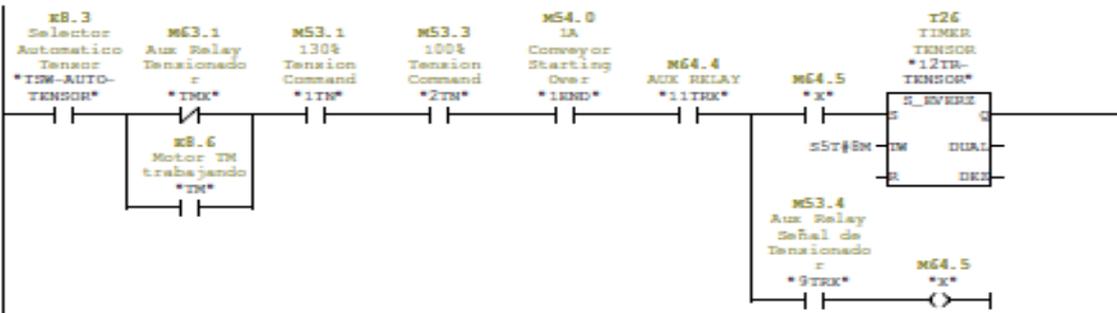
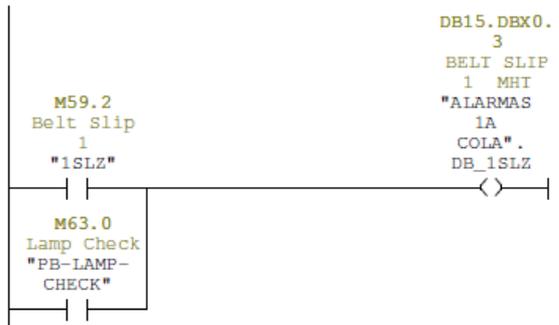


Figura A.5 Programa FC7- TENSIONADOR (Fuente: Ibídem)



Continúa...

Segm.: 4 BELI SLIP 1 MHT



Segm.: 5 BELI SLIP 2 MHT



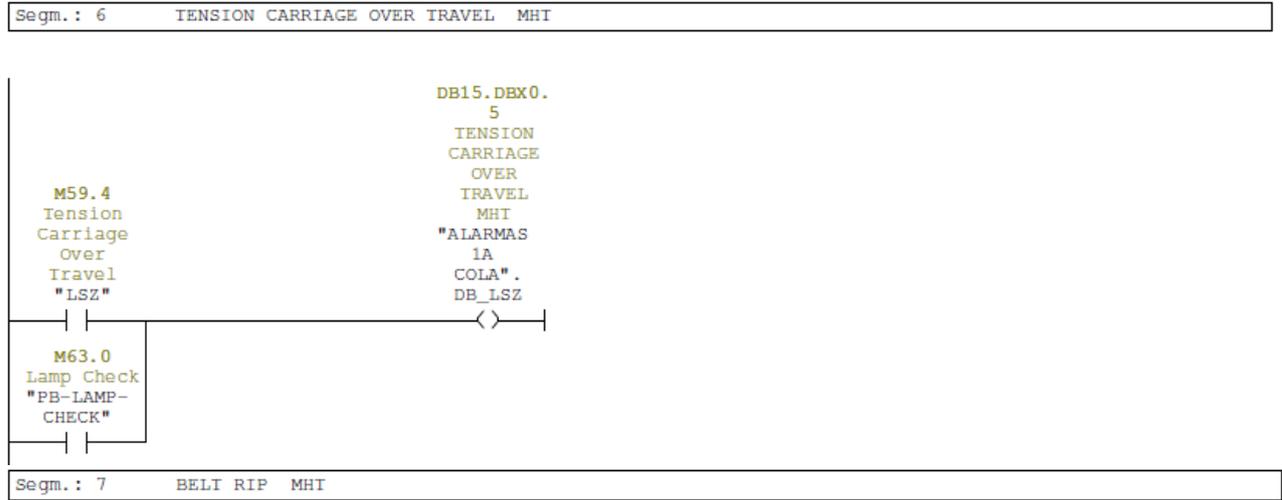


Figura A.6 Programa FC9- FC ALARMAS (Fuente: Ibídem)

**FC14 - <offline>**

"MOTORES BLOQUES"

**Nombre:** **Familia:**  
**Autor:** **Versión:** 0.1  
**Versión del bloque:** 2  
**Hora y fecha Código:** 18/07/2008 03:16:42 p.m.p.m.  
**Interface:** 17/04/2006 02:34:47 a.m.a.m.  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00472 00370 00006

Segm.: 1

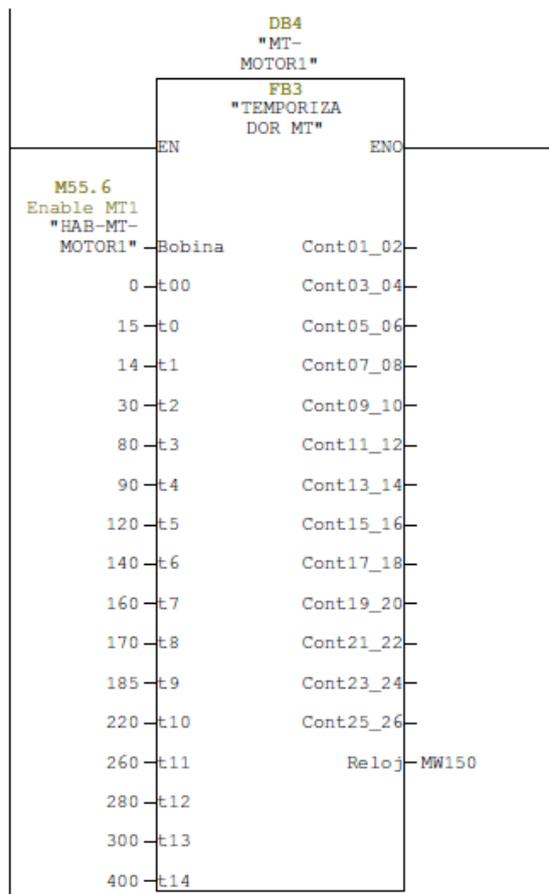


Figura A.7 Programa FC14 - MOTORES BLOQUES (Fuente: Ibídem)

---

SIMATIC Conveyor 040811\Cola 30/01/2012 10:23:54 a.m.  
1A\CPU 315-2 DP\...\FC16 - <offline>

---

**FC16 - <offline>**

"ENLACES"

Nombre: Familia:  
Autor: Versión: 0.1  
Versión del bloque: 2  
Hora y fecha Código: 22/06/2008 04:09:39 p.m.p.m.  
Interface: 24/04/2006 01:54:54 p.m.p.m.  
Longitud (bloque / código / datos): 00716 00608 00018

Segm. : 1	SEND CASA 1
-----------	-------------

```
CALL "AG_SEND"          FC5          -- AG SEND
ACT  :=TRUE
ID   :=1
LADDR :=W#16#200
SEND :=P#DB10.DBX0.0 BYTE 30
LEN  :=30
DONE :=M2.1
ERROR :=M2.2
STATUS:=MW10
```

Segm. : 2	RECEIVE CASA 1
-----------	----------------

```
CALL "AG_RECV"          FC6          -- AG RECEIVE
ID   :=1
LADDR :=W#16#200
RECV :=P#DB9.DBX0.0 BYTE 12
NDR  :=M2.3
ERROR :=M2.4
STATUS:=MW12
LEN  :=MW14
```

Segm. : 3	SEND CABEZA 1A
-----------	----------------

```
CALL "AG_SEND"          FC5          -- AG SEND
ACT  :=TRUE
ID   :=2
LADDR :=W#16#200
SEND :=P#DB12.DBX0.0 BYTE 12
LEN  :=12
DONE :=M3.1
ERROR :=M3.2
STATUS:=MW16
```

Segm. : 4	RECEIVE CABEZA 1A
-----------	-------------------

```
CALL "AG_RECV"          FC6          -- AG RECEIVE
ID   :=2
LADDR :=W#16#200
RECV :=P#DB11.DBX0.0 BYTE 12
NDR  :=M3.3
ERROR :=M3.4
STATUS:=MW18
LEN  :=MW20
```

Figura A.8 Programa FC16 - ENLACES (Fuente: Ibídem)

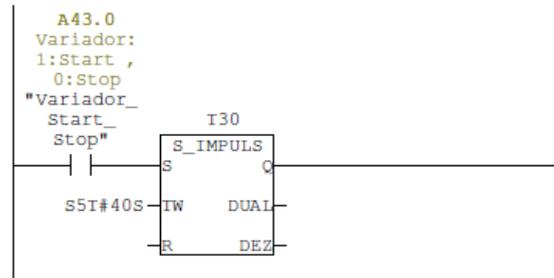
SIMATIC Conveyor 040811\Cola 30/01/2012 10:29:25 a.m.  
1A\CPU 315-2 DP\...\FC21 - <offline>

### FC21 - <offline>

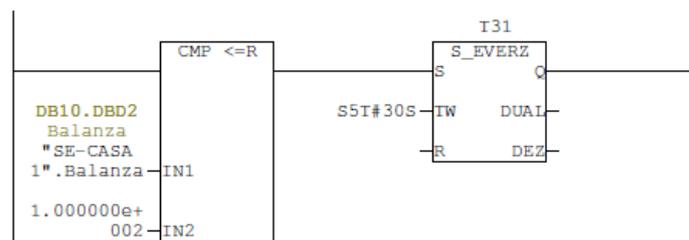
"PID\_BALANZA"

**Nombre:** **Familia:**  
**Autor:** **Versión:** 0.1  
**Versión del bloque:** 2  
**Hora y fecha Código:** 22/11/2011 11:39:32 a.m.a.m.  
**Interface:** 02/11/2006 08:19:48 p.m.p.m.  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00698 00558 00006

Segm.: 1 Retardo aplicacion control PID



Segm.: 2 Balanza Vacía



Segm.: 3 manual value on

```

UN   I   30
UN   T   31
SPB  M002
O    I   30
O    I   31
S    "DB_PID_COLA1A".MAN_ON  DB21.DBX0.1    -- manual value on
L    3.000000e+001
T    "DB_PID_COLA1A".MAN     DB21.DBD16     -- manual value

SPA  M001
M002: UN   I   30

      UN   T   31
      R    "DB_PID_COLA1A".MAN_ON  DB21.DBX0.1    -- manual value on

M001: NOP  0

```

Continúa...

Segm. : 4

```

CALL "CONT_C" , "DB_PID_CO1A1A" FB41 / DB21      -- Continuous Control
COM_RST :=
MAN_ON :=
PVPER_ON:=FALSE
P_SEL  :=TRUE
I_SEL  :=TRUE
INT_HOLD:=FALSE
I_ITL_ON:=FALSE
D_SEL  :=TRUE
CYCLE  :=I#100MS
SP_INT :=
PV_IN  :="SE-CASA 1".Balanza  DB10.DBD2      -- Balanza
PV_PER :=
MAN    :=
GAIN   :=5.500000e-002
TI     :=I#50S
ID     :=I#200MS
TM_LAG :=I#100MS
DEADB_W :=
LMN_HLM :=1.000000e+002
LMN_LLM :=1.000000e+001
PV_FAC  :=1.000000e+000
PV_OFF  :=0.000000e+000
LMN_FAC :=1.000000e+000
LMN_OFF :=0.000000e+000
I_ITLVAL:=
DISV    :=
LMN     :=
LMN_PER :=
QLMN_HLM:=
QLMN_LLM:=
LMN_P   :=
LMN_I   :=
LMN_D   :=
PV      :=
ER      :=
NOP    0
    
```

Segm. : 5 Variador: 1:Start , 0:Stop

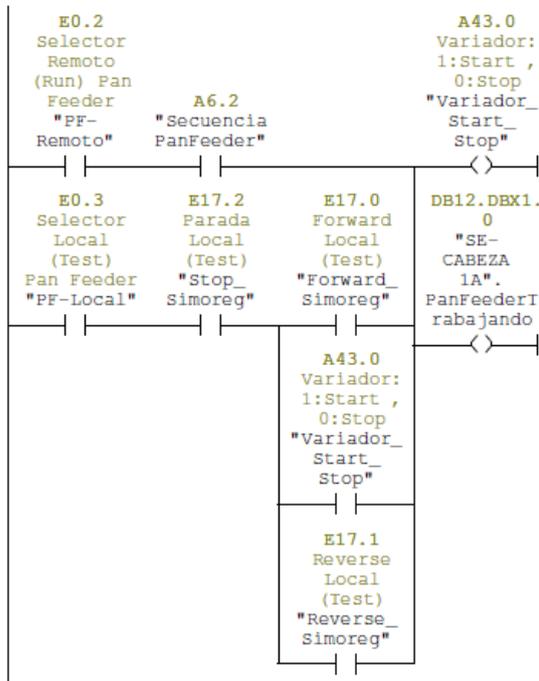


Figura A.9 Programa FC21 – PID\_BALANZA (Fuente: Ibídem)



# ANEXO B PROGRAMACIÓN PLC ALLEN BRADLEY -CONJUNTO CENTRAL E INFERIOR

Las Figuras presentadas en este anexo corresponden a partes de algunos programas de PLC desarrollados para el control del conveyor exclusivamente para la Casa 1 (conjunto central e inferior).[32]

