

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

**Propuesta de subsistema para fiscalizar la llegada
completa de un tren a una estación**

Autor: Reinaldo Salazar Díaz

Tutor: Ing. Héctor Villar Martínez

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Propuesta de subsistema para fiscalizar la llegada completa de un tren a una estación

Autor: Reinaldo Salazar Díaz

E-mail: rsalazar@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Héctor Villar Martínez

Dirección de Inversiones, Empresa Ferrocarriles de Centro

E-mail: invertc@sicen.ferromet.cu

Consultante: Ing. Rubén Eduardo Carlés Barrero

Dpto. de Automática, Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV

Facultad de Ing. Eléctrica. UCLV

E-mail: ruben_eduardo@uclv.edu.cu

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Reinaldo Salazar Díaz

Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Héctor Villar Martínez,
Ing.Tutor

Boris Luis Martínez Jiménez,
Dr.C. Jefe de Departamento

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Si quieres ser sabio, aprende a interrogar razonablemente, a escuchar con atención, a responder serenamente y a callar cuando no tengas nada que decir.

Johann Kaspar Lavater

Queda prohibido no sonreír a los problemas, no luchar por lo que quieres, abandonarlo todo por miedo, no convertir en realidad tus sueños.

Pablo Neruda

DEDICATORIA

A mis padres.

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, por darme la vida y los medios para vivirla, por ser cómplice de mis noches de desvelo y estar siempre pendiente de mí, por apoyarme desde pequeño en cada tarea que tuve con amor y paciencia, por exigir de mí cada día un poco más y confiar en que llegaría hasta aquí. Le agradezco por ser para mí, ejemplo e inspiración como padre y como profesional.

A mi mamá por ser tan buena, por motivarme y enseñarme a tomar buenas decisiones, por sus consejos, sus regaños y el amor con el que ha hecho de mí un hombre mejor.

A Carracedo mil gracias por extenderme una mano en lo que me gusta hacer, por no tener un no como respuesta y estar dispuesto a ayudarme sin importar la hora o el lugar. Gracias por compartir conmigo un poco de ese gran conocimiento que tienes y por creer en mí.

A Amy, por ser mi novia linda, mi amiga, mi hermana y estar siempre a mi lado por dura y difícil que fuera la situación. Eres para mí un ejemplo a seguir y te llevo en la mente y el corazón donde quiera que vaya.

A mi hermano Chini por animarme, por ser testigo de momentos decisivos en nuestras vidas, gracias por su cariño y admiración.

A Raymara, Juan, mi tutor Rubén, por ayudarme cuando más lo he necesitado y por convertirse en personas esenciales para la realización de este trabajo de investigación.

A mis amigos de la Sals, Diosdany, Suazo, Osvaldo, Sergio, Sammy, y Robaina por estar siempre presentes, por aguantarme y compartir conmigo los 5 años más inolvidables de mi vida.

A todo aquél que puso un granito de arena en mi formación y crecimiento como persona. Hay gracias que aunque no se dan siempre llegan.

RESUMEN

Debido al incremento substancial del movimiento de trenes en Cuba, producto del proceso de modernización del ferrocarril, se hace necesario incrementar el nivel de seguridad del sistema de bloqueo semiautomático (BSA) instalado desde La Habana hasta Esperanza. En este contexto, el trabajo de investigación consiste en la propuesta de un subsistema que se acople al BSA, y compruebe de forma automática y segura, que un tren que se expide al trecho desde una estación, llegue completo a la otra, dejando libre el trecho para enviar otro tren en cualquier sentido, sin peligro de accidente. En tal sentido, se realiza el diseño del subsistema, y la selección del equipamiento que lo conforma, utilizando redundancia por hardware y software, a partir del estudio de los requerimientos de seguridad para sistemas de aplicación en el ferrocarril y la lógica de funcionamiento y arquitectura de un contador de ejes profesional. Se implementa la programación del autómata, como elemento principal del subsistema. El correcto comportamiento del mismo, ante determinadas situaciones, se corrobora mediante la simulación del programa, permitiendo evaluar el cumplimiento de los requisitos establecidos, relativos a la seguridad. Se comprueba mediante el análisis de las principales características del subsistema, su compatibilidad con el BSA.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	4
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y CONTROL EN ENTORNOS FERROVIARIOS.....	5
1.1 Señalización ferroviaria	5
1.2 Enclavamientos	7
1.2.1 Enclavamientos eléctricos.....	9
1.2.2 Enclavamientos electrónicos.....	10
1.3 Sistemas de bloqueo entre estaciones ferroviarias	10
1.3.1 Bloqueo automático en vía única.....	11
1.3.2 Bloqueo automático en vía doble.....	12
1.4 Sistema de Control de Tráfico Centralizado (CTC).....	12
1.5 Sistema de señalización y control ERTMS	13
1.5.1 Sistema ETCS	13
1.5.2 Sistema GSM-R	14

1.5.3	Ventajas del sistema ERTMS	15
1.6	Sistema de bloqueo semiautomático implementado en Cuba	15
1.6.1	Autorización de vía	16
1.6.2	Bloqueo del trecho	17
1.6.3	Liberación del trecho	17
1.6.4	Desventaja del sistema de BSA	18
1.7	Dispositivos para determinar la presencia del tren	18
1.7.1	Circuitos de vía	18
1.7.2	Contadores de ejes	19
1.7.2.1	Contador de ejes ACS2000	21
1.8	Sistemas de Protección del tren.....	23
1.8.1	Sistema ASFA.....	23
1.8.2	Sistema de ATP	23
1.9	Conclusiones Parciales.....	24
CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA		26
2.1	Requerimientos de un diseño orientado a la seguridad	26
2.2	Subsistema propuesto.....	27
2.2.1	Protecciones del subsistema.....	29
2.3	Autómata programable.....	29
2.3.1	Definición y principios de operación.....	29
2.3.2	Niveles de redundancia.....	30
2.3.3	Comunicación	32
2.3.4	Configuración del autómata.....	33
2.3.5	Características del equipamiento del autómata.....	35

2.4	Sensor de rueda RSR-123	38
2.4.1	Características técnicas	38
2.4.2	Principio de funcionamiento	38
2.5	Convertidor de señal	40
2.6	Software de desarrollo del autómata	42
2.6.1	Funciones básicas	42
2.7	Diagrama de etapa-transición: el grafcet.....	43
2.7.1	Conteo de ejes	43
2.8	Algoritmo de fiscalización	44
2.9	Principio de funcionamiento del subsistema de fiscalización automática	45
2.10	Conclusiones parciales	46
CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA Y ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA 47		
3.1	Similitudes del subsistema diseñado con respecto al ACS 2000	47
3.2	Análisis de compatibilidad del subsistema propuesto con el BSA	48
3.3	Programación del autómata.....	49
3.3.1	Configuración y creación del proyecto	49
3.3.2	Entorno de programación.....	50
3.3.3	Configuración de la señal de entrada del módulo analógico	51
3.3.4	Programa de conteo de ejes y fiscalización	52
3.4	Simulación con el autómata	53
3.5	Acondicionamiento de las señales de entrada al autómata	54
3.6	Costo económico.....	54
3.7	Impacto medioambiental.....	55
3.8	Conclusiones parciales	56

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
Conclusiones	57
Recomendaciones	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	62
Anexo I Oferta del proyecto ejecutivo.....	62
Anexo II Oferta implementación del proyecto	63
Anexo III Oferta de mantenimiento al sistema.....	64
Anexo IV Tabla de símbolos	66
Anexo V Secciones del programa.....	68
Anexo VI Programación del autómata.....	69
Anexo VII Introducción del valor de la señal de corriente del sensor	106
Anexo VIII Estado del sensor	107
Anexo IX Desactivación de los relés de salida.....	107
Anexo X Activación del Estado 1.....	108
Anexo XI Activación del Estado 2	109
Anexo XII Activación del Estado 3.....	110
Anexo XIII Activación del Estado 4.....	111
Anexo XIV Incremento del conteo.....	112
Anexo XV Activación del Estado 5.....	113
Anexo XVI Activación del Estado 6	114
Anexo XVII Activación del Estado 7	115
Anexo XVIII Activación/desactivación del Estado 8.....	116
Anexo XIX Decremento del conteo.....	117

Anexo XX	Envío de conteo	117
Anexo XXI	Detección de error	118
Anexo XXII	Envío de error	118
Anexo XXIII	Indicación de error.....	119
Anexo XXIV	Envío de desbloqueo	119
Anexo XXV	Activación de los relés de salida	120
Anexo XXVI	Simulación del convertidor.....	120

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo del ferrocarril está en un continuo avance y expansión. Cada vez más personas lo utilizan para realizar sus desplazamientos diarios a sus puestos de trabajo o bien para realizar viajes de largo recorrido (González, 2011). El transporte ferroviario presenta ventajas inigualables con respecto a otros medios de transporte. Permite transportar mayor cantidad de personas y mercancías a un coste menor que el del transporte por carretera. En el caso de usar trenes de alta velocidad, se le añade la rapidez del servicio que permite competir con los tiempos del avión. Por ello, el ferrocarril cada vez se convierte en un medio de transporte más popular (Muñoz, 2013).

El transporte por ferrocarril se ha consolidado en la última década con el establecimiento de una red transeuropea para el transporte de mercancías y viajeros bajo un marco normativo ferroviario y un sistema de gestión de tráfico que garantiza la interoperabilidad y seguridad de los trenes (Esteban, 2013). La seguridad en la circulación ferroviaria es el factor de calidad más importante para la sociedad en general, para los gobiernos de los países y para los gestores de este medio de transporte (Giol, 2013). Pocos viajeros de tren se percatan del papel fundamental que desempeña el sistema de señalización, y como hoy se le empieza a designar en Europa, sistema de mando y control, capaz de proporcionar tanto seguridad en la circulación de los trenes como su regulación, optimizando la capacidad de transporte de las líneas (León, 2007). En las redes ferroviarias de alta densidad de tráfico actualmente se cuenta con sistemas de señalización que regulan la actividad ferroviaria mediante el control y protección de los trenes, dentro de estos sistemas se encuentran los sistemas de enclavamiento electrónico, y los sistemas de bloqueo automático.

Actualmente en Cuba se prevé un incremento substancial del movimiento de trenes de carga y de pasaje, debido al proceso de modernización del ferrocarril, resultando así de gran

interés y relevancia social contribuir a elevar la seguridad en el movimiento de trenes, para evitar accidentes y ahorrarle pérdidas económicas al país. La elevada masa de los trenes implica que un accidente pueda ser una catástrofe a nivel de pérdidas humanas y materiales, por ello, el desarrollo de este tipo de transporte requiere de unas adecuadas instalaciones de señalización, control de tráfico centralizado, protección y seguridad, y sistemas auxiliares de detección del tren (Caballero, 2011).

La instalación de sistemas automáticos para el control del tráfico de trenes en las estaciones ferroviarias en el tramo Enlace del Gas (Ciudad Habana) – Esperanza (Villa Clara), cuenta con dos sistemas de señalización estrechamente relacionados: la centralización eléctrica de agujas y señales, o enclavamientos eléctricos en las estaciones, y el bloqueo semiautomático para proteger los trechos entre estaciones colindantes. Los sistemas de bloqueo son utilizados para la regulación del movimiento de los trenes en los trechos entre estaciones, donde las indicaciones semafóricas cambian de acuerdo a la situación del lugar donde se encuentra el tren (León, 2007). El sistema de bloqueo semiautomático (BSA) entre estaciones ferroviarias instalado actualmente en la vía central carece de un subsistema que realice la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación. El reglamento de operaciones de los ferrocarriles de Cuba concibe cómo los operadores, de acuerdo con los maquinistas y conductores de trenes realizan esta acción de manera visual, lo que lo convierte en un sistema carente de máxima seguridad. La seguridad es el aspecto más importante que debe caracterizar a cualquier sistema utilizado para controlar y supervisar el tráfico ferroviario (Chakraborty, 2009). A pesar de los años de explotación de este sistema, este problema no ha sido interiorizado, y menos, resuelto por la unión de ferrocarriles de Cuba. Es necesario sustituir la acción del hombre en estas funciones, teniendo en cuenta que en varias oportunidades han sucedido conatos de choques, y choques de trenes en estos tramos protegidos con BSA, provocados por errores de operadores y personal vinculado al movimiento de trenes.

El propósito de esta investigación es la propuesta de un subsistema que compruebe de forma segura, que un tren que se expide al trecho desde una estación, llegue completo a la otra, y por tanto, dicho trecho quede libre para enviar otro tren en cualquier sentido, sin peligro de accidente. El subsistema propuesto sería de aplicación en la vía central de los ferrocarriles de Cuba, desde La Habana hasta Esperanza, que es, por el momento, el tramo

que opera con BSA. Pero en el futuro, cuando el desarrollo del proceso inversionista que se lleva a cabo en Cuba lo permita, sería aplicable a todas las vías férreas que sean automatizadas.

Problema científico: El BSA no posee ningún subsistema o circuito acoplado al enclavamiento en las estaciones ferroviarias que realice la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación, en toda la red ferroviaria de Cuba. La ausencia de este subsistema atenta contra la seguridad e integridad del movimiento de trenes de carga y pasaje, y deja en manos del hombre esta tarea tan importante, provocando así errores con consecuencias catastróficas. Por tanto, es de carácter necesario diseñar un subsistema para incrementar el nivel de seguridad del BSA disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de accidentes en la circulación de trenes, y permita realizar las operaciones de fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación.

Una vez confeccionado el marco teórico, a partir de la revisión bibliográfica de los principales temas y problemáticas científicas relacionados con esta investigación, se plantea la siguiente hipótesis:

Hipótesis: *El diseño de un subsistema para realizar la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación, utilizando autómatas programables, permitirá incrementar el nivel de seguridad requerido por el sistema de bloqueo semiautomático instalado en la vía central.*

Con este trabajo de investigación se pretende cumplir los siguientes objetivos:

Objetivo general: Proponer un subsistema para realizar la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación de forma segura.

Objetivos específicos

1. Analizar los fundamentos teóricos, en la bibliografía especializada, relacionados con los sistemas de señalización y control en las redes ferroviarias.
2. Describir detalladamente el funcionamiento del BSA implementado en Cuba.
3. Plantear el equipamiento del subsistema, capaz de cumplir con los requerimientos de seguridad establecidos.

4. Elaborar programa de fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación.
5. Demostrar el cumplimiento de los requisitos del subsistema, mediante la simulación del programa en PC.

Organización del informe

El informe de la investigación está formado por la introducción, el desarrollo organizado en tres capítulos, las conclusiones, seguido de las recomendaciones, y finalmente, las referencias bibliográficas y anexos correspondientes.