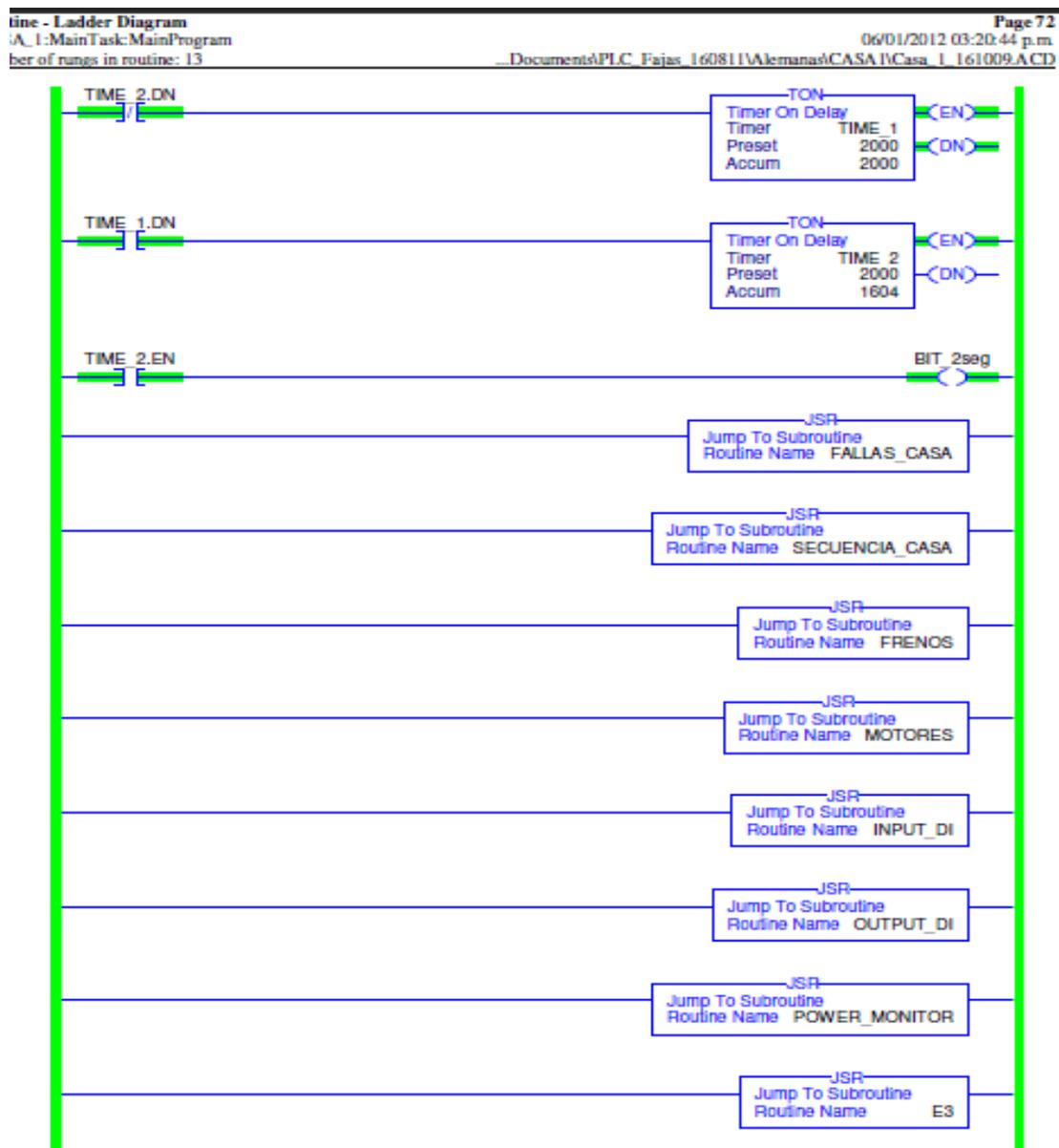
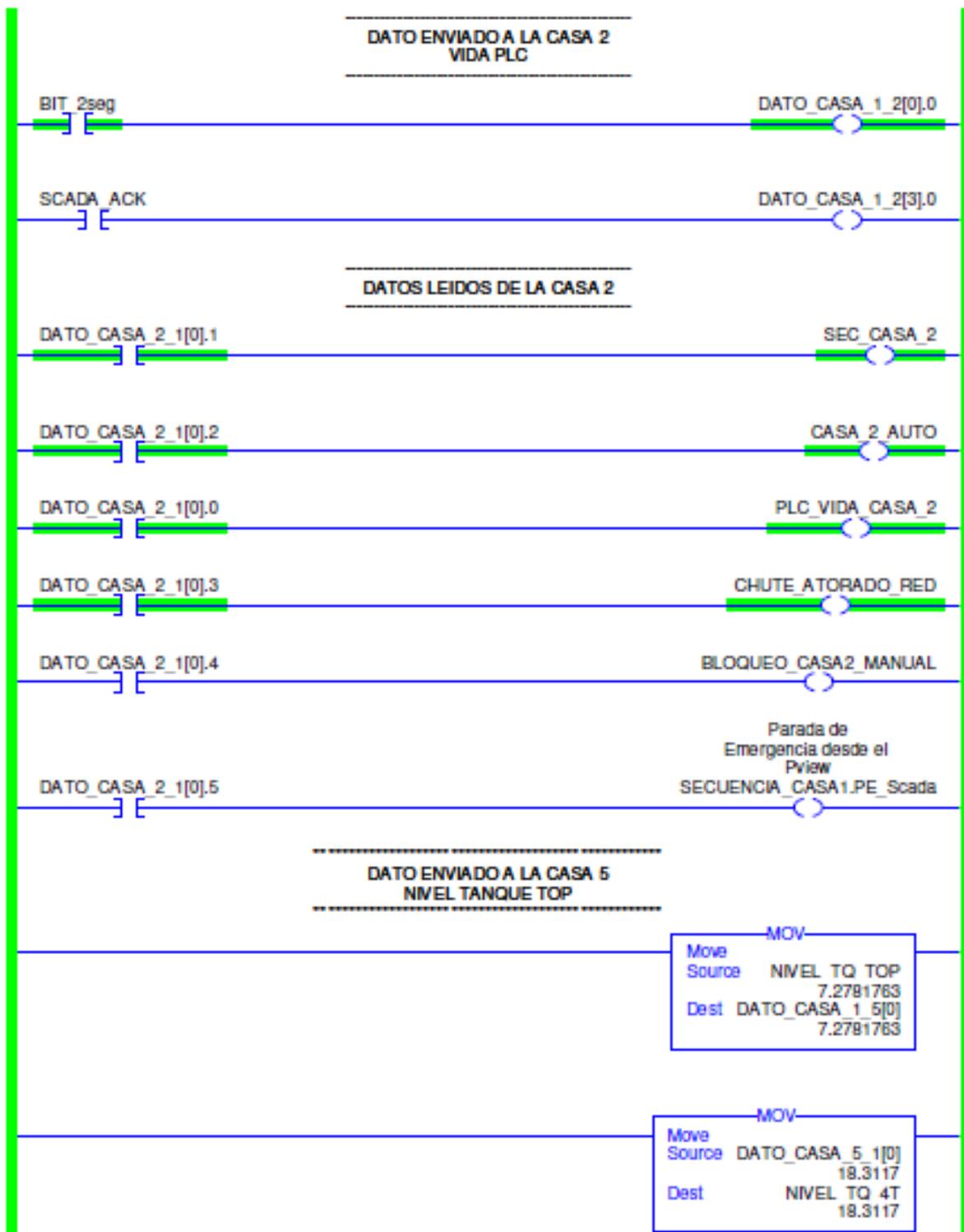


Figura B.1 Programa MAIN\_ROUTINE COMM (Fuente: Ref. [32])



Continúa

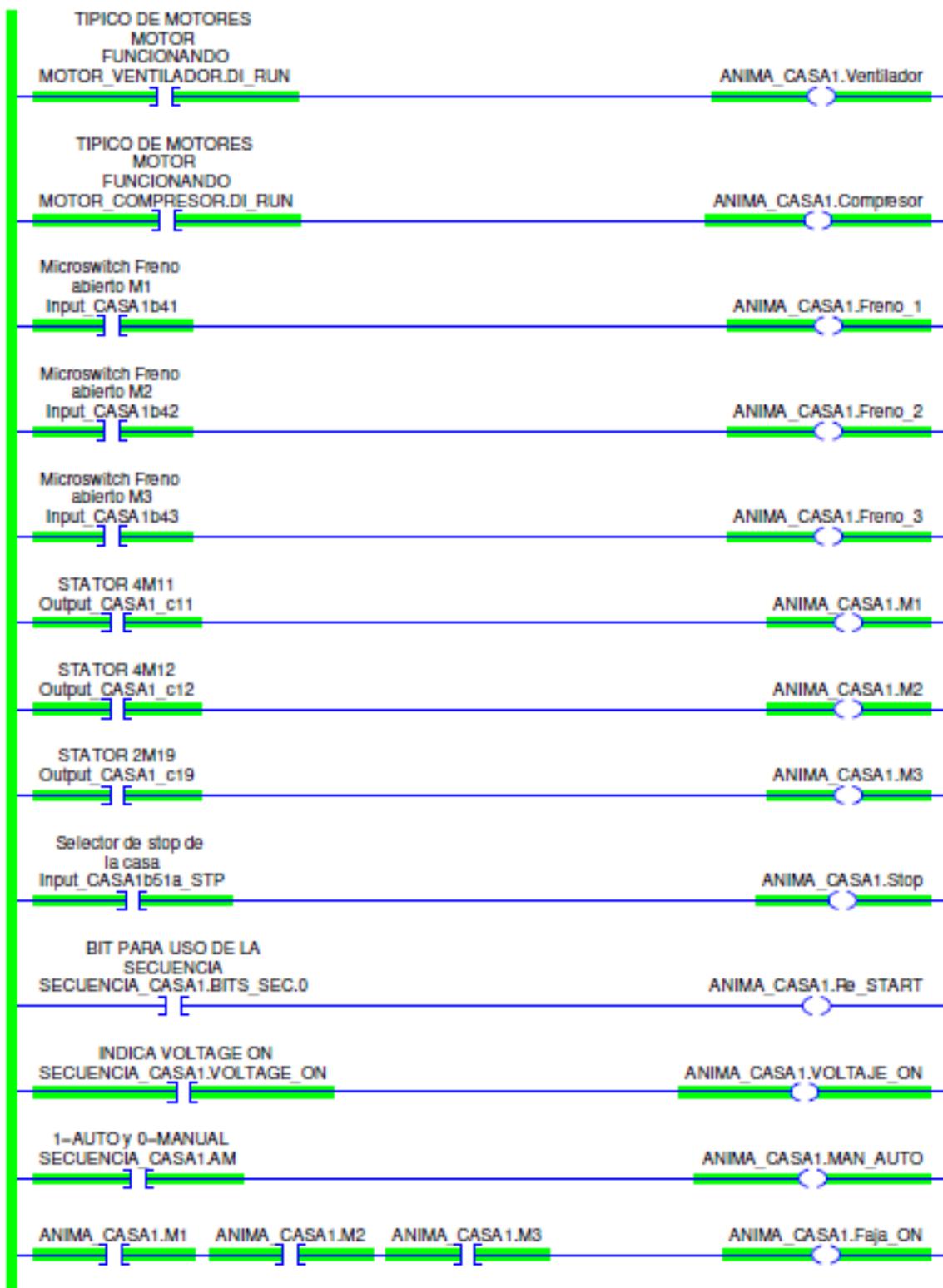


Figura B.2 Programa DATOS\_COMM (Fuente: Ibídem)

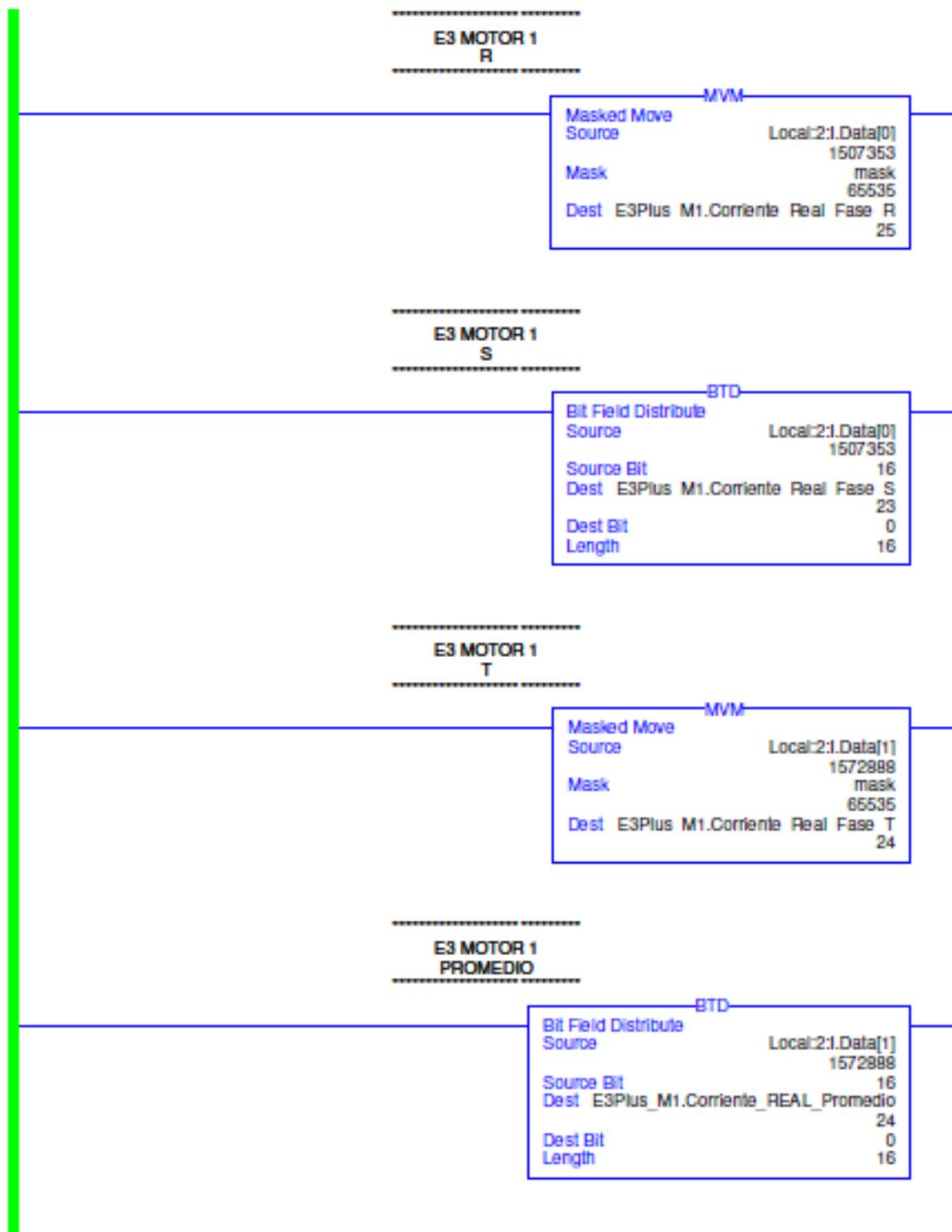
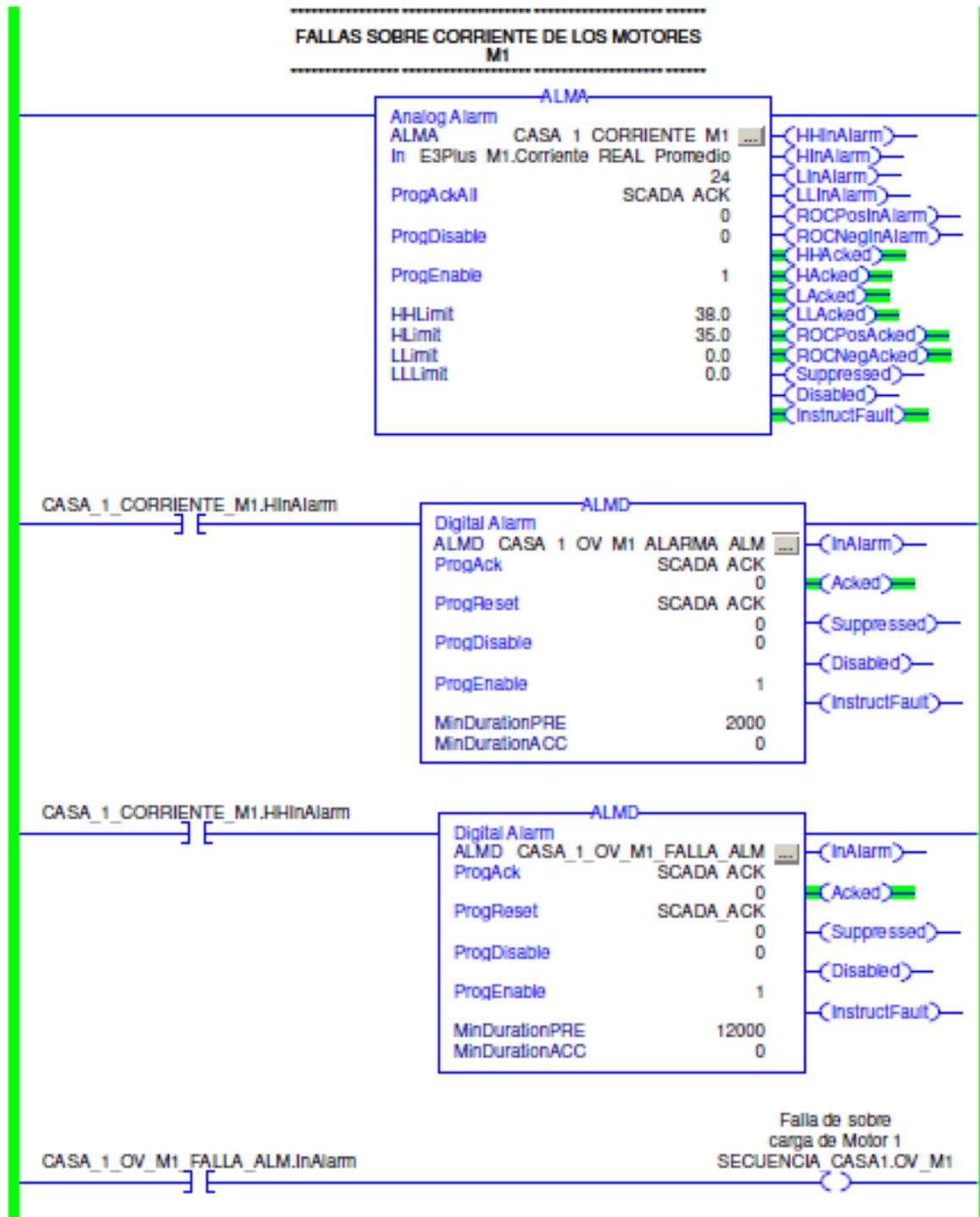
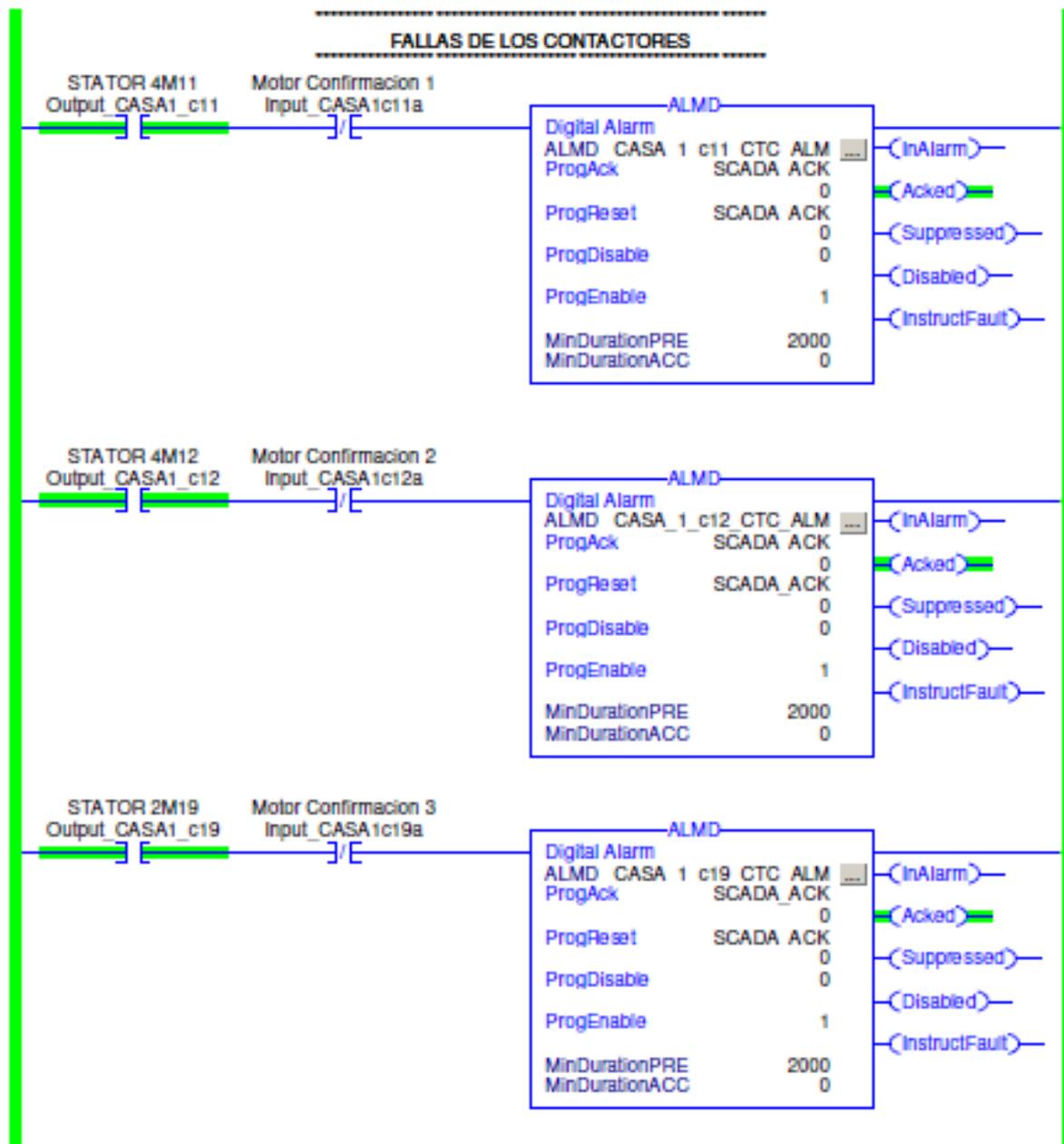


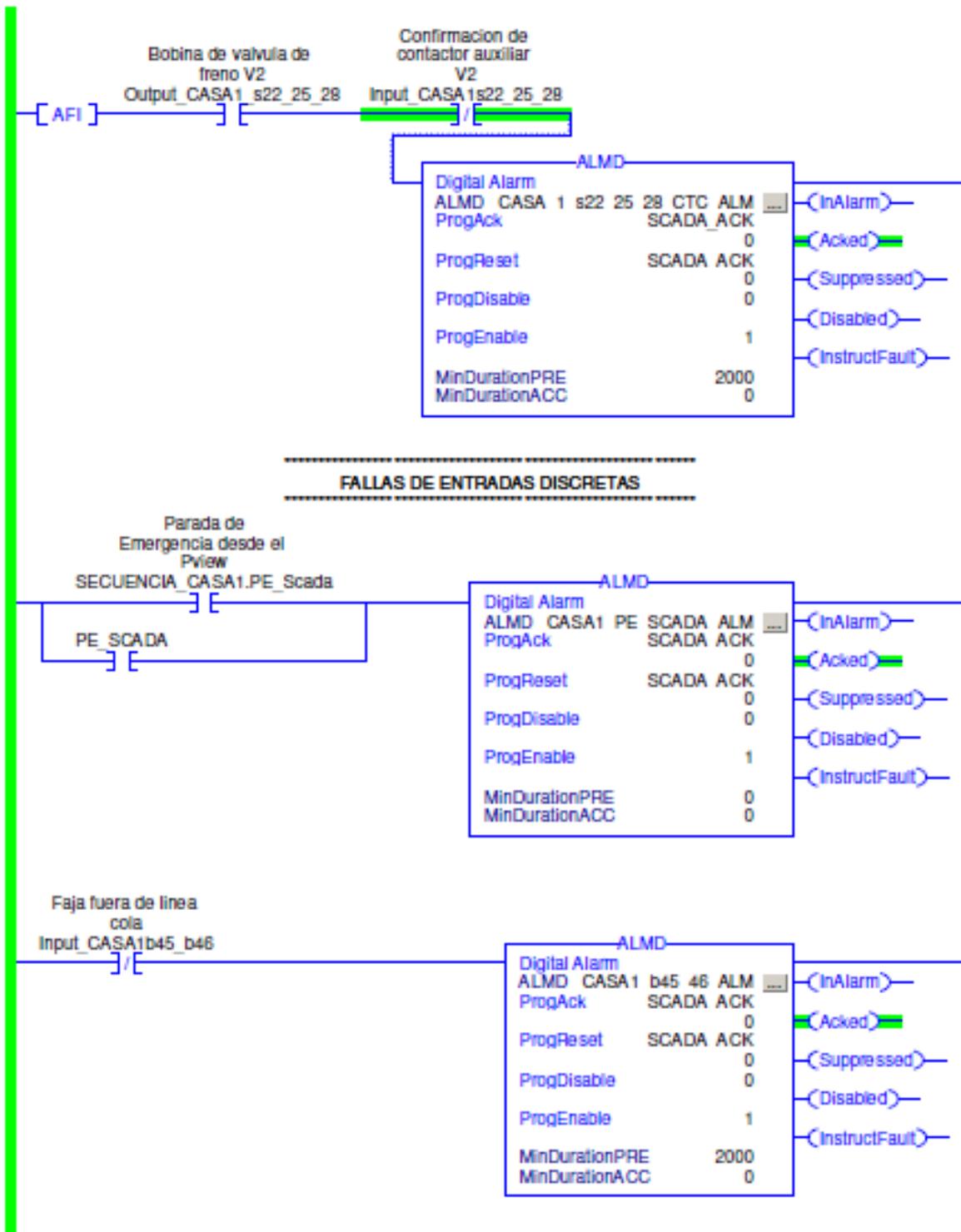
Figura B.3 Programa E3 (Fuente: Ibídem)



Continúa...



Continúa...



Continúa...

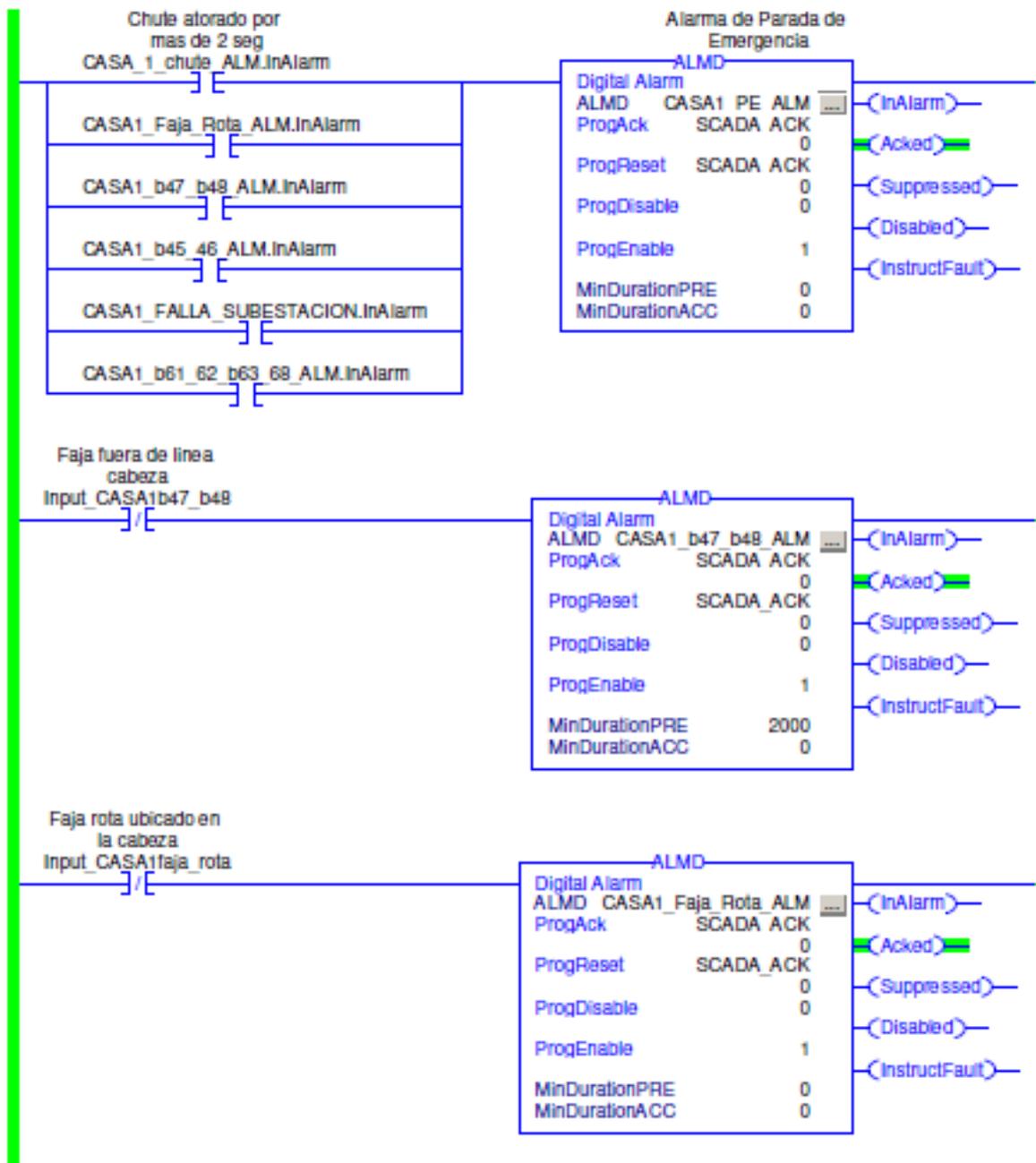


Figura B.4 Programa FALAS\_CASA (Fuente: Ibídem)