En el primer capítulo se realiza la caracterización de los sistemas de señalización ferroviaria, así como el funcionamiento de los sistemas de centralización en las estaciones y los bloqueos automáticos entre estaciones. Además, se describe el funcionamiento del BSA implementado en Cuba.

En el capítulo dos se definen las técnicas empleadas para la realización de un diseño orientado a la seguridad, basadas en el análisis de los campos de aplicación y configuraciones de autómatas programables para aplicaciones de alta disponibilidad, tomando como modelo la arquitectura de un sistema contador de ejes profesional. Se realiza la propuesta de subsistema y se elabora el algoritmo de fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación.

En el capítulo tres se realiza la discusión de los resultados de la investigación, partiendo de los requerimientos de seguridad. Se realiza la programación del autómata con el CX-Programmer, que es el software de programación de los autómatas Omron. Se comprueba el correcto funcionamiento del programa de conteo de ejes a través de la simulación con CX-Simulator. Se analiza la compatibilidad del diseño con el sistema de BSA y la efectividad del mismo en realizar la fiscalización de la llegada completa del tren a la estación.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y CONTROL EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En este capítulo se describe el funcionamiento de los sistemas más importantes de señalización ferroviaria, los cuales supervisan y controlan la seguridad del movimiento de trenes, tales como los sistemas de centralización, enclavamientos en estaciones, y bloqueos de secciones de vía. Se analizan algunos conceptos en materia de señalización ferroviaria relacionados con el tema de la seguridad. Se caracterizan algunos de los sistemas de protección y control de tráfico ferroviario existentes en el mundo. Además, se abordan aspectos importantes relativos al funcionamiento del sistema de bloqueo entre estaciones implementado en Cuba, sus principales desventajas, y deficiencias.

1.1 Señalización ferroviaria

La señalización ferroviaria se define como el conjunto de sistemas de regulación, mando y control para la circulación segura del tráfico de trenes (Matos, 2013a). Es una aplicación de alta seguridad y disponibilidad (Herranz, 2009). La señalización define el funcionamiento de cada uno de los elementos que se encuentran en las instalaciones ferroviarias, que pueden estar en las estaciones, en los trechos, en los trenes y, en puestos de centralización (Vicente and Arribas, 2010).

Es el conjunto de todos los sistemas y soluciones de control ideados e instalados en una red ferroviaria, para responder fundamentalmente a la necesidad de (Matos, 2013a; Martínez, 2009):

- Mantener una distancia de seguridad entre dos trenes consecutivos circulando por la misma vía.
- Posibilitar la circulación de trenes en vías de doble sentido de circulación, en sentido contrario, en condiciones de seguridad.
- Regular el movimiento de los trenes, de acuerdo con la densidad de tráfico y la velocidad exigida.
- Disminuir los tiempos de preparación de rutas en las estaciones.
- Controlar el estado de ocupación de las vías en las estaciones y la posición de sus agujas.

Para ejecutar la regulación de la secuencia entre trenes se dispone, en la estación y en el trayecto, de señales. Estas señales dan la orden de marcha al tren, es decir, cada señal protege una sección de vía, y el aspecto que muestra al maquinista indica la autorización que se da para avanzar en la sección protegida. El avance del tren se realiza conforme al aspecto que la señal ofrece al Maquinista, que es fruto de la condición de seguridad de las instalaciones correspondientes al enclavamiento y el bloqueo.

La cantidad de señales que se disponen en un trayecto depende de la capacidad de la línea y, por tanto, permite una secuencia de trenes en su recorrido. Además, las señales se definen para proteger al tren que las rebasa (Vicente and Arribas, 2010).

El nacimiento de la señalización está estrechamente unido a la aparición del ferrocarril. Desde un primer momento fue necesario disponer de unos “policías ferroviarios” (guardavías) que, conociendo dónde estaban los trenes, autorizaran su puesta en circulación. Las primeras señales empleadas fueron indicaciones realizadas por el guardavías a los trenes mediante banderas. Pero la creciente demanda de este medio de transporte, y el consiguiente aumento del número de trenes en circulación, reveló la insuficiencia de este sistema (León, 2007).

Con los primeros trenes se seguía una política de separación horaria para garantizar la seguridad. El libro horario contenía las horas a las que debían partir los trenes de las distintas líneas. Como el número de trenes era todavía reducido, la simple separación

horaria aseguraba que no coincidieran simultáneamente distintos trenes en un mismo trecho y evitaba el peligro de accidente. Al aumentar la velocidad de los trenes, junto a la capacidad de transporte, peso y longitud de los mismos, aumenta la necesidad de control (Escribano, 2008).

Además de la calidad de la infraestructura y los trenes (buen diseño, construcción, mantenimiento) es necesario la seguridad de circulación, o sea, evitar que los trenes choquen (Martínez and Agosta, 2008).

Como respuesta a la necesidad de seguridad en las circulaciones surgen los sistemas de señalización, mando y control (Escribano, 2008).

1.2 Enclavamientos

El enclavamiento es un conjunto de dependencias eléctricas y lógicas que, en el ámbito geográfico de una estación, o, en dependencia de su desarrollo vial, ejecuta automáticamente las órdenes de control, supervisión y control de las instalaciones o dispositivos de campo en el patio de la estación (Fuentes, 2013), recepción y expedición de trenes, maniobras, liberaciones de rutas y demás acciones imprescindibles para el correcto funcionamiento de la totalidad de los dispositivos de señalización ferroviaria dispuestos bajo su control, así como de los sistemas auxiliares que en cada caso hayan de considerarse, en cumplimiento de la funcionalidad establecida en el correspondiente expediente técnico de la estación (Montes León, 2011).

Controla la seguridad en la circulación de trenes por las estaciones (Escribano, 2008; Fuentes, 2013; Vicente and Arribas, 2010). Es el sistema fundamental en cuanto a la seguridad de la circulación (Fuentes, 2013). Sus principios de diseño son: seguridad, normalización, robustez, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, de operación y de integración (Lavín, 2009).

Los patios se dividen en secciones de vías y de agujas, en las que debido a la aplicación de una tecnología denominada circuitos de vía (CV), se hace posible detectar si están ocupadas o no por un tren. De esta manera se puede conocer la posición de todos los trenes en cada momento. El enclavamiento recibe periódicamente información del estado de los elementos

de campo: posición de las distintas agujas, estado de ocupación de los distintos circuitos de vía e indicaciones semafóricas fundamentalmente (Escribano, 2008; Fuentes, 2013). Su función básica es el control de los elementos de campo (Lavín, 2009). Una vez que los elementos de campo están en el estado deseado, el enclavamiento recibe comprobaciones de que los cambios se han realizado correctamente. En el momento que las comprobaciones de que todos los elementos están en el estado adecuado para llevarse a cabo el itinerario, el sistema enclava la ruta para que ningún elemento pueda cambiar su estado mientras pasa el tren (Lavín, 2009).

Se encuentran en grandes salas dentro de las estaciones desde donde reciben toda la información concerniente al tramo de vía que gestionan (ocupación de secciones de vía, estado de las señales, posición de las agujas, salidas y llegadas a las estaciones, etc.), la procesan y la envían al centro de control de tráfico. Todas las órdenes o cambios de órdenes que se reciben en una línea deben ser validados por el enclavamiento (Fuentes, 2013). Una línea ferroviaria queda definida por un conjunto de estaciones (Vicente and Arribas, 2010).

La operación sobre el enclavamiento puede realizarse de forma local, desde un pupitre de mando del operador en una estación y de forma remota desde los centros de Control de Tráfico Centralizado (CTC) (Montes León, 2011).

Desde un puesto de mando local o remoto se gestiona el tráfico de trenes por la estación, elaborando en cada momento las rutas requeridas. El enclavamiento lleva a cabo el proceso de establecimiento y disolución de cada ruta que se solicita, lo que asegura se realice de manera completamente segura, permitiendo así los posibles movimientos que puede realizar el tren (Escribano, 2008; Lavín, 2009). Relaciona físicamente las posiciones de los desvíos con las señales que protegen o autorizan las rutas sobre los mismos. Comprueba que la ruta que se va a establecer no sea compatible con ninguna otra ruta ya autorizada que pudiera implicar un peligro de colisión entre trenes. Si existe compatibilidad se anula el proceso de establecimiento. Si no, se elabora la ruta maniobrando las agujas necesarias a la posición adecuada, enclavándolas y modificando el aspecto de la señal o señales necesarias para autorizar el recorrido del tren.

El enclavamiento constituye un elemento vital para la seguridad al impedir la formación de rutas y la autorización de movimientos entre trenes con itinerarios conflictivos (León, 2007). Cuando un elemento se enclava significa que no puede ser maniobrado por ningún procedimiento eléctrico o manual mientras persista el enclavamiento. Al enclavar una ruta, queda fijada, esto impide realizar el cambio de la posición de las agujas y el estado de las señales hasta que no sea disuelta. La disolución se produce progresivamente y de forma automática a medida que el tren avanza por la ruta. También existen procedimientos de disolución artificial y de emergencia (Escribano, 2008).

Según la tecnología empleada, los sistemas de enclavamientos se clasifican en (Montes León, 2011):

- **Enclavamientos mecánicos:** sus dependencias se basan en la utilización de llaves, palancas y levas, siendo la transmisión de la posición de agujas y señales generalmente mecánica.
- **Enclavamientos eléctricos:** utilizan lógica de relés, y según la arquitectura empleada reciben diferentes denominaciones: modulares, cableado libre.
- **Enclavamientos electrónicos (ENCE):** basados fundamentalmente en el uso de ordenadores y microprocesadores.

1.2.1 Enclavamientos eléctricos

Los enclavamientos eléctricos son la evolución natural de los enclavamientos mecánicos, y son los que actualmente se encuentran instalados en Cuba. Las señales mecánicas se sustituyen por señales semafóricas, se dota a las agujas de motor eléctrico y dispositivos de control de su posición. De esta manera desaparecen las palancas de accionamiento de los dispositivos de campo y se sustituyen por relés vitales. Existen relés vitales de potencia para actuar sobre los elementos de campo, modificando su estado (Lavín, 2009). Existen relés vitales de enclavamiento que cumplen una función de tipo lógica. Los circuitos a base de relés de enclavamiento impiden actuar sobre los distintos elementos de campo, siempre que no se cumpla alguna de las condiciones de seguridad necesarias (Escribano, 2008; León, 2007). En este tipo de enclavamiento, a cada itinerario se le asocia un relé. A través

de las características magnéticas de estos relés, se establecen los itinerarios y se genera la lógica de compatibilidad de itinerarios, así como la detección del tren (Lavín, 2009).

Los motores que accionan las agujas actúan por mando eléctrico del enclavamiento sobre los mismos, cuando para establecer una ruta se requiere cambiar de posición una aguja. Cuando se enclava una aguja en una determinada posición para establecer una ruta, lo que está ocurriendo es que el enclavamiento bloquea el circuito de mando a base de relés que actúa sobre el motor de la aguja, impidiendo de esta forma que la aguja pueda ser maniobrada por cualquier clase de procedimiento eléctrico mientras no sea desenclavada (Escribano, 2008; León, 2007).

1.2.2 Enclavamientos electrónicos

Con la llegada de las tecnologías de la computación y la informática, se desarrollan los enclavamientos de tipo electrónico, basados en microprocesadores. Estos tipos de enclavamientos son los que se desarrollan en la actualidad a nivel internacional, y ofrecen una gran cantidad de ventajas con respecto a los antiguos enclavamientos eléctricos. Desde el punto de vista del hardware, los enclavamientos electrónicos incluyen (Escribano, 2008; León, 2007):

- **Unidad lógica:** basada en microprocesadores, lleva a cabo el control en tiempo real de la operación del enclavamiento.
- **Módulos de entrada/ salida:** constituyen la interfaz con los elementos del campo. Los módulos de entrada reciben del campo la información sobre la posición de las agujas, el estado de los circuitos de vías y señales semafóricas, como elementos fundamentales del enclavamiento. Los módulos de salida actúan sobre relés, para modificar el aspecto de las luces de las señales y accionar los motores de las agujas. Cada elemento de campo tiene uno o más módulos independientes de E/S asociados.

1.3 Sistemas de bloqueo entre estaciones ferroviarias

Los sistemas que controlan el estado de las secciones de vía reciben el nombre de bloqueos. La sección es la fracción de vía que es protegida por una señal (Vicente and Arribas, 2010). El bloqueo es la acción de reservar una sección de vía, compuesta

por señales automáticas accionadas por la ocupación de los circuitos de vía, para evitar el acercamiento excesivo de los trenes, y de esta manera, garantizar la seguridad de circulación de los trenes (Lavín, 2009). En una sección de bloqueo, la señalización que regula el tráfico de trenes puede funcionar de dos maneras:

- **Automática:** según vayan siendo ocupados/liberados los circuitos de vía que lo componen.
- **Semiautomática:** según se ocupe/libere el trecho (tramo de vía entre dos estaciones).

Actualmente, los bloqueos han evolucionado al implantarse sistemas de regulación, protección y, control automático del movimiento de trenes (*ATP*) que proporcionan una seguridad mucho mayor y permiten un aprovechamiento mejor de la capacidad de la línea (Escribano, 2008).

1.3.1 Bloqueo automático en vía única

En las vías de doble sentido de circulación, el movimiento de trenes se organiza de manera que en un sentido se expidan la mayor cantidad de trenes en determinados intervalos de tiempo, para optimizar las capacidades de vía (Martínez and Agosta, 2008).

El mando y organización del tráfico se puede realizar desde un puesto central remoto, lo que reduce los costes de operación y aumenta la seguridad del sistema (León, 2007).

El tramo comprendido entre estaciones se divide en un cierto número de secciones. Cada sección está equipada con circuitos de vía independientes, con los cuales se ejecutan las funciones propias de la detección del tren (Vicente and Arribas, 2010). A la entrada de cada sección existe una señal semafórica para regular el acceso a la misma y establecer la velocidad máxima de circulación. El aspecto de la señal se regula según la ocupación de las secciones siguientes a la señal. El aspecto rojo indica que la sección a la que da acceso la señal está ocupada por un tren y no está permitida la entrada. El amarillo indica circulación con precaución por encontrarse en rojo la señal de la sección posterior. El aspecto verde permite la circulación a velocidad máxima sin restricciones, porque al menos dos secciones están libres (Escribano, 2008).

1.3.2 Bloqueo automático en vía doble

Se utiliza en aquellos trayectos en los que, la densidad de circulación es considerable, por lo que se construye una segunda vía. Esto da lugar a sistemas de bloqueo independientes en cada vía (bloqueo automático en vía doble). Estos sistemas de bloqueo son dotados de una señalización lateral en la que se establece una secuencia de tres aspectos: rojo, amarillo, y verde. Un tren se encuentra protegido por la distancia existente entre las secciones de vías ocupadas (Martínez and Agosta, 2008), en correspondencia con las distancias de frenado establecidas, y la capacidad de frenado de cada tren, desde la máxima velocidad a la que el tren puede circular por ese punto. La seguridad en la circulación se garantiza controlando la velocidad máxima de circulación de cada tipo de tren (León, 2007). Cuando las velocidades aumentan se hace necesario aumentar la cantidad de proyecciones en las señales semafóricas, estableciendo un bloqueo de mayor cantidad de secciones a emplear, que permite la circulación a velocidades superiores.

1.4 Sistema de Control de Tráfico Centralizado (CTC)

El término CTC (Control de Tráfico Centralizado) hace referencia a un puesto de mando desde el cual se controlan enclavamientos correspondientes a distintas estaciones, así como los trechos de bloqueo comprendidos entre ellas. Con un CTC se regula el tráfico de trenes estableciendo todos los itinerarios necesarios, y es posible la creación automática de itinerarios en caso de que la explotación esté programada y no varíe.

Los CTC controlan todos los parámetros y resuelven los diversos conflictos que puedan aparecer en la explotación de la zona controlada. Lo normal es que cada uno de los enclavamientos que componen una determinada línea o zona de tráfico ferroviario dispongan de un puesto de operador local, y que además exista un CTC que controle al conjunto de enclavamientos y bloqueos. El CTC dispone de prioridad en el mando sobre cada uno de los enclavamientos y solamente se transfiere el mando a los operadores de cada enclavamiento si se presenta alguna incidencia en el CTC, o se realizan trabajos de maniobra dentro de las estaciones que interfieran las vías principales controladas por el despachador de tráfico centralizado (Escribano, 2008).

1.5 Sistema de señalización y control ERTMS

ERTMS (*European Rail Traffic Management System*) es el sistema europeo de control , comando y señalización de trenes, creado a comienzos de la década de los 90 (Saña, 2013). El ERTMS ha sido reconocido y confirmado por los estados miembros y el sector ferroviario como el sistema de señalización universal de Europa (Karel Vick, 2013). Para poder establecer una red importante de recorridos ferroviarios transnacionales, la Unión Europea (UE) introduce el sistema ERTMS orientado a la interoperabilidad. La interoperabilidad del sistema ERTMS garantiza que se pueda emplear equipamiento de distintos fabricantes y elimina la necesidad de parar en las fronteras para sustituir el tren o conductor o conmutar el sistema de ATP del tren (Escribano, 2008).

1.5.1 Sistema ETCS

ETCS (*European Train Control System*) es el nuevo sistema de control y mando (Álvarez, 2011). Con ETCS se transmite información de tierra al tren. Un ordenador a bordo (Eurocab) compara la velocidad del tren con la velocidad máxima autorizada en el tramo correspondiente y, en caso necesario, frena automáticamente el tren. Existen diversos niveles de aplicación del sistema ETCS: En el nivel uno, se transmite información mediante señales laterales y balizas estándar (eurobalizas), situadas a lo largo de la vía. En el nivel dos, se transmite información por radio (GSM-R), por lo que las señales laterales resultan innecesarias. Por último, en el nivel tres, el tren transmite directamente los datos de posición correspondientes (Saña, 2013).

El sistema ERTMS se ha diseñado con diferentes niveles ETCS para optimizar la operabilidad y la flexibilidad del mismo (Álvarez, 2011). El sistema define varios niveles de funcionamiento según la forma en que el tren recibe y transmite la información sobre el estado de la línea, y según el grado de desarrollo e implantación del mismo. (Fuentes, 2013). Cada nivel supone una mejora considerable con respecto al predecesor (Montes León, 2011).

- **Nivel 0:** Infraestructura no equipada con elementos ERTMS (líneas antiguas).

- **Nivel 1:** La posición del tren es detectada por los sistemas tradicionales en vía, los circuitos de vía, que están conectados con los enclavamientos. En este sistema se mantiene la señalización lateral luminosa, y la transmisión de la vía a los trenes se realiza sólo por eurobalizas, situadas, al menos, al principio y al final de cada sección.
- **Nivel 2:** En este nivel la señalización vertical es prescindible, el intercambio de información entre la vía y el tren es continuo y en las dos direcciones, y se produce a través del sistema GSM-R entre el centro de bloqueo de radio en la línea (*RBC: Radio Block Center*) y los trenes y balizas pasivas, que son utilizadas para la calibración odométrica y la transmisión de algunos datos de la vía a los trenes. La información se recibe de los enclavamientos y se mantiene el sistema de bloqueo con un seccionamiento muy inferior al del nivel uno.
 - Así, el bloqueo de trenes se realiza desde un centro de bloqueo por radio (*RBC*) que recibe la información, por una parte de los enclavamientos mientras que por otra transmite la información a los trenes a través del sistema GSM-R.
- **Nivel 3:** En este nivel, desaparecen tanto las señales laterales luminosas como los circuitos de vía. La transmisión se realiza principalmente por GSM-R si bien se mantienen las balizas de relocalización. Existen tres grandes diferencias con los niveles anteriores:
 - Localización del tren sin circuitos de vía.
 - Aseguramiento de la integridad por el propio tren.
 - Sistema de bloqueo y seccionamiento móvil con el subsiguiente incremento de la capacidad.

1.5.2 Sistema GSM-R

GSM-R es el nuevo sistema de radio para comunicaciones de voz y datos (Álvarez, 2011).

(*Global System for Mobile communication – Rail*) basado en la tecnología GSM estándar pero usando frecuencias específicas del sector ferroviario y con ciertas funciones

avanzadas. Este es el sistema de telecomunicaciones que permite intercambiar información (voz y datos) entre los equipos terrestres y los embarcados (Saña, 2013).

1.5.3 Ventajas del sistema ERTMS

El sistema ERTMS es posiblemente el más eficiente sistema de control de trenes en el mundo y aporta importantes ventajas en términos de ahorro de costes de mantenimiento, seguridad, fiabilidad, y puntualidad (Álvarez, 2011).

Este sistema, además, aumenta la capacidad de tráfico en las líneas existentes y aporta mayor disponibilidad para responder a la creciente demanda de transporte, como proceso continuo de comunicación basado en el sistema de señalización ERTMS se reduce la frecuencia entre los trenes, lo que permite hasta un 40% más de capacidad de la infraestructura existente en la actualidad. El ERTMS garantizará mayor velocidad al permitir una velocidad máxima de hasta 500 km/h en futuras fases de desarrollo del sistema, a medida que vaya extendiéndose su implantación. Esto explica por qué el sistema ERTMS tiene cada vez más éxito fuera de Europa, y se está convirtiendo en el sistema de control del tren elegido por otros países como China, India, Taiwán, Corea del Sur y Arabia Saudita. Al hacer más competitivo el sector ferroviario, ERTMS contribuye a nivelar la competencia con el transporte por carretera y, en definitiva, proporciona beneficios significativos al medio ambiente (Álvarez, 2011).

En síntesis, el despliegue de los sistemas ERTMS/ETCS constituye un impulso para el tráfico ferroviario transfronterizo, tanto de mercancías como de viajeros (Saña, 2013).

1.6 Sistema de bloqueo semiautomático implementado en Cuba

El concepto de bloqueo semiautomático (BSA) debe su nombre a que el trecho entre estaciones se controla íntegramente, o sea, no posee secciones con circuitos de vías ni señalización semafórica lateral. Impide que una estación expida un tren hacia la colateral, mientras no esté totalmente asegurado, que no exista una circulación en sentido contrario (Fuentetaja, 2012). Los operadores realizan determinadas acciones que permiten establecer el bloqueo del trecho en su totalidad. Se utiliza en ferrocarriles de baja integridad de tráfico

y trenes de baja velocidad. En la Figura 1.1 se muestra el funcionamiento del sistema de BSA.

Cada estación ferroviaria equipada con el sistema de BSA posee dos cabeceras, cada una con un panel de operador para realizar la comunicación con la estación colateral. Cada panel forma parte del esquema de circuito que enlaza la cabecera de dicho panel con la de la estación colateral. Mediante el esquema eléctrico y utilizando lógica de relés se realiza el bloqueo de los paneles de los operadores.

La operación entre dos estaciones ocurre de este modo:

Para enviar un tren de una estación a otra es necesario que los operadores de ambas estaciones se pongan de acuerdo acerca de la ruta de expedición y recepción del tren que va a circular.



Figura 1.1: Protocolo para la comunicación del sistema de BSA entre estaciones.

1.6.1 Autorización de vía

La estación A solicita permiso de circulación a la estación B. La solicitud se realiza por vía telefónica. Para esto existe el circuito entre estaciones, por donde viajan las señales de bloqueo, hablan los operadores y se ponen de acuerdo.

La estación B da su consentimiento a la estación A. El operador de la estación B oprime el botón de envío de consentimiento a la estación A. Una vez que es oprimido el botón de consentimiento de vía, el sistema antes de ejecutar la orden comprueba eléctricamente que:

- No se ha recibido ningún consentimiento anteriormente de la estación A.

- No existe ninguna señal de bloqueo del trecho sobre la expedición del tren desde la otra estación.
- Está libre el trecho del tren que se envió anteriormente.
- Ya se dio la información de llegada del tren anterior.

Comprobadas las condiciones anteriores, el sistema envía una señal de voltaje a través del soporte de comunicaciones por línea aérea. Esta señal se nombra envío de consentimiento hacia la estación A. Pero el sistema de la estación A no lleva a cabo la expedición del tren hacia la estación B hasta comprobar que:

- No se ha enviado un consentimiento a la estación B.
- No hay ninguna señal de expedición dada al trecho.
- Se recibió la señal de llegada del tren anterior.

Cuando se cumplen estas condiciones en la estación A, entonces el sistema le permite eléctricamente al operador conformar la ruta de expedición hacia la estación B.

1.6.2 Bloqueo del trecho

Después de conformarse la ruta de expedición del tren desde la estación A hacia la estación B, automáticamente, se realiza el envío de una señal eléctrica desde A hacia B, que activa los elementos o dispositivos de bloqueo del trecho en cada una de las estaciones, indicando en el pupitre del operador estas acciones. Dicha señal es la de: “Trecho Ocupado”. Al conformar la ruta, todos los elementos pertenecientes a ella son enclavados y no es posible modificar su posición hasta que la ruta no haya sido disuelta. En circunstancias normales, esto suele ocurrir al pasar el tren, pero también se pueden dar casos de disolución artificial o de emergencia (Lavín, 2009).

Bajo estas condiciones resulta imposible eléctricamente expedir otro tren al trecho desde cualquiera de las dos estaciones, aun cuando alguno de los operadores se equivoque.

1.6.3 Liberación del trecho

Cuando el tren llega a la estación B, mediante los circuitos de vía se preparan eléctricamente los equipos de bloqueo que indican la llegada real del tren, para que en el

momento en que el operador compruebe que el tren llegó completo (lo que debe hacer de forma visual), éste oprima el botón de información de llegada del tren. Esta señal eléctrica, tiene la función de desbloquear el sistema en ambas estaciones, o sea, todos los equipos de bloqueo regresan a su estado original o de reposo, en espera de otro tren que se requiera enviar en uno u otro sentido.

1.6.4 Desventaja del sistema de BSA

Como es posible apreciar el sistema es muy seguro en sus funciones de bloqueo, pero adolece de un subsistema de gran importancia para la seguridad del movimiento de trenes. Se trata de la comprobación automática de la llegada completa de un tren a una estación, el sistema detecta que el tren llegó, pero no puede comprobar en qué estado lo hizo, pudiendo fraccionarse en el recorrido por el trecho.

Esta operación es clasificada en el argot ferroviario como un punto negro dentro del sistema de BSA, porque deja en manos del factor hombre un elemento clave para la seguridad del movimiento de trenes como es la comprobación de la llegada completa del tren a la estación, existiendo la posibilidad de que un simple error humano envíe al trecho un tren, quedando una fracción de otro en el mismo, lo cual podría provocar un accidente de consecuencias imprevisibles. Estos errores se han cometido varias veces por parte de los operadores y aún el sistema carece de dispositivos de seguridad que eliminen estas situaciones de peligro.

1.7 Dispositivos para determinar la presencia del tren

1.7.1 Circuitos de vía

La vía férrea se subdivide en secciones de una determinada longitud, aisladas eléctricamente unas de otras a través de juntas aislantes (Matos, 2013a; Escribano, 2008). Al comienzo del tramo se establece una diferencia de potencial entre raíles lo que produce que circule una corriente en bucle. Esta sección de vía posee un terminal de alimentación y otro de relé. Al final del circuito de vía (CV) existe un relé que está activo mientras le llega corriente, indicando que el circuito de vía se encuentra libre. Cuando un tren entra en el circuito de vía, la corriente se cortocircuita a través de las ruedas y ejes del tren. Esto

provoca una diferencia de potencial de 0V en el terminal del relé. El relé se desactiva, se abren sus contactos y el CV pasa al estado de ocupado. Ante fallo en la alimentación en el relé de detección o ante rotura del propio carril, el CV pasa al estado de ocupado. Se cumple de esta forma el principio “fail-safe” (seguridad ante fallos, aplicados a la lógica de funcionamiento de la señalización ferroviaria). La Figura 1.2 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un CV. La indicación de CV ocupado se mantiene desde que el primer eje del tren entra en el circuito de vía, hasta que el último eje del mismo lo abandona. Existen CV de corriente alterna de diferentes frecuencias, sensibles a fase; y los más modernos CV, por audiofrecuencias, por transmisión de impulsos, que son los que se emplean en sistemas de protección automática de trenes (ATP).

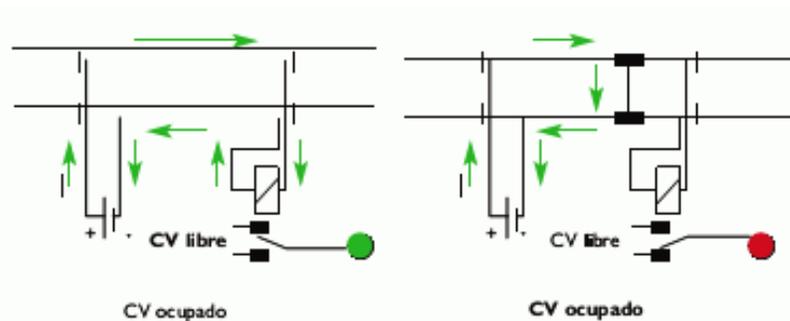


Figura 1.2: Funcionamiento de un CV.