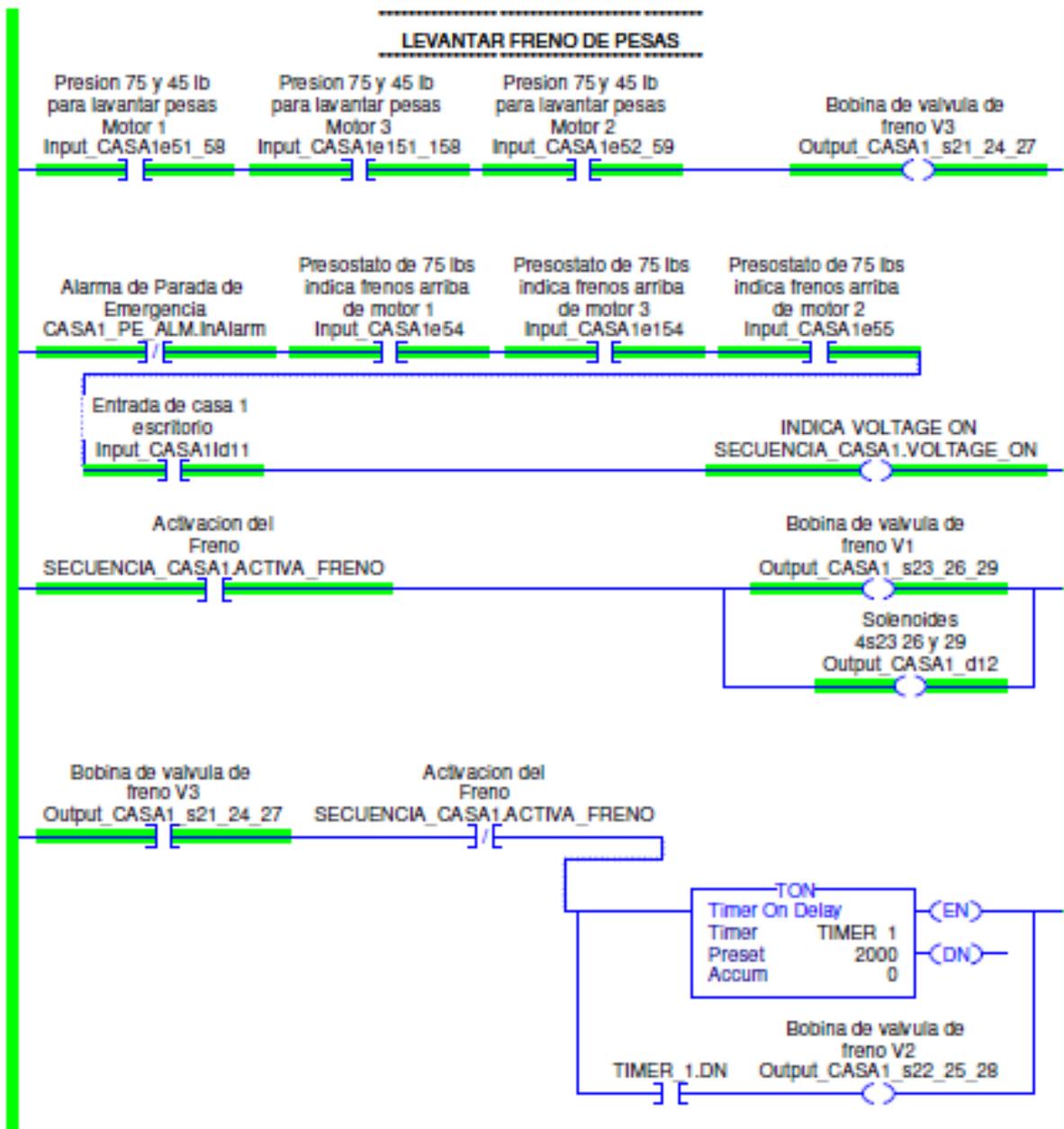


Figura B.5 Programa FRENOS (Fuente: Ibídem)

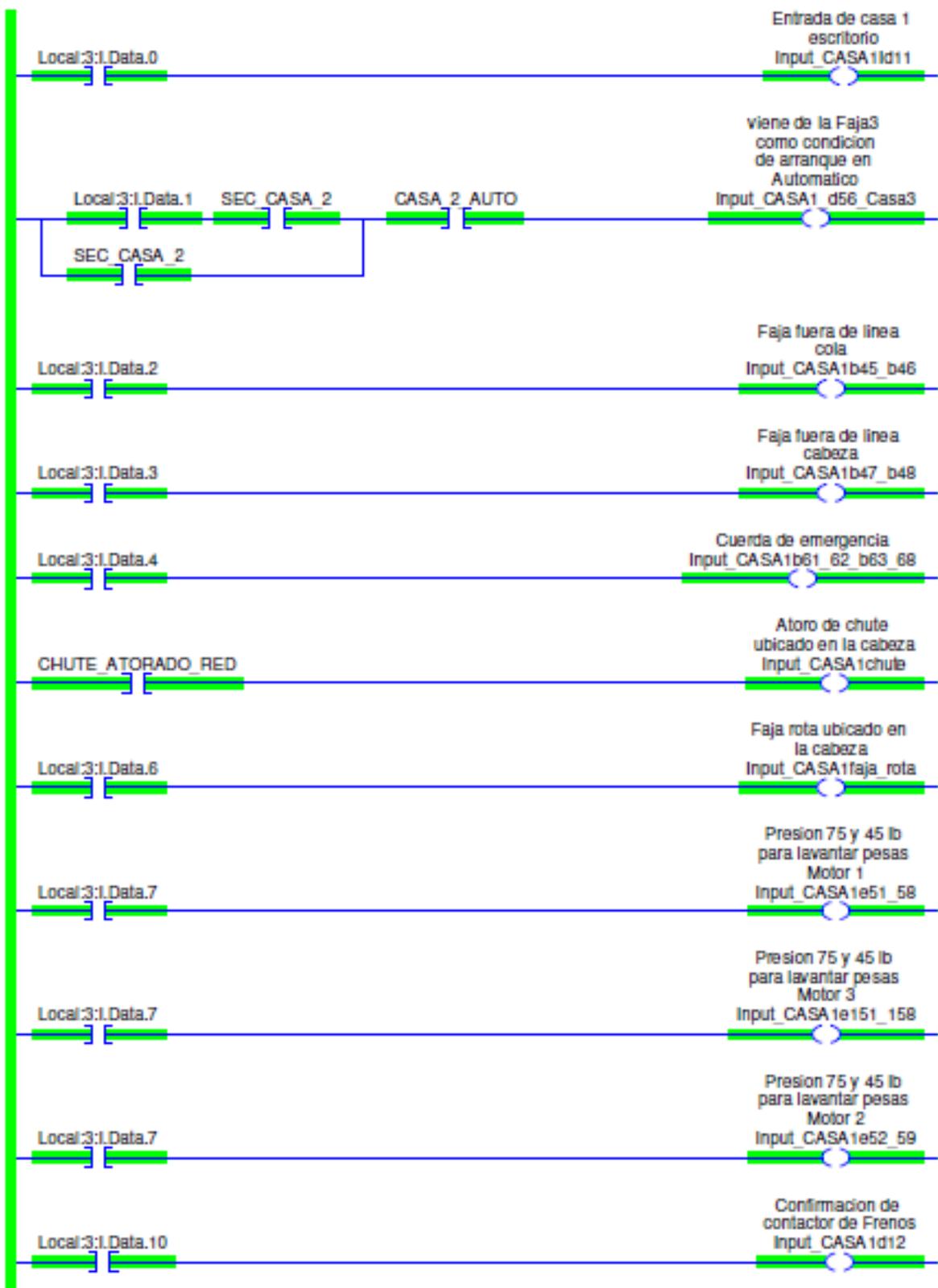
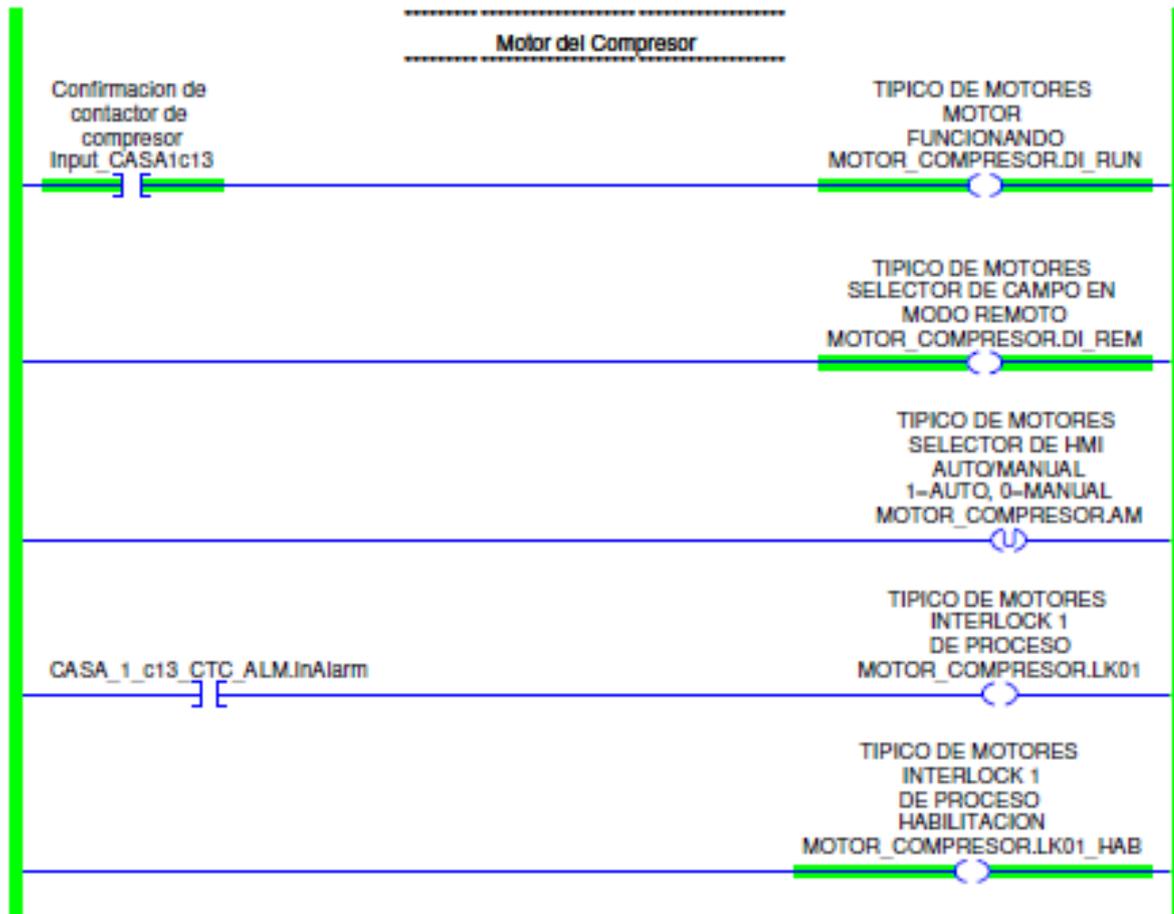


Figura B.6 Programa INPUT\_DI (Fuente: Ibídem)



Continúa...

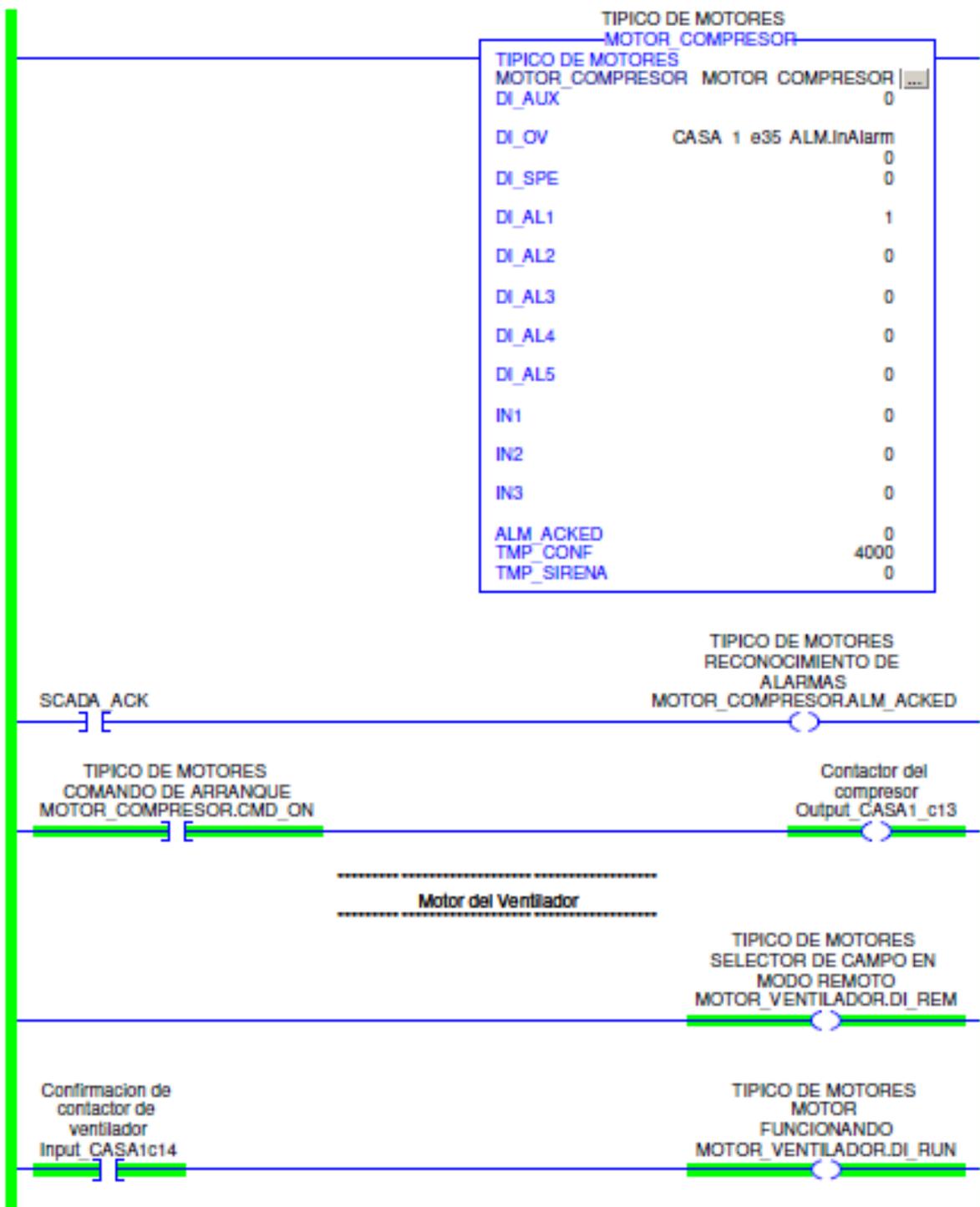


Figura B.7 Programa MOTORES (Fuente: Ibídem)

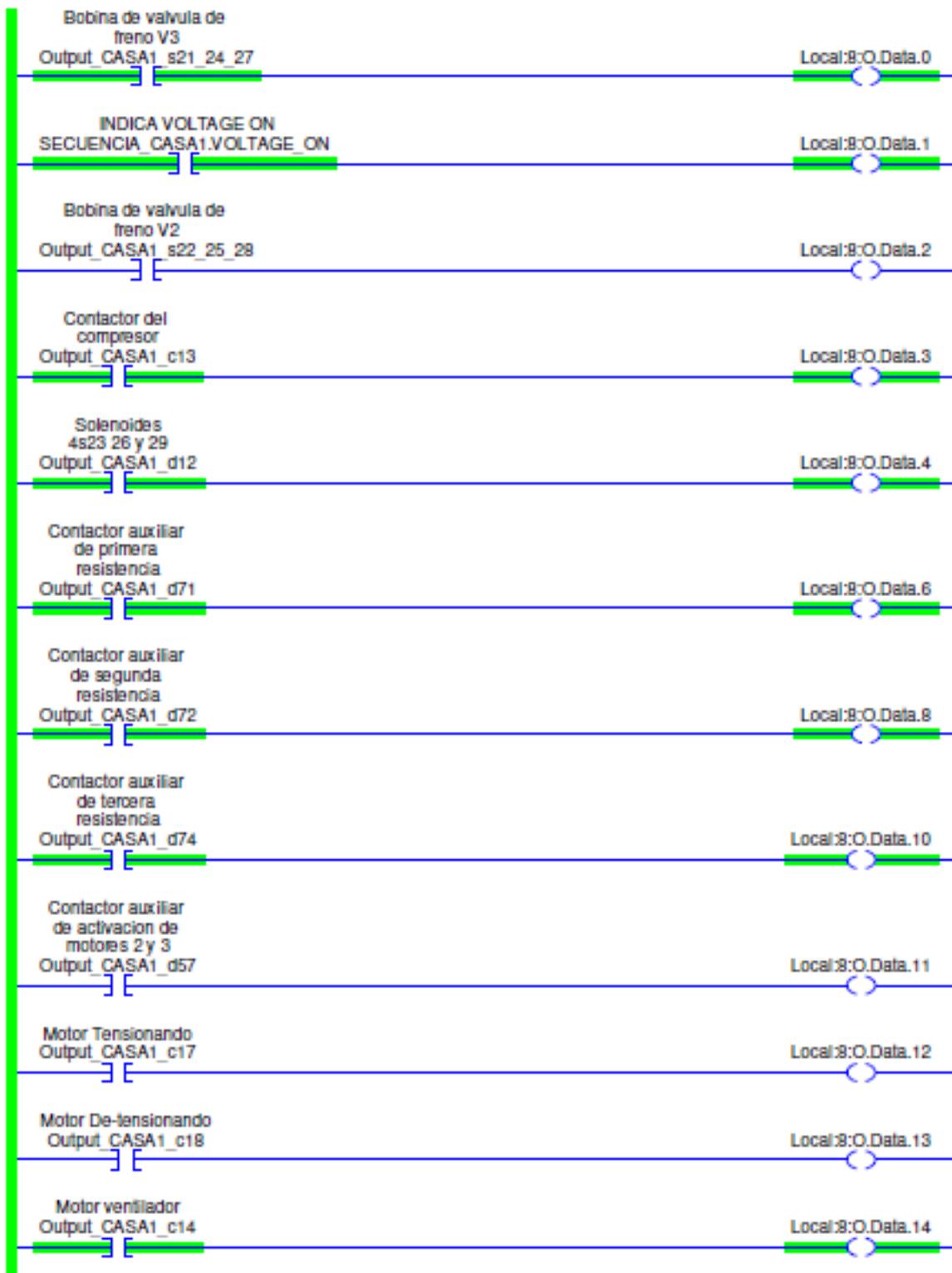


Figura B.8 Programa OUTPUT\_DI (Fuente: Ibídem)

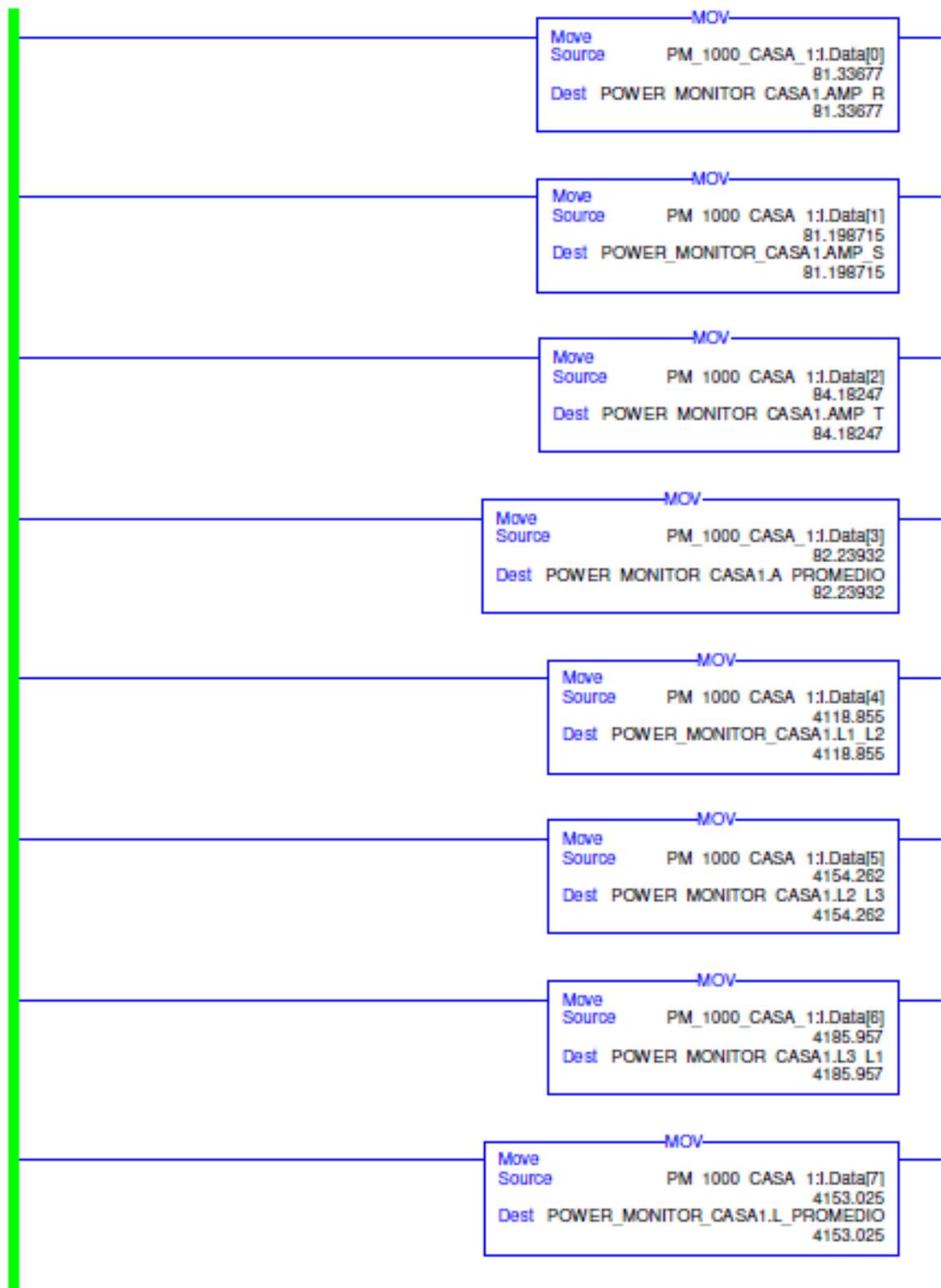


Figura B.9 Programa POWERMONITOR (Fuente: Ibídem)

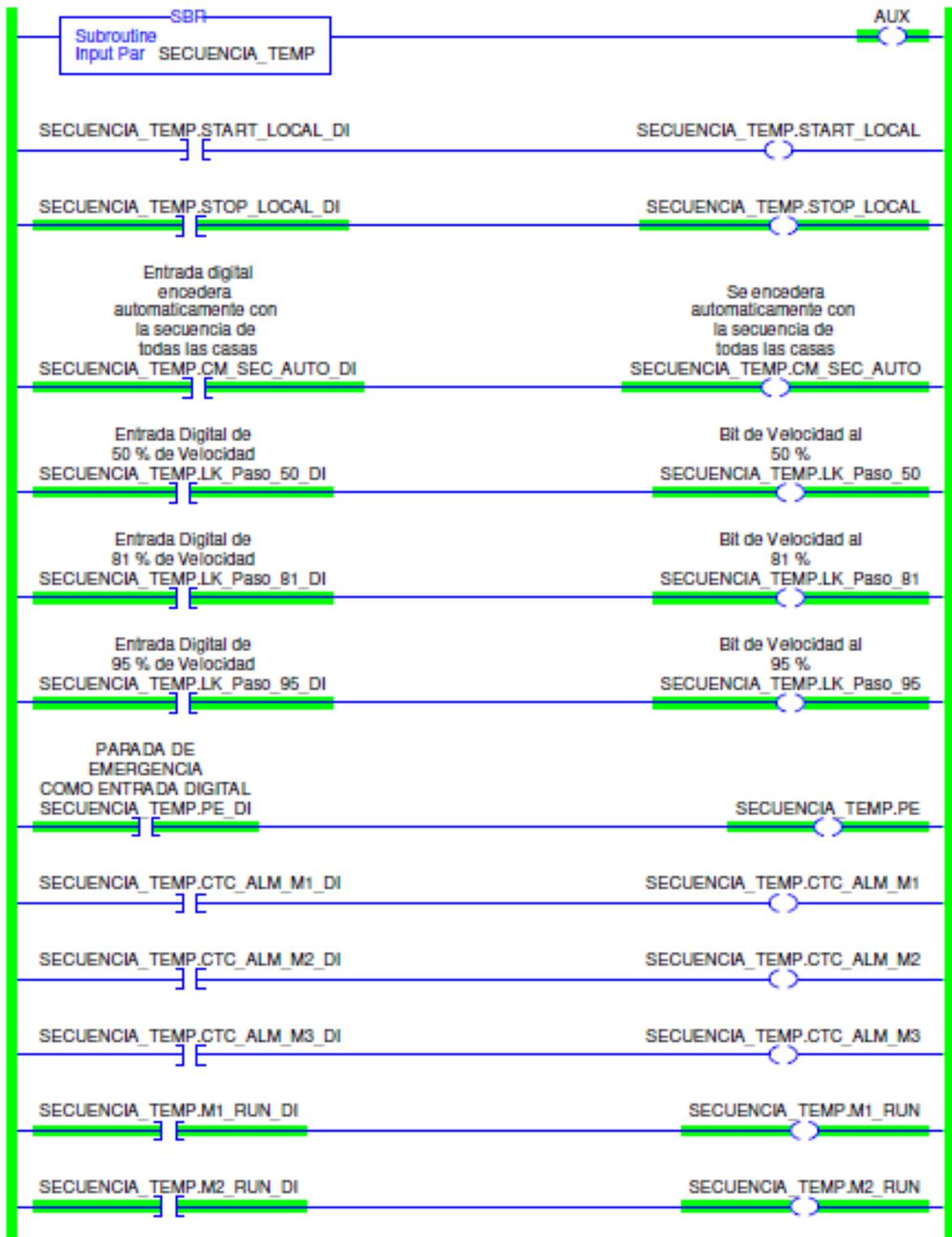


Figura B.10 Programa RUTINA\_SEC (Fuente: Ibídem)

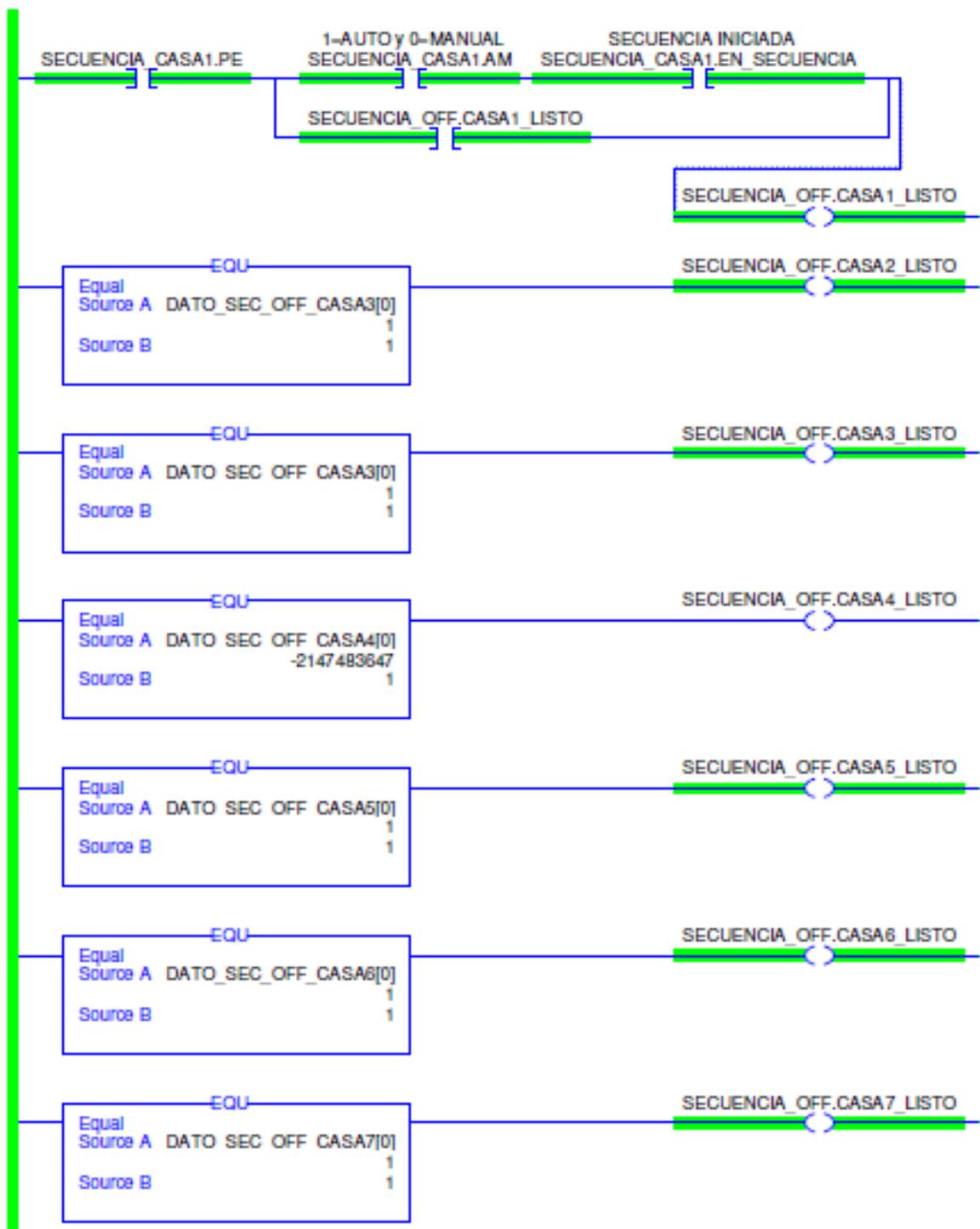


Figura B.11 Programa SECUENCIA\_APAGADO (Fuente: Ibídem)



Figura B.12 Programa SECUENCIA\_CASA (Fuente: Ibídem)