Los circuitos de mando de los motores de aguja están diseñados para que no puedan ser maniobrados si el circuito de vía que contiene la aguja se encuentra ocupado. Si se maniobrara la aguja con el CV ocupado, es decir cuando existe un tren o parte de él situado sobre el cambio, el tren podría descarrilar (Escribano, 2008).

1.7.2 Contadores de ejes

Esta tecnología es más actual que los circuitos de vía, para la determinación de la ocupación/desocupación de una sección de vía. El principio de funcionamiento de estos dispositivos consiste en la ubicación de un par de sensores de ejes (pedales) en cada uno de los extremos del tramo de bloqueo para la detección de cada uno de los ejes del tren (Lavín, 2009). Cada sensor está formado a su vez por uno, o dos sensores inductivos internos para poder determinar el sentido de circulación del tren, si entra o sale. Al pasar los ejes de un

tren sobre la sección de vía donde están instalados los pedales, se modifican las características de acoplamiento magnético de los mismos. De esta manera se detecta la entrada o salida de ejes en la sección, ver Figura 1.3 (Escribano, 2008).

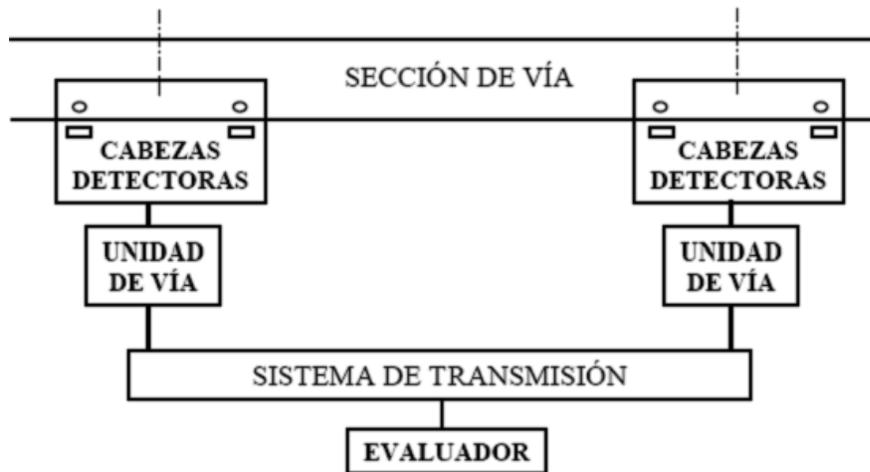


Figura 1.3: Contador de ejes para determinar la presencia del tren en una sección de la vía.

Estos contadores asignan al conteo un signo positivo en el caso de ser un tren entrante en la sección de vía y un signo negativo en el caso de ser un tren saliente de la misma, según el sentido de circulación del tren. Con el paso del tren, el contador de ejes, realiza una suma algebraica de los ejes existentes en dicha sección y a su salida de la sección, se realiza la operación inversa.

La sección de vía se considera libre en el momento que se cumpla que la diferencia algebraica de los dos conteos sea cero, lo que demuestra que el tren pasó completo por esa sección (Lavín, 2009). Se considera ocupada la sección siempre que dicha diferencia sea distinta de cero (Escribano, 2008), cuando esto ocurre se bloquea la sección, impidiendo así la entrada de más trenes a la misma, porque puede quedar una fracción del tren en esa sección (Rodríguez, 2010).

El conteo de ejes es un método fiable para detectar la presencia de un tren o parte del mismo (vagones sueltos), o material rodante en general en una determinada sección de vía. Los contadores de ejes garantizan su correcto funcionamiento a velocidades entre 0 y 500 km/h (Escribano, 2008).

Estos sistemas, independientes de los carriles, permiten secciones de longitud más larga y eliminan algunos de los problemas de interferencias. El campo de aplicación de estos equipos puede ser complementario al de los circuitos de vía y su uso depende en gran medida del tipo de aplicación y de las especificaciones de las compañías ferroviarias (León, 2007). La detección con contadores de ejes se utiliza normalmente en líneas con muy poco tráfico (Rodríguez, 2010).

1.7.2.1 Contador de ejes ACS2000

El sistema contador de ejes ACS2000 (ver Figura 1.4) sirve para supervisar con seguridad secciones de aviso de vía libre (desvíos, grupos de desvíos, secciones de vía) en estaciones ferroviarias y en plena vía (Rail, 2011). El mensaje de liberación u ocupación de vía sale mediante contactos de relé libres de potencial (Fm y P) (Grundnig, 2012a).

El sistema contador de ejes ACS2000 tiene estructura modular y consta de los siguientes componentes/módulos (equipamiento completo) (Kinze, 2011):

- Instalación exterior

- Sensor de ruedas RSR180, RSR122, o RSR123.
- Caja de conexiones de vía.

- Instalación interior

- Módulo pararrayos BSI120K
- Bastidor de módulos BGT04 o BGT05
- Módulo de bus ABP
- Módulo de fusibles SIB
- Módulo de evaluación EIB-OK
- Módulo contador de ejes ACB
- Módulo de entrada/salida DIOB, optativo para servicio de bloqueo
- Módem compatible con RSR232 para servicio de bloqueo

El módulo contador de ejes ACB es capaz de evaluar hasta seis informaciones de punto contador independientes, proporcionadas por módulos de evaluación de tipo EIB-OK. El bastidor de módulos BGT04 o BGT05 sirve para alojar los módulos y proporcionar protección mecánica. Conectando en serie puntos contadores (máximo dos por cada entrada de punto contador), puede disponerse de un máximo de 12 puntos contadores, siempre que se excluya la posibilidad de paso simultáneo por dos puntos contadores conectados en serie.

En circuitos contadores adyacentes, el punto contador situado en la intersección tiene doble uso. El sistema puede funcionar en servicio aislado y en servicio de bloqueo. Si el sistema se emplea en servicio de bloqueo, a través del módulo de entrada/salida DIOB y conjuntamente con el módulo contador de ejes ACB es posible transmitir bidireccionalmente vía módem 16 argumentos digitales adicionales (p.ej., informaciones, mensajes, órdenes, etc.) (Pucher, 2013). Los argumentos se registran a través de optoacopladores y salen a través de contactos de relé libres de potencial (Frauscher, 2011a).

El módulo pararrayos BSI120K protege la instalación interior contra tensiones de interferencia que pueden actuar entre el sensor de ruedas y la terminación de cable. A un módulo pararrayos BSI120K pueden conectarse dos sistemas sensores (Frauscher, 2008).



Figura 1.4: Contador de ejes ACS200.

1.8 Sistemas de Protección del tren

1.8.1 Sistema ASFA

El sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático) tiene como misión, trasladar a la cabina de conducción del tren, las indicaciones que presentan las señales, así como, provocar su detención inmediata si el maquinista rebasa la velocidad máxima permitida al paso por una indicación (Martínez and Agosta, 2008).

1.8.2 Sistema de ATP

Según (Fontela, 2007), el sistema de protección automática del tren (ATP) es un sistema de protección adaptado a la señalización existente, y principalmente se trata de un sistema que recibe la información de la vía, realizando una supervisión continua de la velocidad y localización del tren, y requerirá en caso de necesidad de la actuación de los frenos, si la propia circulación del tren tuviera riesgo de accidentalidad.

La función del sistema ATP, está basada en la información que le proporcionan los sistemas de señalización, para impedir que los trenes que pasen con una velocidad inapropiada por ciertos puntos, el sistema regule estas situaciones, llegando incluso a la propia detención del tren.

El ATP proporciona las siguientes funciones de protección del tren:

- Protección contra sobrevelocidad.
- Protección contra rebase indebido de una señal de parada.
- Protección contra marcha atrás.
- Protección cuando existen paradas prolongadas.

El ATP integra el sistema ASFA y por tanto mantiene la compatibilidad con la información del ASFA existente en la vía.

Los elementos que integran el sistema ATP son:

- Equipo de vía ATP.
- Equipo de a bordo.

- Transmisión en ASFA.

El equipo de vía del ATP consta de balizas ATP situadas en los carriles de rodadura y a lo largo del eje de la vía, que se agrupan funcionalmente en puntos de información, y después están los codificadores, que realizan la interconexión entre balizas ATP y las señales o los propios enclavamientos.

El equipo de a bordo, es el encargado de captar y procesar la información al maquinista, de todas las informaciones procedentes de la vía, para poder actuar sobre los frenos del tren en caso de necesidad.

El equipo de la máquina está compuesto por los siguientes elementos básicos:

- Subsistema de Captación ATP (SUCAP).
- Subsistema de Captación ASFA.
- Equipo de Control y Proceso (ECP).
- Unidad de Anulación de Equipo (UAE).
- Tacogeneradores.
- Unidad de Interface Hombre-Máquina. Se compone del equipo de interface con el maquinista (EIC), y del Panel de conducción (panel repetidor ASFA/ATP, teclado, display) (Fuentetaja, 2012).

1.9 Conclusiones Parciales

Después de analizar la bibliografía consultada se arriba a las siguientes conclusiones:

- La seguridad es un factor de vital importancia en el sector ferroviario, el cual se debe tener en cuenta a la hora de desarrollar cualquier tipo de aplicación vinculada o relacionada con el movimiento de trenes en el ferrocarril.
- El conteo de ejes a través de sensores de ejes y contadores de ejes es un método efectivo para controlar la liberación u ocupación de secciones de vía.
- Los sistemas de señalización y control en entornos ferroviarios garantizan un mayor nivel de seguridad en el movimiento de trenes.

- A pesar de existir a nivel internacional varios métodos y sistemas para garantizar la integridad de trenes, no se ha podido implementar ningún subsistema que se acople al BSA cubano y realice de forma automática la fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación.

CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA

En este capítulo se abordan las características que debe tener un diseño orientado a la seguridad, para poder escoger la arquitectura adecuada y segura que realice las funciones de fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación. Se realiza la propuesta de los componentes que deben conformar el subsistema. Se elabora el algoritmo de conteo de ejes y fiscalización automática. Se explica el principio de funcionamiento del subsistema y sus componentes.

2.1 Requerimientos de un diseño orientado a la seguridad

La prioridad de cualquier sistema de protección y control empleado en entornos ferroviarios es la seguridad del movimiento de los trenes. Este concepto está relacionado con la necesidad de asegurar la respuesta del subsistema de fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación, ante un fallo. Los sistemas pueden manifestar averías o fallos. Las averías son causadas por la pérdida del punto de funcionamiento deseado para la instalación. Los fallos originan la pérdida de supervisión y control del sistema y, por tanto, se podría dar un resultado no deseado; esto es, no definido. La instalación es de seguridad cuando al detectarse un fallo en el sistema éste reacciona evolucionando al estado de máxima protección. Cuando un sistema o dispositivo reacciona ante un fallo en la manera descrita, se dice que es de seguridad intrínseca o “*fail-safe*” (Vicente and Arribas, 2010).

La seguridad del sistema depende en gran medida de la calidad del software, o sea, de la ausencia de errores en la programación que puedan afectar el movimiento de los trenes.

El hardware implementado debe ser altamente fiable y seguro (*fail-safe*), y los programas implementados deben realizar numerosas secuencias de chequeo y auto chequeo de todos

sus componentes (hardware externo e interno), y de todas sus funciones lógicas internas, principalmente las de comparación.

En este sentido, en el ferrocarril se tienen que tener en cuenta las protecciones contra fallos, particularmente:

- Ningún fallo probable, ni tampoco otros fallos consecutivos pueden afectar la seguridad del movimiento de trenes.
- Cada fallo se tiene que detectar tan rápidamente que sea baja la probabilidad de que durante el intervalo pueda ocurrir una situación de peligro.

2.2 Subsistema propuesto

La arquitectura del subsistema que se propone (ver Figura 2.1) para realizar la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación responde a la necesidad de realizar un conteo seguro, para lo cual se utiliza como referencia el contador de ejes profesional ACS2000. La propuesta de subsistema para la fiscalización está formada por un autómatas programable redundante de la firma Omron. Para detectar el paso de los ejes se proponen cuatro sensores de rueda RSR-123 (ver Figura 2.6), dos para cada cabeza de estación. El emplear redundancias en el hardware da la posibilidad de que al realizar varias secuencias de conteo en forma paralela, se tenga mejor información sobre la lectura de los pulsos provenientes de los sensores y además, puedan detectarse errores durante el conteo. Para el acondicionamiento de las señales se proponen ocho convertidores de la firma *Weidmüller*, uno para cada sensor inductivo interno. Se propone para alimentar los convertidores y sensores, una fuente tipo 220VAC/24VAC, S82K-24024. Para la comunicación entre los autómatas se proponen dos *switch* tipo *5 Port Unmanaged Industrial Ethernet Switch - DIN-Rail Mountable* y dos *router*, para así formar dos redes punto a punto, logrando así redundancia en las comunicaciones. Para poder ver y configurar las redes a través de una PC se propone un adaptador *PCI Gigabit Ethernet*. En la tabla 2.1 se muestra un resumen de las variables que intervienen en el subsistema.

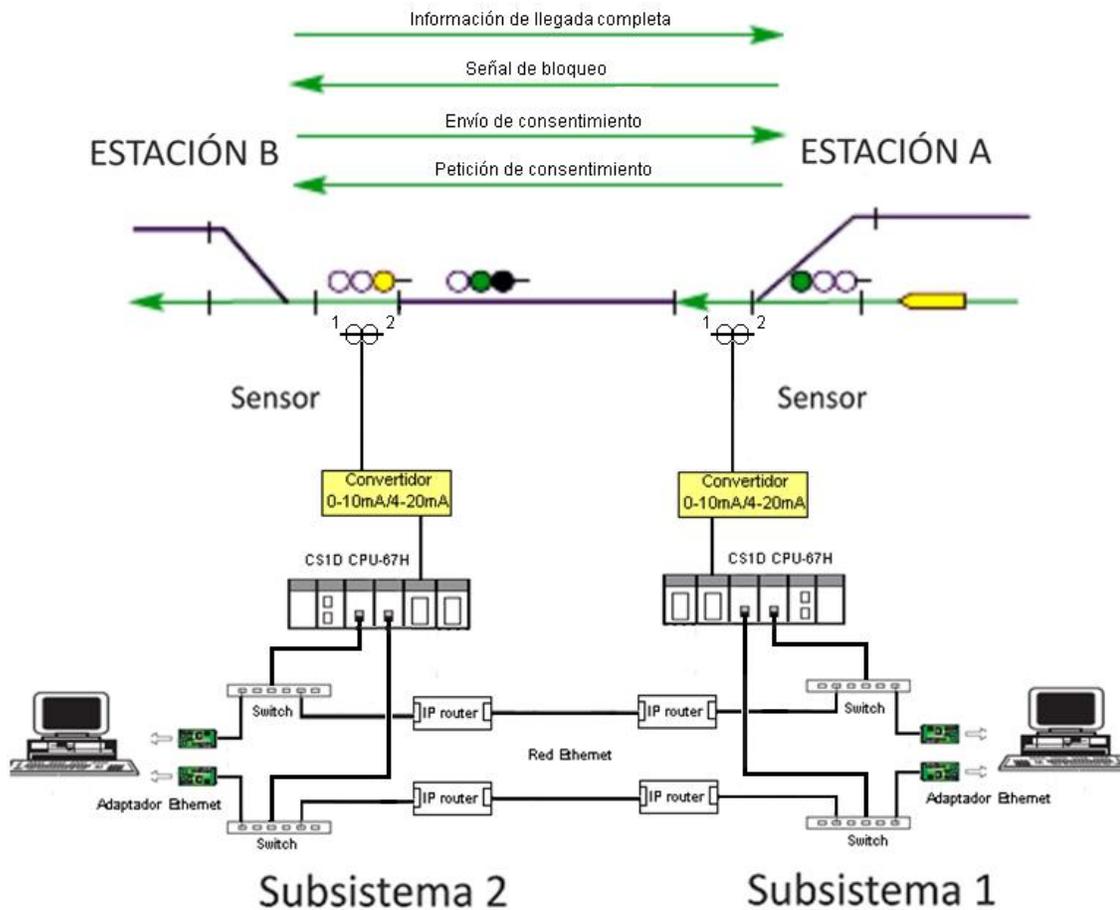


Figura 2.1 Esquema general para la fiscalización de la llegada completa del tren.