# ANEXO C: PANTALLAS SCADA FACTORY TALK VIEW

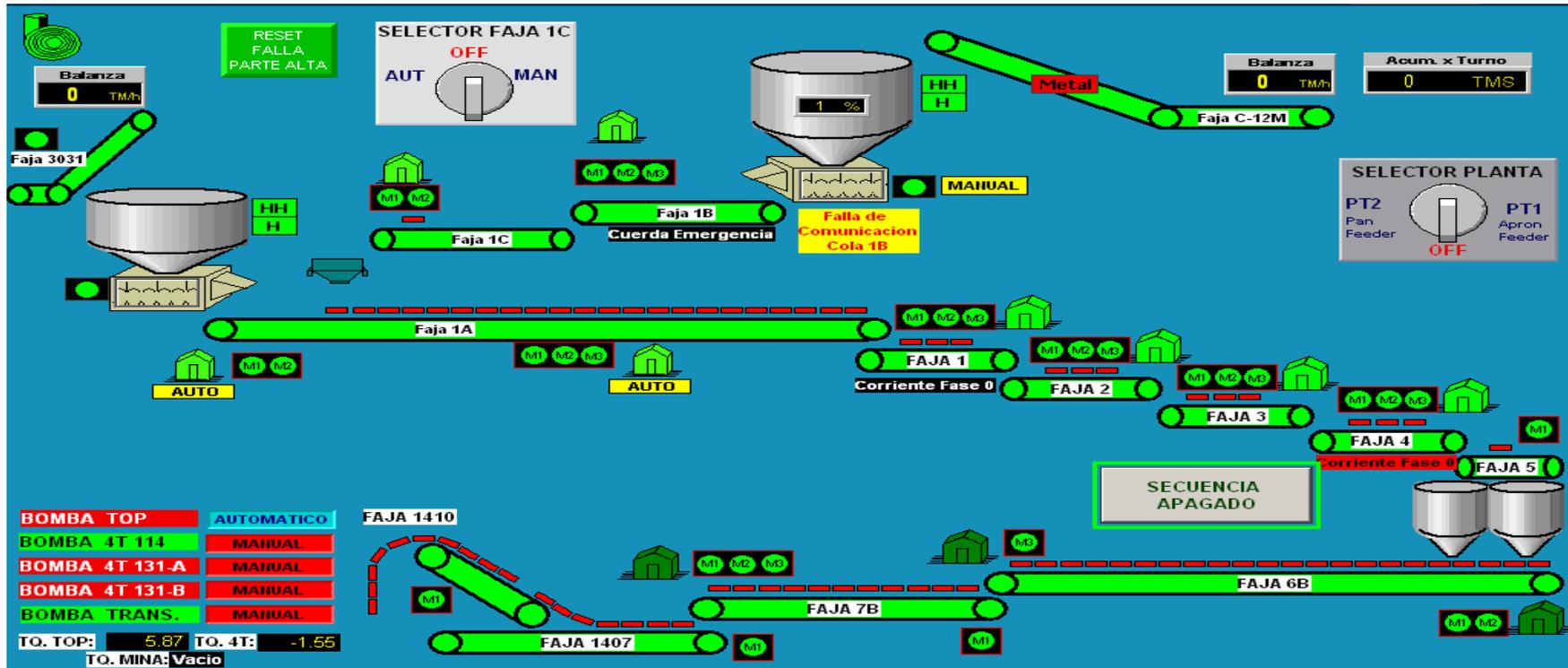


Figura C.1 Pantalla Principal (Fuente: Ref. [33])

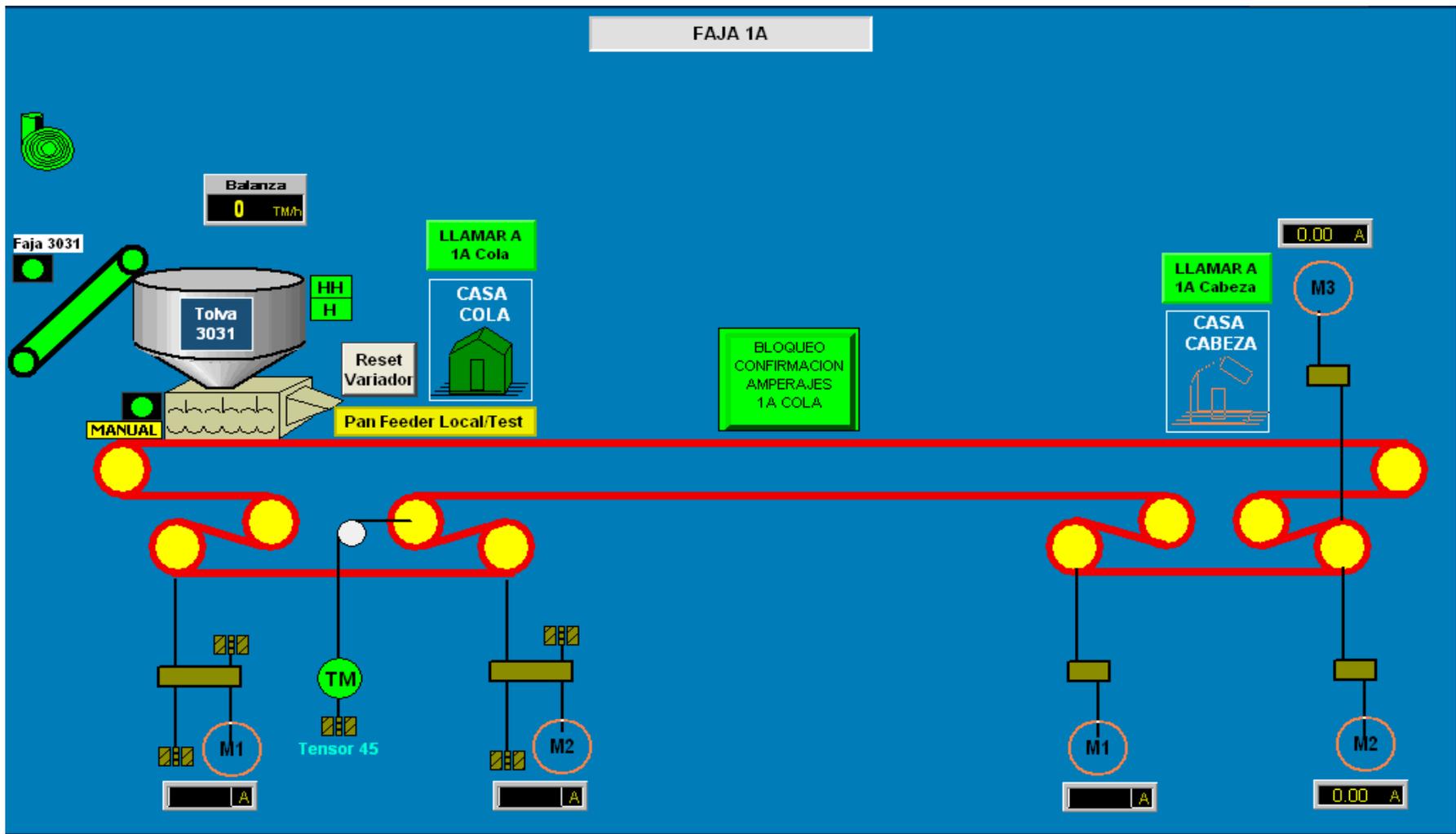
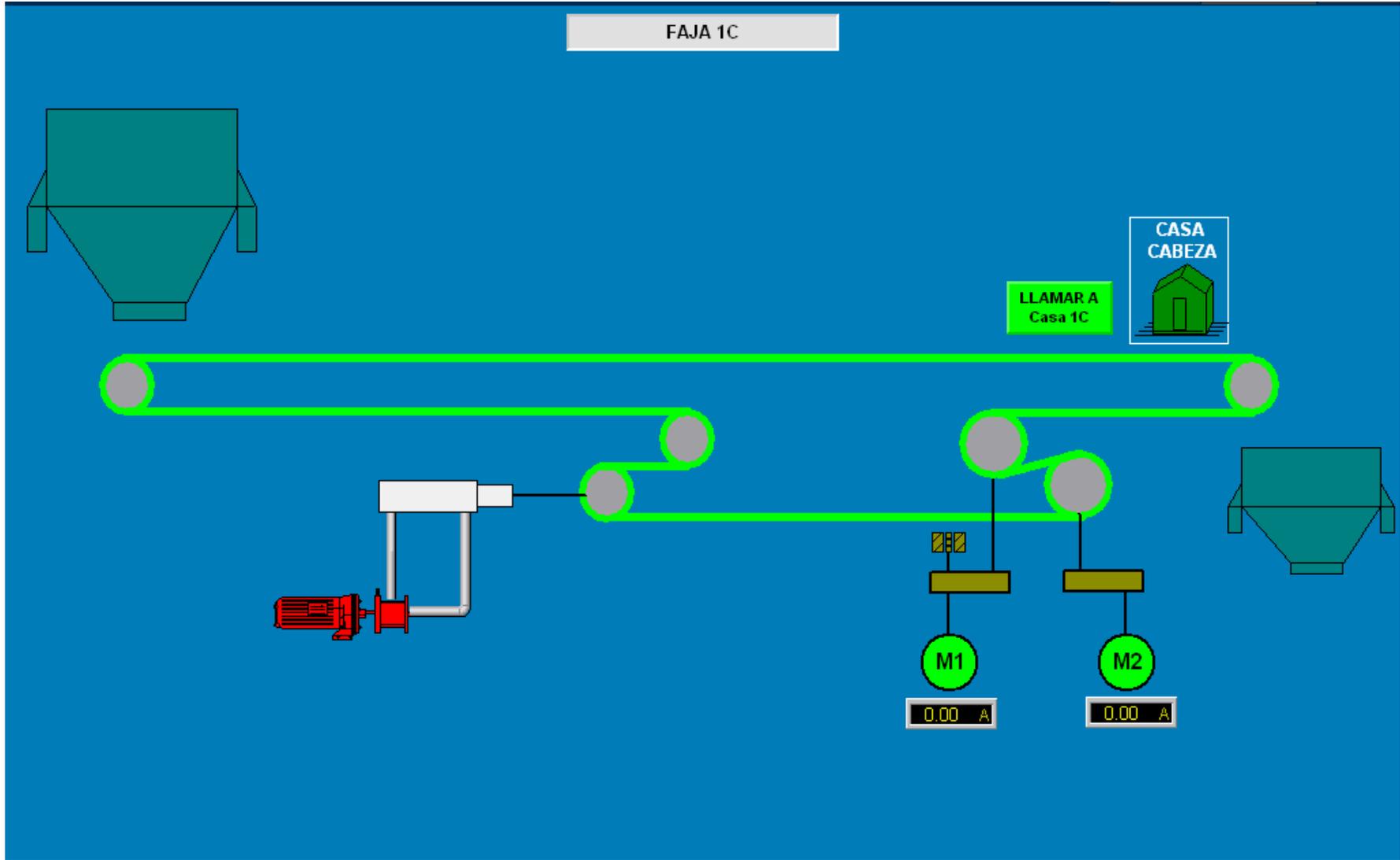


Figura C.2 Pantalla Faja 1A , Faja japonesa (Fuente: Ibídem)



Figura

C.3

Pantalla

Faja

1C

(Fuente:

Ibídem)

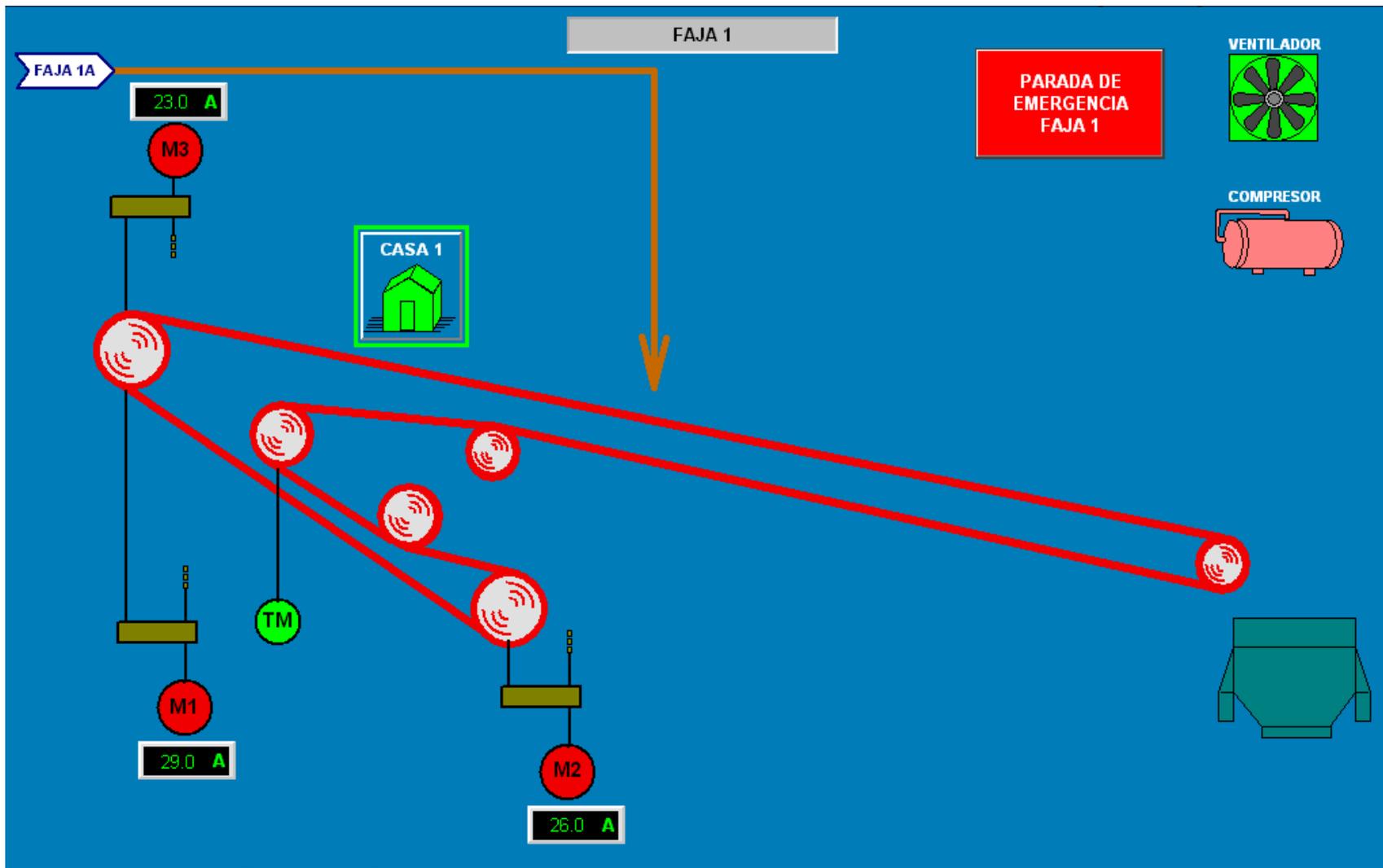


Figura C.4 Pantalla Faja 1 ,Faja alemana (Fuente: Ibídem)

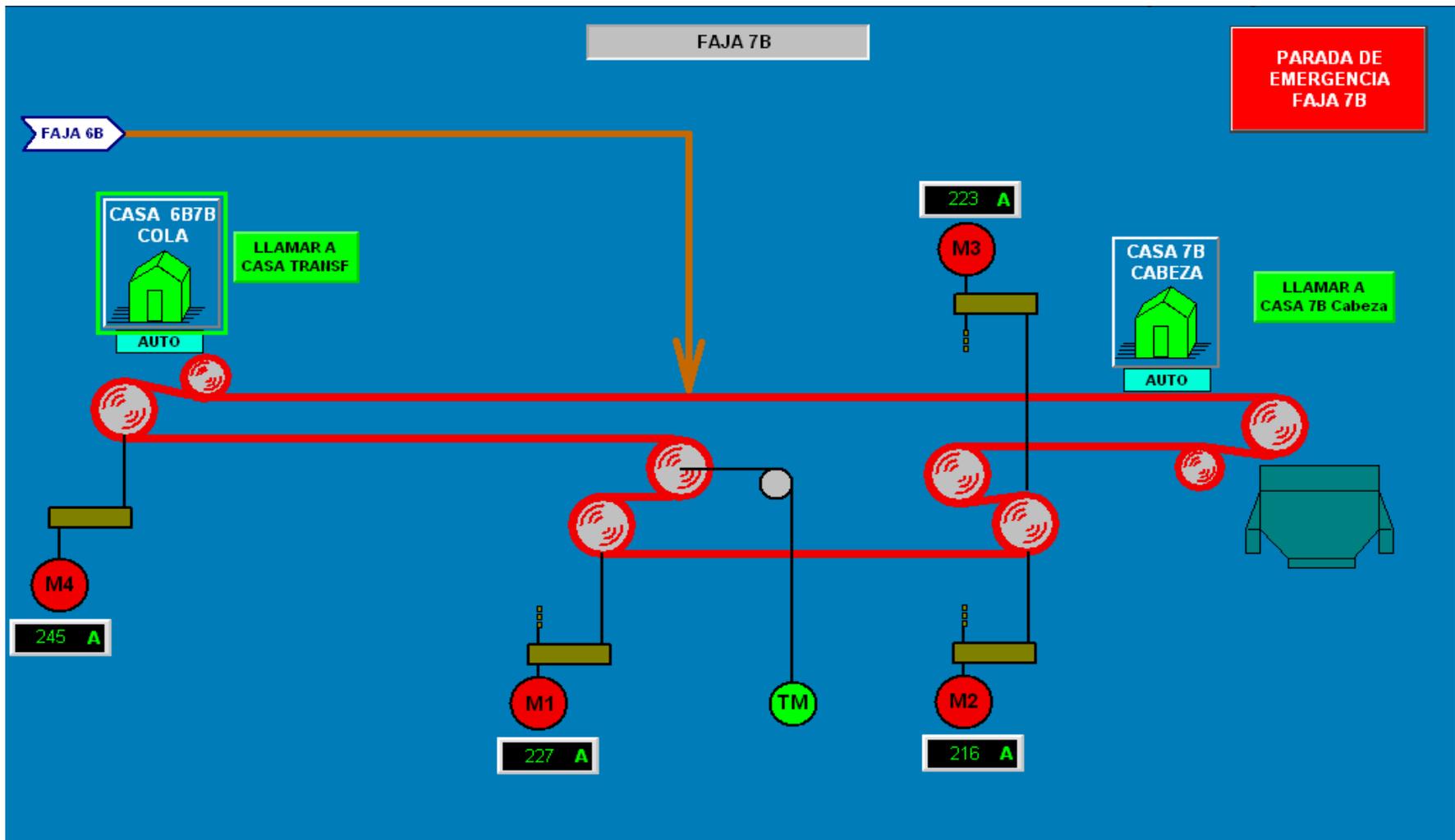


Figura C.5 Pantalla Faja 7B, faja japonesa (Fuente: Ibídem)

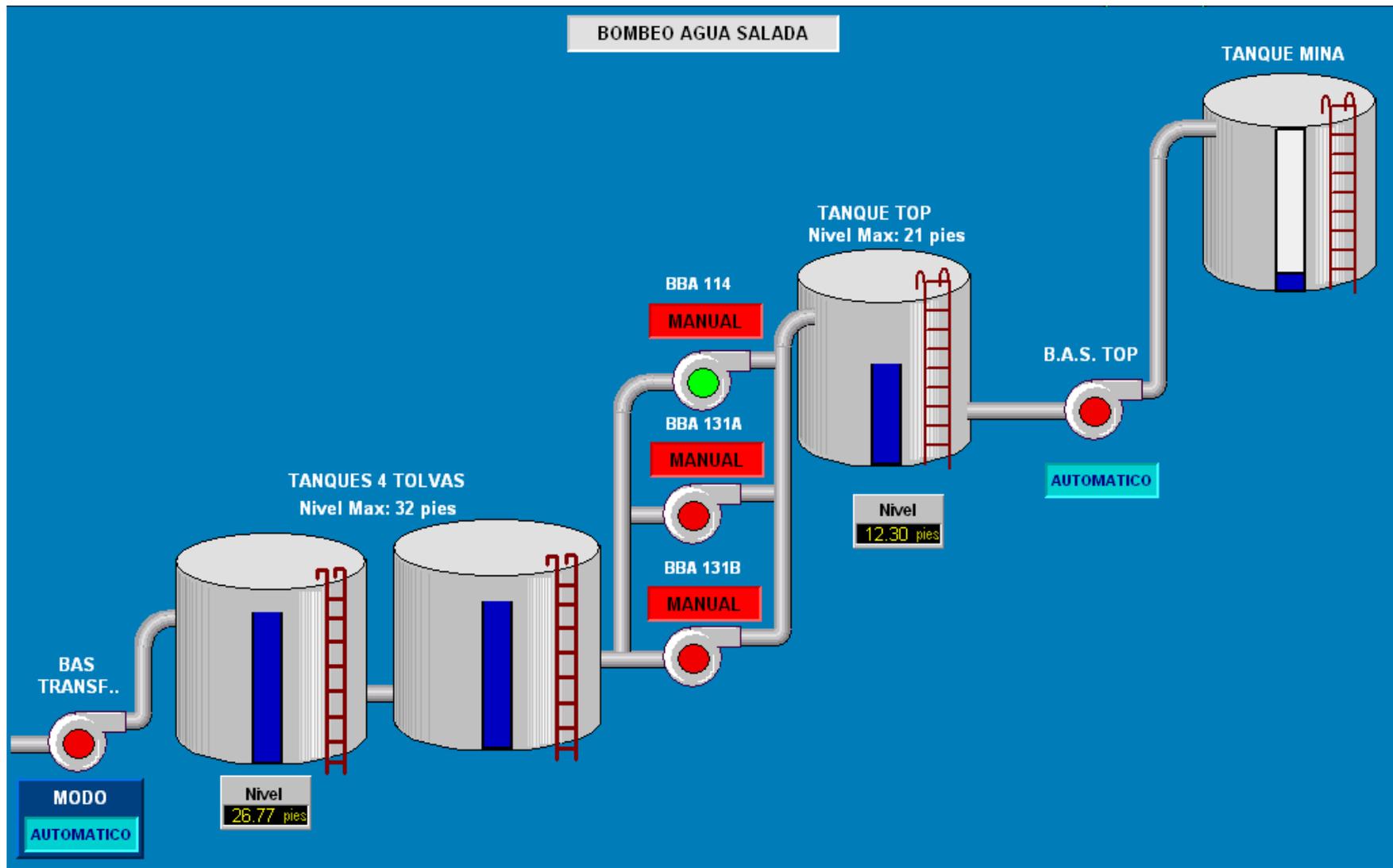
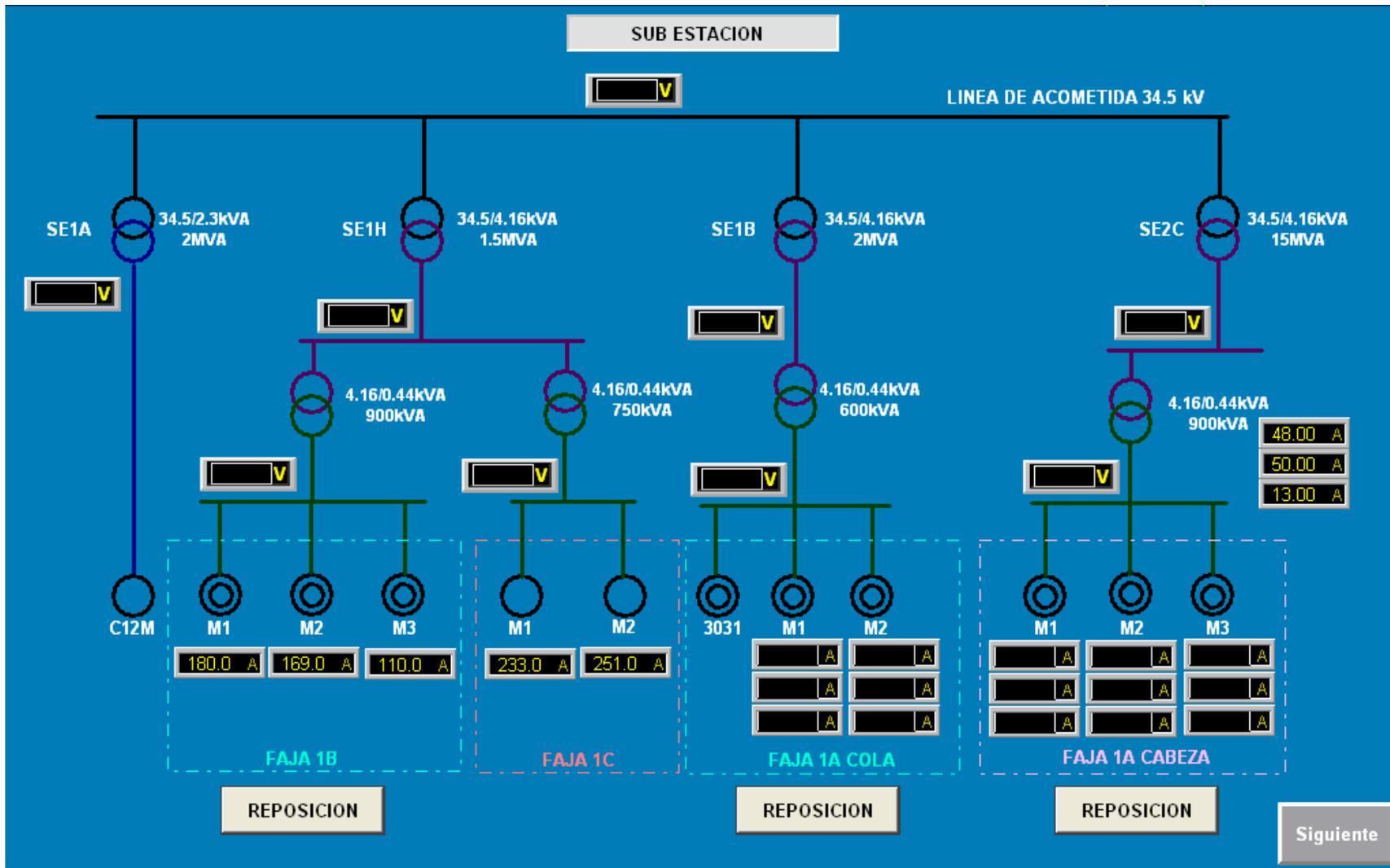


Figura C.6 Pantalla Bombeo Agua Salada (Fuente: Ibídem)



Figura

C.7

Pantalla

Sub

Estaciones

(Fuente:

Ibídem)

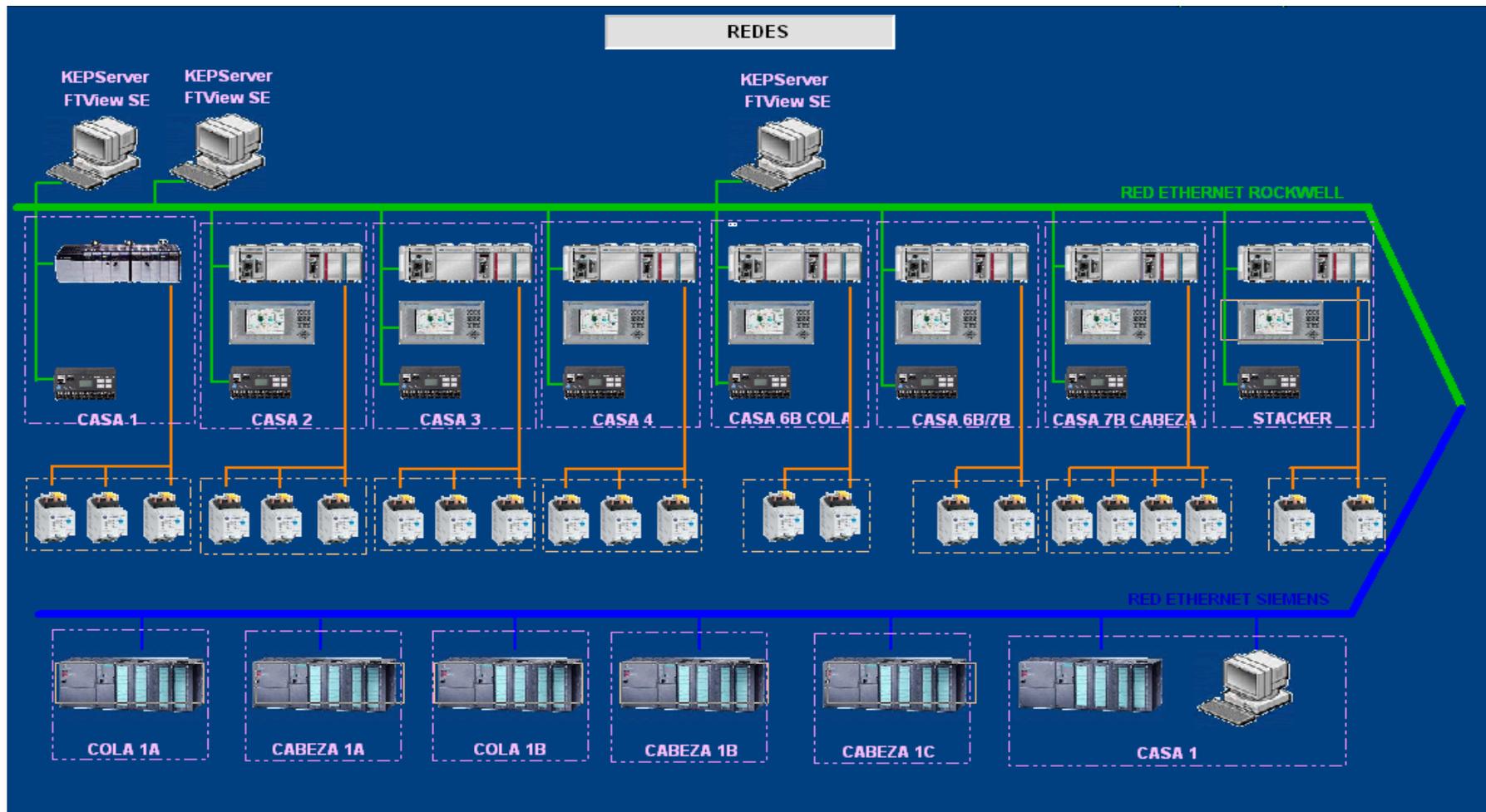
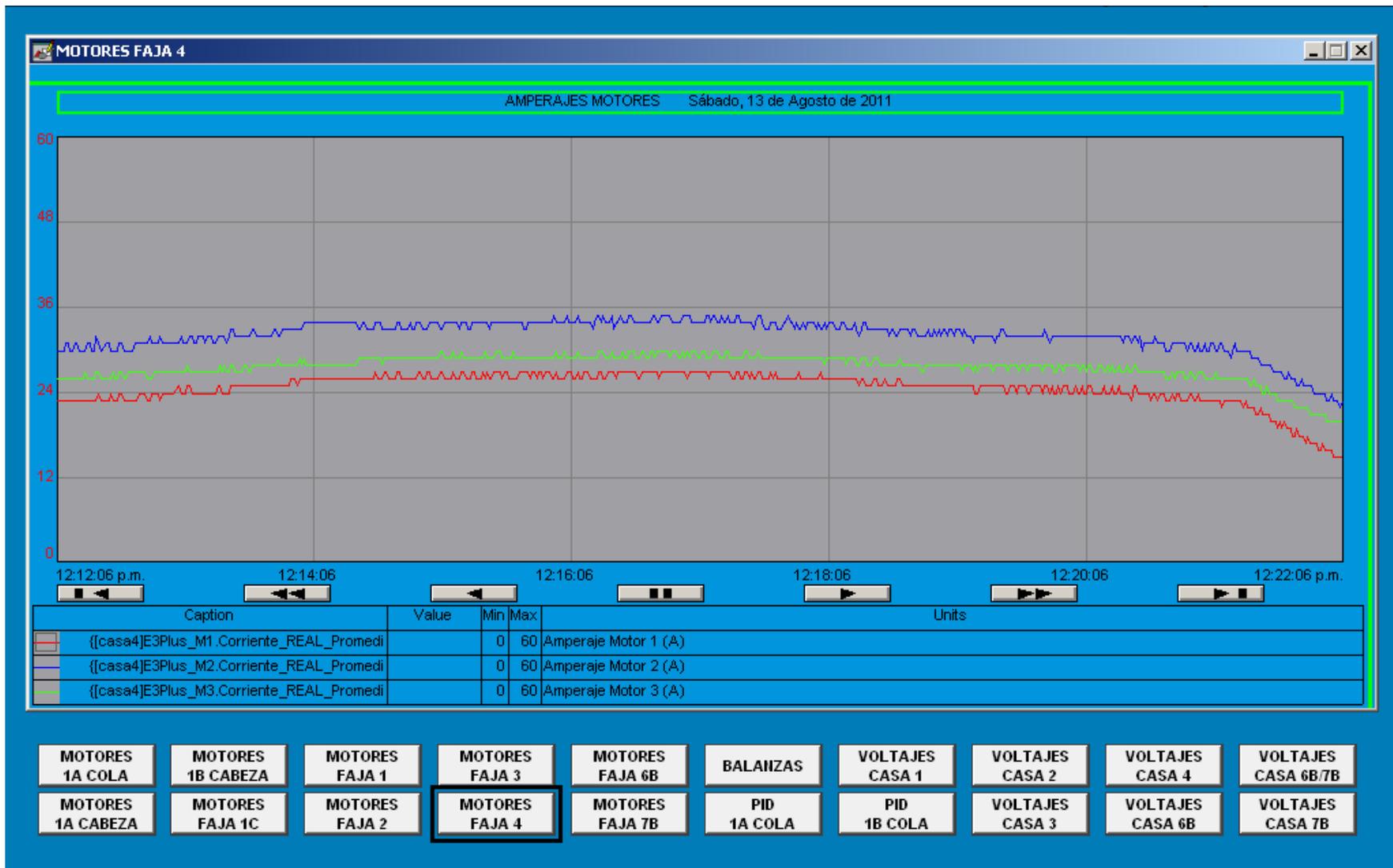