El subsistema propuesto permite:

- Cero interrupciones ante roturas o problemas de mal funcionamiento de algún elemento del sistema de control gracias al nivel de redundancia que se propone.
- Disminución del peligro por concepto de roturas, debido a la eliminación de los errores introducidos por el factor humano en la operación del sistema de BSA, sustituyendo la mano del hombre por equipos inteligentes capaces de asumir mayores responsabilidades en tiempo real en la explotación de la instalación y agilizando el proceso de reparación.
- Fiscalizar la llegada completa de un tren a una estación.

Tabla 2.1: Resumen de las variables del subsistema

Entradas digitales de 24 VDC	Salidas digitales de 24 VDC	Entradas analógicas de 4-20mA
6	6	8

2.2.1 Protecciones del subsistema

En la propuesta para el subsistema orientado a la seguridad se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- El hardware orientado a la seguridad.
- La protección contra fallos en los componentes.
- La protección contra la acción de campos electromagnéticos.
- La protección contra fallos del suministro eléctrico.

Los principios a seguir para el cumplimiento de los aspectos mencionados están relacionados con diferentes formas de redundancia:

- Redundancia del hardware.
- Redundancia en la programación.

2.3 Autómata programable

2.3.1 Definición y principios de operación

Según (Camacho, 2013), un autómata programable (PLC) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial hostil, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas, tales como, funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, tanto digitales como analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos.

Los PLC's operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción. Durante su operación, la CPU recibe entradas de diferentes dispositivos de censado, ejecuta decisiones lógicas, basadas en un programa almacenado en la memoria, y controla los dispositivos de

salida de acuerdo al resultado de la lógica programada. Los módulos de entradas y salidas son la sección del PLC en donde sensores y actuadores son conectados y a través de los cuales el PLC monitorea y controla el proceso. La fuente de alimentación convierte altos voltajes de corriente de línea (115V 230V CA) a bajos voltajes (5V, 15V, 24V CD) requeridos por la CPU y los módulos de entradas y salidas.

El funcionamiento del PLC es un continuo ciclo cerrado, primero el sistema operativo inicia la vigilancia de tiempo de ciclo, después la CPU escribe los valores de imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida, a continuación la CPU lee el estado de las entradas en los módulos de entrada y actualiza la imagen de proceso de las entradas, la CPU procesa el programa del usuario en segmentos de tiempo y ejecuta las operaciones indicadas en el programa, al final de un ciclo, el sistema realiza las tareas pendientes.

Los PLC's han ganado popularidad en las industrias y probablemente continuarán predominando por algún tiempo, debido a las ventajas que ofrecen:

- Son un gasto efectivo para controlar sistemas complejos.
- Son flexibles y pueden ser aplicados para controlar sistemas de manera rápida y fácil.
- Su capacidad computacional permite diseñar controles más complejos.
- Su fácil programación ayuda a reducir el tiempo de inactividad del proceso.
- Sus componentes confiables hacen posible que pueda operar varios años sin fallas.
- Capacidad de entradas y salidas.
- Monitoreo.
- Velocidad de operación.
- Están diseñados para trabajar en condiciones severas como: vibraciones, campos magnéticos, humedad, altas temperaturas.

2.3.2 Niveles de redundancia

En los sistemas críticos que tienen que estar disponibles y funcionando 24 horas al día, todos los días del año, y sobre todo donde la vida de personas depende de su correcto funcionamiento, hay que intentar minimizar los fallos que puedan afectar su funcionamiento normal. Los fallos pueden ocurrir, pero existen configuraciones de sistemas

diseñados de forma redundante, en los que sus partes pueden fallar sin que esto afecte el funcionamiento del mismo.

Debido a las características propias de funcionamiento de este proceso en el cual la operación del BSA o de alguno de sus elementos no debe detenerse debido a roturas o desperfectos del sistema de control, todo el sistema propuesto debe cumplir con redundancia tanto a nivel de hardware como de software y esto se logra duplicando los siguientes elementos del PLC:

- Fuente de alimentación.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Unidad de comunicación Ethernet.

En los elementos anteriores siempre va a existir uno de ellos que permanece activo y otro en reserva activa, esperando a que ocurra un fallo en el elemento principal para continuar con la operación (sin que se perciba el cambio) en el mismo estado en que se encontraba el proceso en el momento de ocurrir el problema.

Además, este sistema redundante o dúplex permite la sustitución de cualquiera de los módulos o incluso, la modificación de los módulos en el bastidor principal durante su funcionamiento, sin necesidad de apagar el sistema para realizar el cambio.

El autómatas propuesto es un sistema dúplex que incluye un sistema de CPU doble y redundancia además en las fuentes de alimentación y de comunicación Ethernet, formando así un nivel medio de redundancia (ver Figura 2.2), que se puede obtener en sistemas de control utilizando autómatas programables (Omron, 2008a).

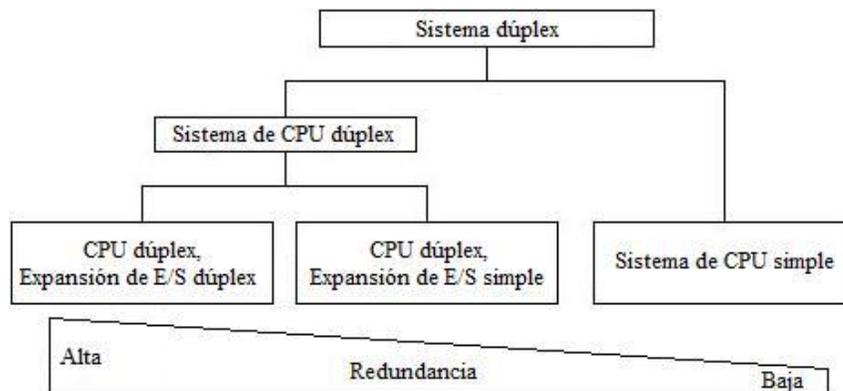


Figura 2.2: Niveles de redundancia en autómatas.

Con esta configuración redundante, al producirse algún error en alguno de estos elementos, el autómatas transfiere inmediatamente el control a los que se encuentran inactivos, permitiendo el funcionamiento continuo sin repercusiones en el sistema de BSA. El restablecimiento del autómatas después de un fallo resulta rápido y sencillo debido a que es posible sustituir CPU, fuentes de alimentación, o unidades de comunicación de repuesto mientras el autómatas continúa en funcionamiento, del mismo modo que también se permiten en situaciones similares sustituir unidades de entrada/salida. La unidad o unidades sustituidas dejarán de funcionar durante el cambio, pero todas las demás continuarán trabajando.

Además, mediante el uso del software de programación del PLC es posible añadir nuevas unidades de entrada/salida en el bastidor existente así como, incluir nuevos bastidores al sistema de control sin necesidad de detenerlo.

2.3.3 Comunicación

La comunicación entre los PLC se realiza a través de dos redes Ethernet independientes integradas cada una por los componentes que se detallan a continuación:

Red Ethernet Primaria

- Unidad de comunicación primaria del autómatas 1
- Unidad de comunicación primaria del autómatas 2
- Switch 1
- Router 1

Red Ethernet Secundaria

- Unidad de comunicación secundaria del autómatas 1
- Unidad de comunicación secundaria del autómatas 2
- Switch 2
- Router 2

Ambas redes no se encuentran funcionando a la vez (ver Figura 2.3). Al ocurrir algún problema con cualquiera de los componentes de la red primaria, el sistema de

comunicación se transfiere automáticamente a la red secundaria manteniendo de esta forma el intercambio de información entre los dispositivos de la red.

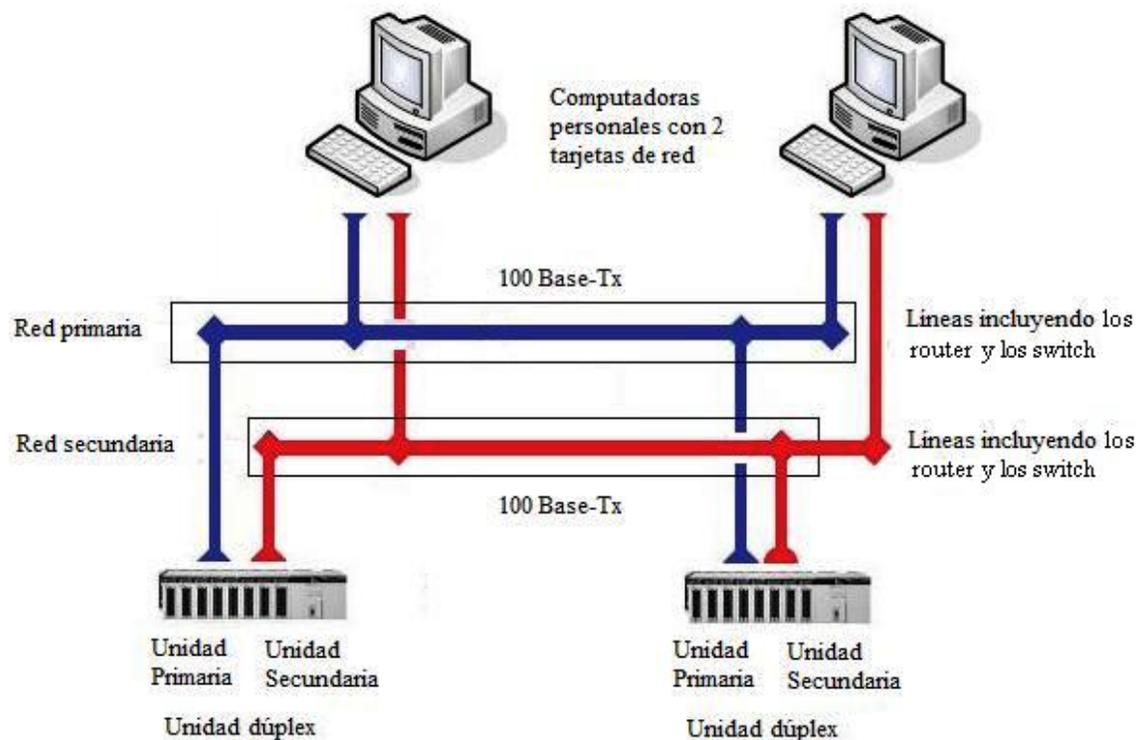


Figura 2.3: Esquema general de comunicaciones propuesto.

2.3.4 Configuración del autómata

En la Tabla 2.2 se muestra el equipamiento del autómata. El autómata se muestra en la Figura 2.4, el cual está compuesto por:

- **Bastidor principal**

- Fuente de alimentación activa.
- Fuente de alimentación de reserva.
- CPU activa.
- Unidad dúplex.
- CPU reserva.
- Unidad Ethernet primaria.
- Unidad Ethernet secundaria.

- Unidad de entrada digital de 32 puntos.
- Unidad de salida digital de 32 puntos.
- Unidad de entrada analógica de 16 puntos.
- Ranuras libres: 0

▪ **Barreras de relés**

- Bloques de relés de entrada con bobina 24 VDC: 2
- Bloques de relés de salida con bobina 24 VDC: 2.

Tabla 2.2: Equipamiento del autómata

Elemento	Cantidad
Bastidor principal de CPU, CS1D-BC042D	1
Fuentes de alimentación 220VAC, CS1D-PA207R	2
CPU, CS1D-CPU67H	2
Unidades dúplex, CS1D-DPL02D	1
Unidades de comunicación <i>Ethernet</i> , CS1D-ETN21D	2
Unidades de entrada digital de 24 VDC, 32 puntos, CS1W-ID231	1
Unidades de salida digital 24 VDC, 32 puntos, CS1W-OD231	1
Unidades de entrada analógica 4-20mA, 16 puntos, CS1W-AD161	1
Bloques de relés de entrada con bobina 24 VDC, G7TC-ID16 24 VDC	2
Cables de conexión con bloque de relé de entrada, G79-I500C-475	1
Bloques de relés de salida con bobina 24 VDC, G70A-ZOC16-3 24VDC	2
Cables de conexión con bloque de relé de salida, G79-O500C-475-E	1
Relés SP2T, 24 VDC, G2R-1-SN-24VDC	64
Cable de programación (puerto periférico), CS1W-CN226 CHN	1
Paquete de desarrollo de PLC CX-One-A-AL01C-EV2-SP	1



Figura 2.4: Configuración del autómata.

2.3.5 Características del equipamiento del autómata

Bastidor:

El bastidor del autómata (ver Figura 2.5) es la base sobre la cual se montan los diferentes módulos o unidades. En el bastidor principal, a la derecha se colocan las dos fuentes de alimentación, luego una de las CPU, la unidad dúplex y a continuación la otra CPU. En las cinco ranuras disponibles se colocan las dos unidades de comunicación Ethernet, el módulo de entrada analógico, y los módulos de entrada salida digitales (Omron, 2008a).

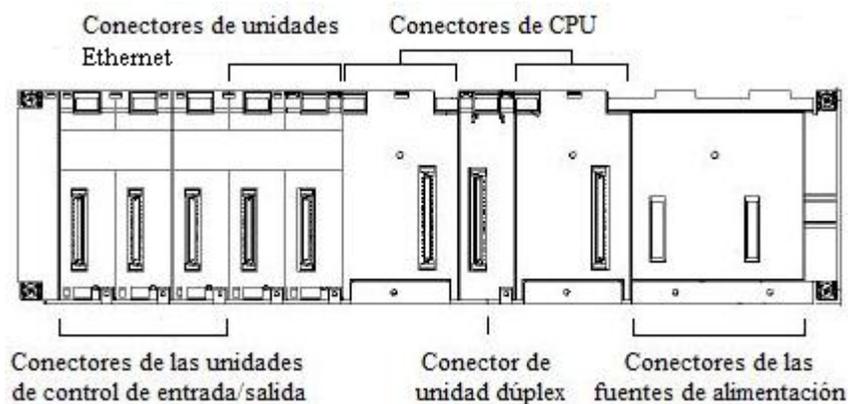


Figura 2.5: Bastidor con cinco huecos para duplicar CPU y fuente de alimentación.

CPU (Omron, 2008a) :

- Número de puntos de entrada/salida que puede direccionar: 5 120
- Capacidad de programación: 250 Kpasos
- Velocidad de procesamiento: 0.02 μ s

- Memoria de datos: 448 Kpalabras
- Posee un puerto periférico para conectar el dispositivo de programación y un puerto RS-232C para la conexión de otros dispositivos (computadora).
- Lenguaje de programación en lista de instrucciones y diagramas de contactos.
- Permite la sustitución de la unidad mientras el sistema continúa en funcionamiento.
- Posee una tarjeta de memoria *flash* para *backup* del programa de usuario.
- Posee leds indicadores de estado de la CPU (*RUN*, *ERR/ALM*, *PRPHL*, *COMM*, entre otros).

Unidad dúplex:

Unidad requerida para el funcionamiento del sistema en modo CPU dúplex. Posee un *switch* para especificar el uso de las CPU del sistema en este modo y para fijar cuál de las dos CPU será la activa y cuál la de reserva, así como otros *switch* para configurar el uso o no de este módulo. Posee además indicadores del estado de cada CPU y del estado del modo de trabajo (dúplex o simple) (Omron, 2008a).

Unidad Ethernet:

Unidad de comunicaciones que soporta los protocolos estándares de TCP/IP y UDP/IP (Omron, 2008b).

- Soporta velocidades de comunicación de 100 Mbits.
- Configuración sencilla mediante el software de programación.

Entrada digital 24 VDC (Omron, 2008a) :

- Unidad de entrada digital de 24 VDC.
- Número de puntos: 32.
- Rango de voltaje permisible: 20.4-26.4 VDC.
- Voltaje On: 15.4 VDC / 3 mA mínimo.
- Voltaje Off: 5 VDC / 1 mA máximo.
- Número de circuitos: 16 puntos por común, 2 circuitos.

- Posee leds indicadores para las entradas activas.
- Conector soldado para cableado externo.

Salida digital 24 VDC (Omron, 2008a) :

- Unidad de salida digital de 24 VDC a transistor
- Número de puntos: 32
- Rango de voltaje permisible: 20.4-26.4 VDC
- Máxima corriente de carga: 0.3 A / punto, 1.6 A / común, 6.4 A / unidad
- Tiempo de respuesta On: 0,5 ms máximo
- Tiempo de respuesta Off: 1 ms máximo
- Número de circuitos: 32 (16 puntos / común, 2 circuitos)
- Posee leds indicadores para las salidas activas
- Conector soldado para cableado externo

Entrada analógica (Omron, 2006) :

- Unidad de 16 entradas (1-5 V, 0-10 V, 4-20 mA)
- Resolución: 1/4000
- Velocidad de conversión: 1 mA / punto máximo
- Configuración de rango de señal: 16 ajustes (uno para cada punto)
- Conexión: Bloque de terminales

Bloques de relés:

Para aislar las señales digitales de entrada y salida del proceso y prevenir de esta forma roturas en los módulos electrónicos de los autómatas se propone utilizar barreras de relés en forma de bloques compactos de 16 puntos para todas las señales de entrada y salida digital. Para las señales de salida se emplean bloques de salida de relés con bobinas de 24 VDC y de esta forma quedan los contactos libres para conectar las salidas del sistema.

2.4 Sensor de rueda RSR-123

El sensor de ruedas RSR-123 es desarrollado y fabricado por la empresa *Frauscher GmbH*, la que se especializa en sensores inductivos de alta calidad para aplicaciones ferroviarias. Es desarrollado, proyectado, evaluado y validado por expertos de acuerdo con los requisitos de las normas CENELEC EN50126, EN50128 y en su caso, de la EN50159-1, así como de la EN50159-2. Está calificado con el nivel máximo de seguridad SIL4 (Advantageaustria, 2013).

2.4.1 Características técnicas

Según (Frauscher, 2011b; Grundnig and Pucher, 2012b), las características técnicas del sensor RSR-123 son:

Grado de protección: IP68 – 8 kPa/60 min (60529, 2003)

Voltaje de entrada: 8 V DC a 33 V DC.

Condiciones Ambientales (Rosenberger, 2012b)

- Temperatura: -40 °C to +85 °C
- Humedad: hasta un 100 %
- Resistencia UV: Sí.

Tamaño de la rueda (diámetro): 300 mm a 2100 mm

Velocidad de traslación: 0 km/h (estático) a 450 km/h, evaluación correcta de la traslación parcial.

2.4.2 Principio de funcionamiento

El RSR-123 es un sensor con seguridad intrínseca (*fail-safe*), su diseño se orienta a la seguridad. Posee una estructura interna formada por un circuito electrónico que genera dos campos electromagnéticos (Sistem1 y Sistem2) a su alrededor, es decir, tiene dos sensores inductivos internos para conocer el sentido de dirección del tren, las señales de salida se desfasan en dependencia del sentido de dirección (ver Figura 2.7). Los dos campos magnéticos se hallan continuamente energizados con un nivel de voltaje que puede variar entre 8 VDC y 33 VDC, dando una corriente a la salida de 5mA. Cada vez que pasa una

rueda del tren por encima, los campos magnéticos experimentan variación de su intensidad (ver Figura 2.8), provocando así un descenso de la corriente a la salida a un valor de aproximadamente 2mA (Frauscher, 2011b).



Figura 2.6: Sensor RSR-123.

Las señales de salida del sensor se dividen en diferentes rangos de trabajo, dependiendo de su valor (Rosenberger, 2012b):

- Rango 1: $< 5,25\text{mA} > 4,75\text{mA}$: El sensor está correctamente montado en el raíl, no hay interferencia de rueda.
- Rango 2: $> 5,5\text{mA}$: El sensor está fuera del raíl.
- Rango 3: $< 3,8\text{mA} > 0,5\text{mA}$: El sensor detectó una rueda.
- Rango 4: $< 0,5\text{mA}$: Cable roto o componente defectuoso.
- Rangos intermedios: El sistema sensor todavía es capaz de detectar el paso de la rueda, pero requiere mantenimiento.

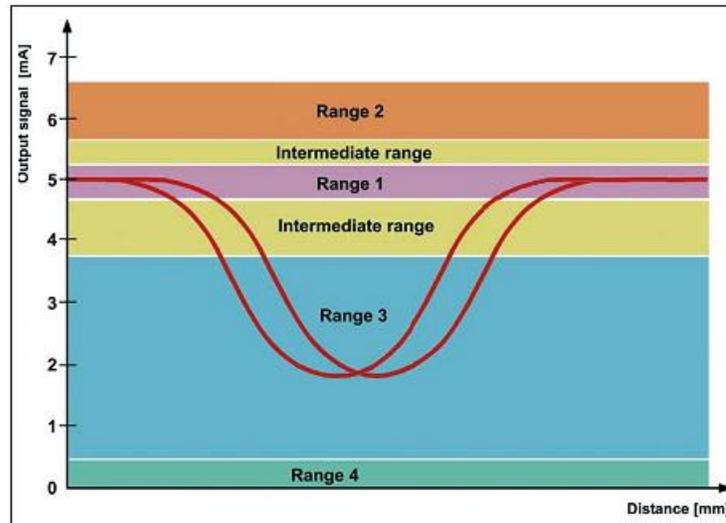


Figura 2.7: Valor de la señal analógica del sensor cuando detecta el paso de una rueda

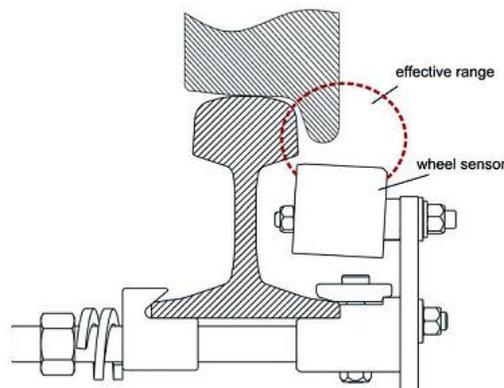


Figura 2.8: Detección de la pestaña de una rueda por el sensor RSR-123.

2.5 Convertidor de señal

Se propone usar un transmisor analógico para convertir la señal analógica del sensor de 0-7mA a una señal estándar de 4-20mA, para su posterior retransmisión al autómata. El aislamiento galvánico (Figura 2.9) ofrecido por la firma *Weidmüller*, tipo *UPAC Analog DC*, entre los sensores y el autómata, minimiza los eventuales problemas de interconexión de masas entre los distintos circuitos, lo que constituye un medio de protección (Weidmüller, 2010).

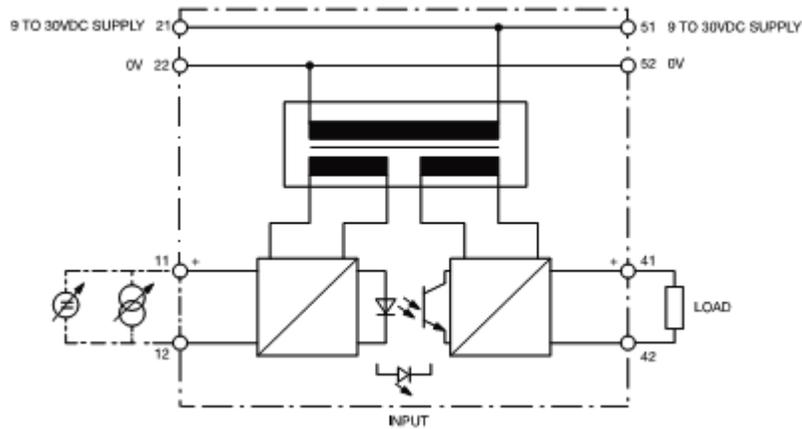


Figura 2.9: Diagrama de circuito del convertidor

Características técnicas:

- Rangos de entrada y salida configurables por el usuario (ver Figura 2.10)
- Voltaje de alimentación 9 ... 30 Vdc
- Configuración vía DIP switches
- Indicación de los estados de operación vía LED
- Rango de cero y span ajustable por 50 %

	SW1					
	1	2	3	4	5	6
0 ... 2 mA			x	x	x	
0 ... 5 mA		x				x
0 ... 10 mA		x		x	x	
0 ... 20 mA		x	x			x
0 ... 50 mA		x	x	x	x	
0 ... 100 mA	x					x
-2 ... 2 mA			x	x		
-5 ... 5 mA		x				
-10 ... 10 mA		x		x		
-20 ... 20 mA		x	x			
-50 ... 50 mA		x	x	x		
-100 ... 100 mA	x					

(a)

	SW2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Unipolar								
0 ... 5 V	x	x	x	x				
0 ... 10 V	x		x	x				
0 ... 1 mA		x	x	x				
4 ... 20 mA						x	x	x
0 ... 20 mA	x	x				x	x	x
Bipolar								
-5 ... +5 V	x							
-10 ... +10 V								

(b)

Figura 2.10: Selección de los rangos de entrada (a) y salida (b) del convertidor.

2.6 Software de desarrollo del autómeta

Se utiliza el paquete de desarrollo del PLC, CX-One-A-AL01C-EV2-SP. Para realizar la programación en diagrama de contactos se utiliza el CX-Programmer. Este ofrece una plataforma de software de PLC común para todos los tipos de autómetas programables de Omron, desde micro-PLC hasta sistemas de procesador dúplex. Facilita la conversión del código de PLC entre distintos tipos de PLC y la reutilización completa de programas de control creados con software de programación de PLC de generaciones anteriores. Además de un entorno de programación exhaustivo, proporciona todas las herramientas necesarias para proyectar, probar y depurar cualquier sistema de automatización.

Se incluye una función de comparación de proyecto para permitir la comparación detallada entre el proyecto del PLC y el del PC. La fácil integración con otros productos de software de Omron permite compartir comentarios de etiquetas para reducir los errores, acortar el tiempo de desarrollo y aumentar la facilidad de uso.

Las características de mantenimiento permiten la búsqueda sencilla de contactos y bobinas con un solo clic, lo que permite la identificación rápida de la causa de las interrupciones del subsistema, a la vez que las funciones de supervisión, visualización y depuración reducen el tiempo de ingeniería y los costes de implementación. La supervisión avanzada de seguimiento de datos y de cronograma reduce el tiempo de mantenimiento y de detección y corrección de problemas. Se puede utilizar para ajustar el rendimiento del subsistema o reducir y optimizar el tiempo de ciclo de la misma.

2.6.1 Funciones básicas

- Creación, transferencia, supervisión e impresión del programa.
- Creación y edición de la tabla de E/S.
- Creación y transferencia de la configuración del PLC.
- Configuración, transferencia y supervisión de los datos de memoria de E/S.
- Edición *online*.
- Seguimiento de datos.
- Supervisión del cronograma.
- Configuración y supervisión de los parámetros de comunicaciones de la red.
- Prueba de comunicaciones.

2.7 Diagrama de etapa-transición: el grafcet

Según (Llopis et al., 2010), se define un sistema dinámico de eventos discretos como aquél que evoluciona entre un número finito de estados discretos y cuyo paso de un estado a otro depende del valor de determinadas variables binarias. El Grafcet es una herramienta adecuada para representar sistemas de eventos discretos. Los lugares se llaman etapas. Las etapas tienen acciones asociadas (normalmente salidas), que se activan cuando la etapa está activa.

Un diagrama de etapa-transición (Grafcet) es un grafo orientado, formado por dos tipos de nodos, las etapas (simbolizadas por un cuadrado) y las transiciones (simbolizadas por una línea recta) unidos alternativamente por otras líneas rectas perpendiculares a las transiciones. Se puede unir etapas con transiciones y viceversa, pero nunca elementos iguales. La orientación del grafo es siempre de arriba abajo (se pasa de una etapa a la transición de abajo y de ésta a la etapa de abajo), salvo excepciones en las que la línea que une la etapa y la transición debe tener una flecha indicando el sentido de evolución. El conjunto de etapas activas del Grafcet define el estado del sistema.