Figura C.8 Pantalla Red de comunicación (Fuente: Ibídem)



Figura

C.9

Pantalla

Históricos

(Fuente:

Ibídem)

ALARMAS		HISTORICOS ALARMAS	
DESCRIPCION DE ALARMA	FECHA	HORA	ESTADO
CASA 6B7B - FAJA 7B - COLA - VELOCIDAD DE FAJA 100%	13/08/2011	11:44:57 a.m.	Alarma Activa
Casa 1A Cola - Cuerda de Emergencia Faja 3031	13/08/2011	10:29:26 a.m.	Alarma Activa
CASA 1 - TERMICO DE COMPRESOR ACTIVADO	13/08/2011	06:10:16 a.m.	Alarma Activa

LIMPIAR    FILTRO

Figura

C.10

Pantalla

Alarmas

y

Fallas

(Fuente:

Ibídem)



Figura

C.11

Pantalla

Resumen

Casa

1

(Fuente:

Ibídem)

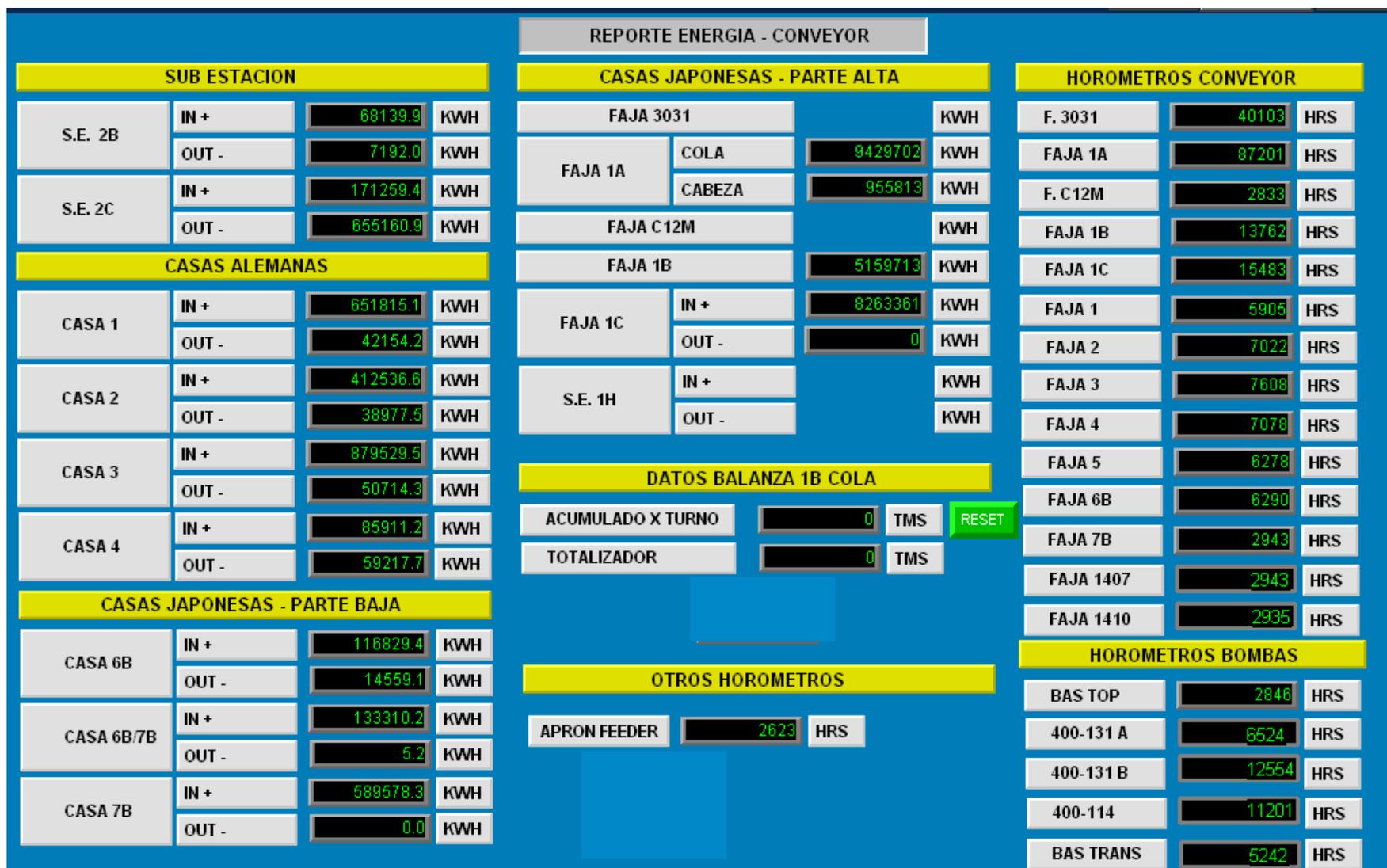


Figura C.12 Pantalla Reporte de Energía (Fuente: Ibídem)

Secuencia Arranque  
SECUENCIA DE ARRANQUE CASA 7

Cont. M1 227.0 A Cont. M3 233.0 A  
Cont. M2 232.0 A Freno

1U 2U 1A 2A 3A 4A 5A 6A 7A 8A

Alarmas y Estados

Secuencia Listo	<input checked="" type="checkbox"/>	EH SECUENCIA
Faja Aguas Abajo	<input type="checkbox"/>	PARADA EMERGENCIA DE C
Parada Emergencia	<input type="checkbox"/>	CV0N OFF
Falla Contactor M1	<input type="checkbox"/>	FALLA EN UNIDADES DE TEN
Falla Contactor M2	<input type="checkbox"/>	DESCONECTADO 1CB M1
Falla Contactor M3	<input type="checkbox"/>	DESCONECTADO 2CB M2
Falla Sobrecarga M1	<input type="checkbox"/>	DESCONECTADO 3CB M3
Falla Sobrecarga M2	<input type="checkbox"/>	INTERRUPTOR PRINCIPAL OF
Falla Sobrecarga M3	<input type="checkbox"/>	INTERRUPTOR FRENSOS OFF

BOMBAS

Bombeo Agua Salada

ARRANCAR

DETENER

MODO

AUTO OFF MANUAL

Falla Contactor

Falla Sobrecarga

COMPRESOR

Arranque Compresor

ARRANCAR

DETENER

HABILITADO

Falla Contactor

VENTILADOR

Arranque Ventilador

ARRANCAR

DETENER

Falla Contactor

Figura C.13 Sub Pantallas (Fuente: Ibídem)

CASA 6B7B - FAJA 7B - COLA - VELOCIDAD DE FAJA 100%	13/08/2011	11:44:57 a.m.	Alarm	131 8 12011 12:22:29 p		ALARMERO	
Casa 1A Cola - Cuerda de Emergencia Faja 3031	13/08/2011	10:29:26 a.m.	Alarm			REPORTES	

Figura C.14 Menú Superior

PRINCIPAL	CASA 1B	FAJA 1	FAJA 3	FAJA 5	FAJA 6B	STACKER	SUBESTACION	TENDENCIAS		Control de Usuarios
CASA 1A	CASA 1C	FAJA 2	FAJA 4	REPORTE ENERGIA	FAJA 7B	BOMBEO AGUA SALADA	REDES	HISTORICOS	AMPERAJES MOTORES	ADWANTECH-PERU1

Figura C.15 Menú Inferior (Fuente: Ibídem)

## ANEXO D : REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura D.1 Tablero de PLC Casa 7B Cabeza – CompactLogix (Ref: Elab. Prop.)



Figura D.2 Tablero de PLC Casa ControlLogix (Fuente: Ibídem)



Figura D.3 Tablero de PLC Casa 1C – Switch Scalance X-400 (Fuente: Ibídem)



Figura D.4 Tablero de control antes y después de la instalación de PLC (Fuente: Ibídem)



Figura D.5 Antenas Enlace Inalámbrico Casa 7B cabeza (Fuente: Ibídem)



Figura D.6 Apilador Stacker (Fuente: Ibídem)



Figura D.7 Faja 7B Cabeza (Fuente: Ibídem)



Figura D.8 Casa 6B / 7B (Fuente: Ibídem)



Figura D.9 Panel de Operador Allen Bradley Panel View 1500 (Fuente: Ibídem)



Figura D.10 Instalación Powermonitor (Fuente: Ibídem)



Figura D.11 Instalación Relé E3 Plus (Fuente: Ibídem)



Figura D.12 Montaje Tablero Fibra - Ethernet (Fuente: Ibídem)



Figura D.13 Casa 4 (Fuente: Ibídem)



Figura D.14 Faja 4 (Fuente: Ibídem)



Figura D.15 Casa 1 Master (Fuente: Ibídem)



Figura D.16 Sistema SCADA Casa 1 (Fuente: Ibídem)



Figura D.17 Casa 1A Cabeza (Fuente: Ibídem)



Figura D.18 Panel de Operador Siemens OP77B (Fuente: Ibídem)



Figura D.19 Sistema SCADA Casa 1C Cabeza (Fuente: Ibídem)



Figura D.20 Instalación Simocode (Fuente: Ibídem)



Figura D.21 Nodo Central – Red Ethernet Parte Alta (Fuente: Ibídem)



Figura D.22 Instalaciones Sistema Conveyor (Fuente: Ibídem)



Figura D.23 Instalaciones Sistema Conveyor (Fuente: Ibídem)



Figura D.24 Instalaciones Sistema Conveyor (Fuente: Ibídem)



Figura D.25 Instalaciones Sistema Conveyor (Fuente: Ibídem)

# BIBLIOGRAFÍA

Marcona Digital, Revista Electrónica “El Faro de Marcona” y “Revista Hierro Perú”.  
<http://www.marconadigital.net/historia.htm>.

Elaboración Propia basada en perfil elevación Conveyor – Jefatura Topografía Mina.

Elaboración Propia basada en Diagrama de Flujo Área Mina.

Planos Eléctricos de Sistema Telecontrol – Jefatura de Mantenimiento Eléctrico Mina.

Siemens, “DVD Simatic Manual Collection – Manuales Electrónicos – Simatic Documentación”, 2005.

Captura de pantalla del Software STEP 7 V5.3.

Siemens SAC, “Cotización N° A&C-005254.06 – Sistema de control Faja”.

Siemens, Manual SIMATIC NET S7 para Industrial Ethernet, Edición 2003, Figura 5.1, Pág. 5-5.

Siemens., “CD Documentación SIMATIC Wincc V6.0 SP4, Simatic HMI”, 2005.

Captura de pantalla del Software SoftNET.

SOCOMEK, “Folleto de Relé Multifunción Diris A40/A41”.

SIEMENS, “Folleto de Simocode Pro-V”.

THERMO, “Folleto Series Ramsey Micro-Tech 3000, Instrumentos electrónicos para pesaje dinámico”.

Siemens, “Sirius Motor Management, System Manual Edition 03/2006”, 2006.

Siemens, “Sirius 3RW44 Soft Start Manual”, 2006.

Tecsup Virtual, “Curso: Redes Industriales con PLC”.

Bodgan M. Wilamowski – J. David Irwin, “Industrial Communications Systems – The Industrial Electronics Handbook”, figura 36.2, p. 36-3.

Siemens, “Comunicación Ethernet Industrial, Simatic Net Scalance X”, 2005.

Allen Bradley, “Literature Library” 2011.

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse\\_category.hcst](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_category.hcst).

Captura de pantalla del Software RSLogix 5000.

Tecnet Ibermática. “Alcance de provisión (cotización) N° 36.110”.

Captura de pantalla del Software RSLinx Classic.

Captura de pantalla del Software Factory Talk View Studio.

Captura de pantalla del Software KEPServer Enterprise.

Captura de pantalla del Software RSNetWorx for DeviceNet.

HMS, “Ethernet/IP Industrial Ethernet protocol summary”.

<http://www.hms.se/technologies/ethernetip.shtml>.

Siemens SAC, Orden de compra N° 77499 y Q3227.

Siemens SAC, Orden de compra N° R2932.

Tecnet Ibermática, Orden de compra N° 71250, Proyecto Llave en Mano.

Shougang Hierro Perú S.A.A., Recopilación de datos del “Reporte Anual de Performance de Equipos”, años 2000 al 2010 – Jefatura de Performance Mina.

Captura de pantalla programa PLC, Casa 1A cola. Software STEP 7.

Captura de pantalla programa PLC, Casa 1. Software RSLogix5000.

Captura pantalla software SCADA Factory Talk View de la solución.