2.7.1 Conteo de ejes

Según (Camacho, 2013), un programa consiste en instrucciones que realizan tareas específicas. El grado de complejidad del programa de un PLC depende sobre todo del grado de complejidad de la aplicación, el número y tipo de dispositivos conectados a las entradas y salidas y a los tipos de instrucciones que se usan para programarlo.

La lógica de conteo de ejes (pares de ruedas), se realiza en Grafcet (Figura 2.13), y después se lleva al diagrama de contactos de CX-Programmer. Como se utiliza como propuesta poner dos sensores RSR-123 paralelos en la misma carrilera, para lograr redundancia en el censado, cada vez que pasa un eje se censan sus dos ruedas de forma independiente. En la programación se utiliza la información proveniente de los dos sensores, para lo cual se le asigna a cada uno un contador. Cada vez que pasa un eje los contadores deben dar el mismo valor de conteo, en caso contrario, uno de los dos sensores está defectuoso y se activa una alarma, la cual es un led en el pupitre del operador. La información de error se envía al autómatas de la otra estación a través de la red, para así activar una alarma de la misma forma, e informar al operador que ha ocurrido un fallo en la otra estación. En la Tabla 2.3

se muestra la activación-desactivación de etapas según el sentido de movimiento del tren y la posición de sus ruedas. Cuando el tren se mueve en el sentido del trecho y una rueda pasa desde la posición uno hasta la cinco, se incrementa el contador de ese sensor, lo que significa que hay una rueda en el trecho. Si se mueve en el sentido de la estación, o da marcha atrás desde la posición cinco hasta la uno, se decrementa el contador.

2.8 Algoritmo de fiscalización

En la Figura 2.12 se muestra el algoritmo de funcionamiento del subsistema de fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación.

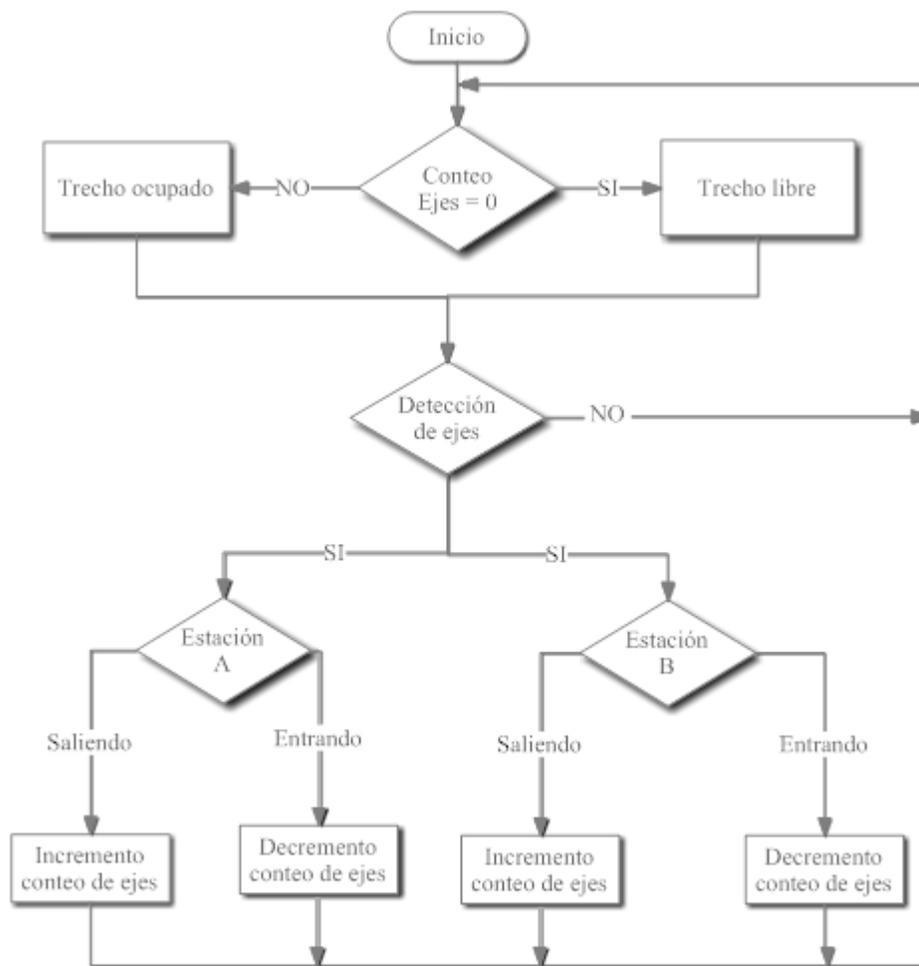


Figura 2.12: Algoritmo general de fiscalización

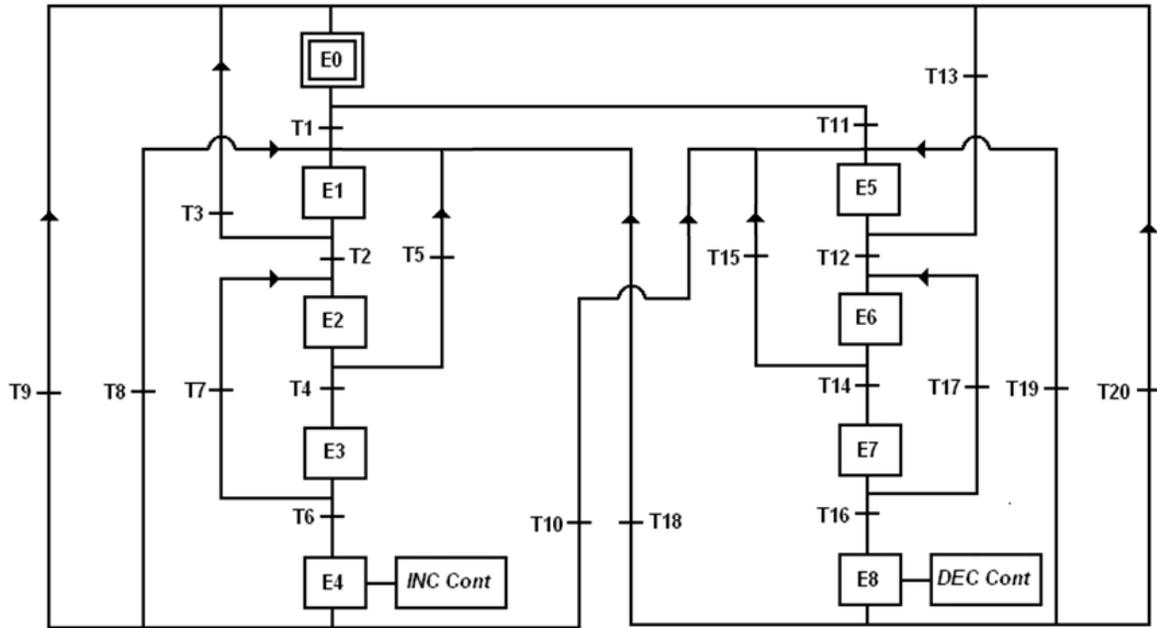


Figura 2.13: Conteo de ejes en Grafcet.

Tabla 2.3: Activación-desactivación de estados según estado de los sensores.

Sistem 1	Sistem 2	Posición de la rueda	Transiciones		Activación de Etapas	
			Sentido del trecho	Sentido de la estación	Sentido del trecho	Sentido de la estación
0	0	1		T3, T16	E0	E8
1	0	2	T1, T8, T17, T18	T5, T14	E1	E7
1	1	3	T2	T12	E2	E6
0	1	4	T4, T15	T7, T10, T11, T19	E3	E5
0	0	5	T6, T13		E4	E0

2.9 Principio de funcionamiento del subsistema de fiscalización automática

La función de este subsistema dentro del BSA es censar la cantidad de ejes que salen de una estación, enviar dicha información hacia la estación siguiente y esperar la confirmación de esta última de que el tren ha llegado completo. Por consiguiente, si no se cumple la condición anterior se ejecuta la protección del subsistema, la cual consiste en mantener el estado de bloqueo de los paneles de los operadores, e informarles que se ha quedado algún

vagón en el trecho, o que ha ocurrido un fallo en el sistema. Dichos mensajes de alerta se realizan mediante las indicaciones lumínicas de leds.

El autómata programable, los convertidores y los sensores de ambas estaciones siempre están energizados. El subsistema 1, correspondiente a la estación A, que es donde se expide el tren, es quien primero censa los ejes, la otra estación queda a la espera. Cada sensor se utiliza para dar un valor de conteo, por tanto se utilizan dos contadores dentro de la programación del autómata para el conteo de ejes. Cada vez que pasa una rueda completa y el resultado de la comparación de los contadores es igual, se envía ese dato de conteo al subsistema dos en la estación B. Si la comparación da diferente, se señala en el pupitre del operador, que ha ocurrido un error, y se envía un mensaje de error al autómata de la otra estación. El subsistema 2 almacena el valor de conteo seguro de la estación anterior mientras espera por el arribo del tren. Cuando esto sucede, el autómata realiza la función programada para la obtención de su propio valor de conteo seguro. Cuando se detecta que entraron a la estación la misma cantidad de ejes que salieron de la otra, se activan los tres relés de desbloqueo, de ser diferente se mantiene el estado de bloqueo, la cual se le informa a cada operador mediante las indicaciones lumínicas de leds. Los relés de desbloqueo se conectan en el circuito del BSA, en serie con el botón de información de llegada completa, que es el que en realidad desbloquea los pupitres de ambas estaciones. Mientras los relés de salida del autómata estén desactivados, el operador no puede desbloquear el sistema.

2.10 Conclusiones parciales

Efectuado el análisis de un subsistema orientado a la seguridad, basado en autómatas programables, se pueden concluir los siguientes aspectos:

- Se puede aumentar el nivel de seguridad de un sistema utilizando el principio de la redundancia, tanto de hardware como de software.
- En los sistemas de seguridad es muy importante que cada uno de sus componentes tenga seguridad intrínseca.
- La elaboración del algoritmo de funcionamiento de un sistema es un paso esencial antes de su implementación en tiempo real.

CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA Y ANÁLISIS DEL SUBSISTEMA

En este capítulo se demuestra cómo el diseño del subsistema se complementa de manera satisfactoria al sistema de BSA, para garantizar la seguridad del movimiento de los trenes. Se realiza la programación del autómata y se analiza el correcto funcionamiento del programa a través de simulación. Se realiza el impacto económico y medioambiental del diseño propuesto. Se analizan sus prestaciones a partir de los requerimientos de seguridad y su similitud con el ACS2000.

3.1 Similitudes del subsistema diseñado con respecto al ACS 2000

En el capítulo anterior se define algunos requerimientos para realizar un diseño orientado a la seguridad. Para conseguirlo se toma como referencia el sistema profesional de conteo de ejes ACS2000, de la compañía austriaca *Frauscher Sensortechnik*, el cual posee una arquitectura con seguridad intrínseca (*fail-safe*), y cumple con las normas exigidas por la comisión europea para la seguridad de los sistemas de señalización y control ferroviarios.

A continuación se mencionan las características del subsistema propuesto que coinciden con la arquitectura y funcionamiento del ACS2000, o lo superan técnicamente, con vistas a demostrar el aumento de seguridad que proporcionaría al BSA si se llegara implementar.

- El autómata redundante CS1D de la firma Omron es un dispositivo con seguridad intrínseca, a prueba de fallos.
- El autómata ofrece al operador información sobre el estado del mismo a través de indicaciones lumínicas.

- La programación de la lógica de conteo de ejes se realiza siguiendo el principio de aumentar el conteo en el caso de ser un tren entrante en el trecho y disminuirlo en el caso de ser un tren saliente del trecho, considerando así el trecho libre cuando la diferencia algebraica entre los dos conteos de ambas estaciones es cero.
- Para la detección de las ruedas se utilizan dos sensores RSR123, con grado de protección IP68, empleando así redundancia en el censado.
- Se utilizan separadores galvánicos como medio de protección de los módulos de entrada del autómata y de la inducción de campos eléctricos externos.
- A través de los módulos Ethernet del autómata se puede enviar y recibir información.
- El autómata permite tener más de 12 puntos de conteo, si se le ponen módulos de expansión.

Analizadas las características anteriormente mencionada, se puede decir que el subsistema propuesto cumple con los requisitos básicos para un sistema orientado a la seguridad.

3.2 Análisis de compatibilidad del subsistema propuesto con el BSA

Como se menciona anteriormente, el sistema de BSA implementa tecnología a relés de primera clase de seguridad, por tanto el diseño y montaje del subsistema de fiscalización automática no debe alterar en modo alguno la arquitectura ni la operación del BSA. Para los especialistas en señalización ferroviaria, la ausencia de un subsistema para realizar la comprobación automática de la llegada completa de un tren a una estación, es considerada como un problema grave que afecta el nivel de seguridad del BSA, y por consiguiente, el movimiento seguro de los trenes por los trechos.

Nunca en Cuba se ha implementado este tipo de subsistema, debido a que no se tiene la suficiente experiencia de trabajo con los sistemas modernos de señalización y control del tráfico ferroviario. Por tanto, adaptar un subsistema que realice esa función a un sistema convencional a relés ha significado siempre un reto para el personal de la especialidad en señalización ferroviaria en Cuba.

Teniendo en cuenta los problemas anteriormente mencionados, el diseño del subsistema, como propuesta a los ferrocarriles de Cuba, se realiza teniendo en cuenta su compatibilidad con el BSA.

A continuación se exponen las características principales del subsistema diseñado, donde se demuestra su compatibilidad con el sistema de BSA:

- Su diseño se realiza siguiendo un conjunto de requerimientos para sistemas orientados a la seguridad.
- Realiza sus operaciones de fiscalización de forma independiente al BSA, solamente se enlaza al mismo a través de sus salidas, por lo que no interviene en su funcionamiento de bloqueo.
- Dependiendo del conteo de ejes en el trecho, actúa sobre cuatro relés, los cuales se ubican en el diagrama de circuito del BSA, en serie con el botón de información de llegada completa, lo que imposibilita al operador desbloquear el trecho si queda algún vagón en el mismo.
- Informa al operador de cualquier fallo del subsistema de fiscalización a través de las indicaciones lumínicas de un led ubicado en el pupitre de mando.

3.3 Programación del autómata

3.3.1 Configuración y creación del proyecto

Para crear el proyecto de fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación, antes de realizar la programación se selecciona el PLC CS1D-CPU67H y la red de comunicación *Ethernet* (ver Figura 3.1). La red *Ethernet* no se configura, porque no es objetivo de este trabajo de investigación.

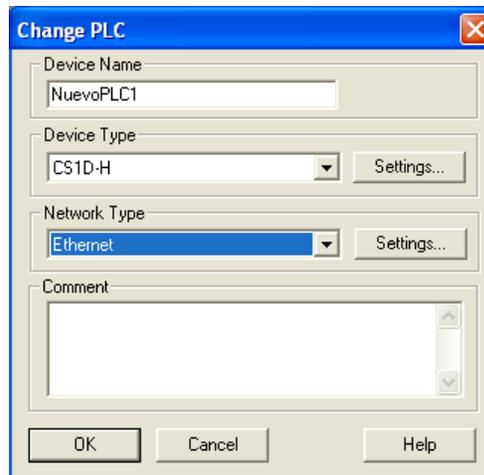


Figura 3.1: Ventana de proyecto nuevo

3.3.2 Entorno de programación

Una vez creado el proyecto, se accede al área de trabajo, denominado editor de diagrama de relés, para crear el programa en diagrama de contactos. Se configura la tabla de E/S del PLC. Como se aprecia en la Figura 3.2, la configuración es de un módulo de entrada digital de 32 puntos (CS1W-ID231), un módulo de salida digital de 32 puntos (CS1W-OD231), un módulo de entrada analógica de 16 puntos (CS1W-AD161), y por último los dos módulos de comunicación Ethernet (CS1D-ETN21D).

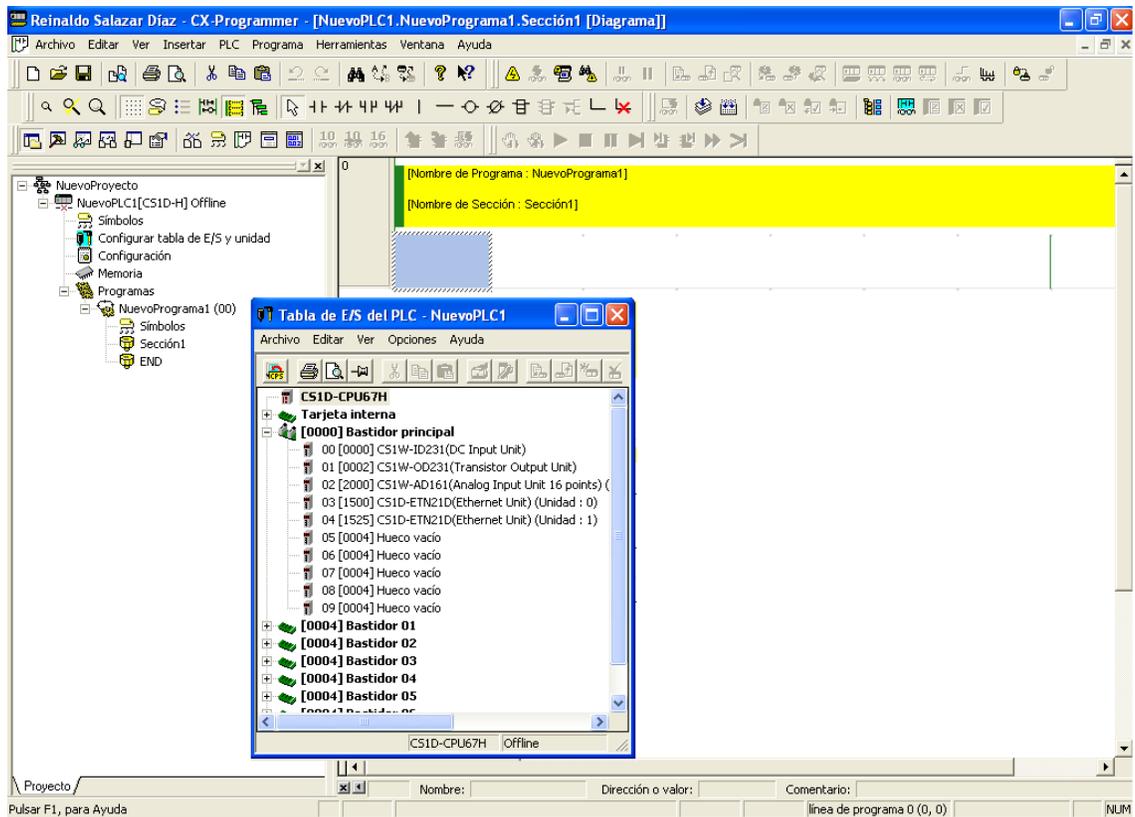


Figura 3.2: Entorno de programación y configuración de la tabla de E/S

3.3.3 Configuración de la señal de entrada del módulo analógico

Una vez configurada la tabla de E/S se editan los parámetros (ver Figura 3.3) del módulo de entrada analógica CS1W-AD161. Para lo cual se habilitan las 16 entradas, y se selecciona el tipo de variable analógica con el que se va a trabajar (4-20mA).

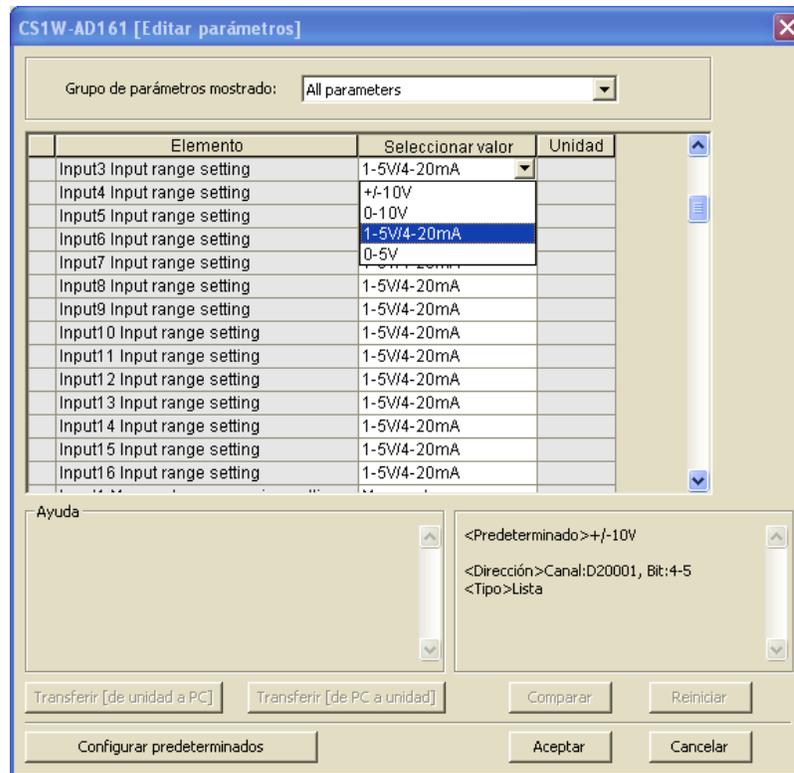


Figura 3.3: Ventana para la configuración de la señal de entrada analógica

3.3.4 Programa de conteo de ejes y fiscalización

El programa de fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación se organiza en secciones para mejorar la visibilidad del mismo y asignar nombres para indicar el contenido de procesamiento (ver Anexo VI). Las secciones son funciones de CX-Programmer para crear/mostrar “bloques” de programa dividido por función (ver Anexo V) (Omron, 2009).

En la sección: Escalados, se convierten las señales analógicas de los sensores al lenguaje de ingeniería y comprensible por el autómata. En las secciones: Mov_Rued_Estac_CabA_1, Mov_Rued_Estac_CabA_2, Mov_Rued_Estac_CabB_1, y Mov_Rued_Estac_CabB_2, se desarrolla la lógica relativa al movimiento de las ruedas del tren en el sentido de la estación, mediante la implementación del Grafcet de conteo de ejes. En las secciones: Mov_Rued_Trech_CabA_1, Mov_Rued_Trech_CabA_2, Mov_Rued_Trech_CabB_1, y Mov_Rued_Trech_CabB_2, se implementa la lógica de movimiento de las ruedas en el sentido del trecho, además de los contadores de incremento/decremento para almacenar el valor de la cantidad de ejes que se detectan en el trecho, y de las condiciones mediante

comparadores para saber si el tren sale y después entra. En las secciones: Bloqueo_CabA y Bloqueo_CabB, se implementa la condición de que si a través de cualquiera de los contadores relativos a los sensores se detecta que hay ejes en el trecho, se desactivan los relés de salida para impedir que el operador pueda desbloquear el trecho estando el mismo ocupado. En las secciones: Sentido_Dirección_CabA y Sentido_Dirección_CabB se ponen contadores para saber si el tren se mueve en el sentido del trecho o de la estación. En las secciones: ComunicaciónC y ComunicaciónA se realizan las comunicaciones de la cabecera A y B de una estación con las dos estaciones colaterales. Se realiza el envío de conteo, cuando se determina que el tren se mueve en el sentido del trecho, los dos conteos dan iguales, y se detecta un flanco de bajada en el sensor inductivo interno del lado del trecho. Se realiza el envío de error. Se realiza el envío de desbloqueo a cuando se detecta que el tren se mueve en el sentido del trecho, y no ha ocurrido ningún error. En las secciones: Desbl_CabB_Expide y Desbl_CabA_Expide, se activan los relés que permiten el desbloqueo si no se detecta error y se recibe la señal de desbloqueo. En las secciones: Comp_Est_Salidas_CabA y Comp_Est_Salidas_CabB se comprueba el estado de las salidas, utilizando un principio dos de tres, para activar la señal de error. En las secciones: Error_CabA y Error_CabB se activa el bit de error. En situaciones extremas o de fallo, el operador puede reiniciar el subsistema con el botón Reiniciar_Subsistema, el cual reseteará todos los contadores y variables internas del programa.

3.4 Simulación con el autómata

Se comprueba el correcto funcionamiento del programa de conteo de ejes y fiscalización automática mediante la simulación de las siguientes situaciones:

- Se detecta la presencia de ejes con los sensores, mediante los valores de la corriente de salida de los mismos (ver Anexo VII y Anexo VII).
- Cuando se detecta la presencia de ejes en el trecho se desactivan los relés de salida (ver Anexo IX).
- Cuando el tren se mueve en el sentido del trecho y se detecta la presencia de ejes en el trecho, se incrementa el conteo de los contadores (ver Anexos X, XI, XII, XIII, y XIV).

- Cuando el tren se mueve en el sentido de la estación y se detecta la presencia de ejes en la estación, se decrementa el conteo de los contadores (ver Anexos XV, XVI, XVII, XVIII, y XIX).
- El envío del dato de conteo (ver Anexo XX).
- El envío de error (ver Anexo XXI).
- El envío de desbloqueo (ver Anexo XXII).
- Se detecta error en el subsistema (ver Anexos XXII, XXIII y XXIV).
- Se activan los relés de salida que permiten desbloquear el trecho (ver Anexo XXV).

Con las pruebas realizadas, queda demostrada la factibilidad técnica de usar autómatas programables para la aplicación.

3.5 Acondicionamiento de las señales de entrada al autómata

Se configuraron los switch de entrada y salida del convertidor para utilizar como rango de la señal de entrada de 0 a 10mA, y el de salida de 4 a 20mA. Se simula la señal de salida del sensor RSR123, para comprobar el correcto funcionamiento del convertidor de señal. Para esto se utilizan los siguientes elementos:

- Simulador de corriente con rango 0-20mA.
- Multímetro.
- Fuente regulable de voltaje.

Se alimenta el convertidor con un voltaje de 9V. Luego se simula una señal de 0mA a la entrada del convertidor, como valor mínimo de la señal de salida del sensor, dando a la salida del convertidor 4mA (ver Anexo XXVI).

Con el procedimiento anterior se comprueba físicamente que es factible utilizar el convertidor para la estandarización de la señal de entrada al autómata.

3.6 Costo económico

En la investigación realizada en el sector ferroviario y en las bibliografías consultadas no se encontraron argumentos sólidos que permitieran realizar un análisis comparativo de costo

económico ni de ingresos, siendo el objetivo fundamental de la investigación, incrementar los niveles de seguridad en el sector ferroviario, haciéndolo más eficiente y seguro.

Para determinar el costo total de la inversión (ver Tabla 3.1) se buscan los precios del equipamiento propuesto (a través del personal del CEDAI Camagüey), y se suman. Los costos de proyecto, implementación y mantenimiento se avalan por medio de ofertas realizadas por el CEDAI Camagüey, a partir de una solicitud realizada, las cuales se muestran en los Anexos I, II, y III.

Tabla 3.1. Costos del subsistema propuesto

<i>Costos</i>	<i>Euro</i>	<i>CUP</i>	<i>CUC</i>	<i>Total</i>
Costo equipamiento	31629,39		41434,50	41434,50
Costo proyecto		4254,24	1759,00	6013,24
Costo implementación		6380,27	2637,22	9017,49
Costo mantenimiento anual		854,80	361,70	1216,50
Total		11489,31	46192,42	57681,73

No se realiza un análisis comparativo de costo-producto, porque el objetivo propuesto es incrementar la seguridad en el sistema ferroviario en Cuba, e implementar sistemas que permitan un uso más eficiente de las instalaciones ferroviarias.

3.7 Impacto medioambiental

El subsistema propuesto, disminuye los factores de riesgo de ocurrencia de accidentes y eventos no deseados, los cuales pueden ser catastróficos y de consecuencias impredecibles para el medio ambiente y la población humana. Esto es muy favorable, porque el ferrocarril es un medio de transporte sumamente utilizado para mover grandes cantidades de materiales tóxicos como el amoníaco, diesel, lubricantes, etc. Un derrame de cualquiera de estas sustancias podría provocar daños irreversibles al medio ambiente y por lo tanto, a los seres humanos. El hecho de evitar accidentes de consecuencias imprevisibles que pudieran

ocasionar daños a la ecología y a las personas es de por sí el mayor regalo al medio ambiente, porque, ¿qué mejor aporte a la naturaleza que proteger vidas humanas?

3.8 Conclusiones parciales

- La implementación de este proyecto puede contribuir en gran medida al mejoramiento en la calidad de los servicios en la rama ferroviaria, debido al aumento del nivel de seguridad de la misma, lo que constituye un factor importante para la conservación de vidas humanas y bienes materiales.
- La simulación es un método efectivo cuando se trata de observar que ocurre en determinadas situaciones que resulten complicadas de reproducir en la realidad, además de ser una forma de prever resultados.
- Para el desarrollo e implementación de aplicaciones de seguridad, de las cuales depende la vida de personas, el costo económico no puede ser una limitante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Como resultado final logrado con esta investigación, se tiene la propuesta de un subsistema para realizar la fiscalización automática de la llegada completa de un tren a una estación, que cumple con los requisitos especificados para las aplicaciones de seguridad en el ferrocarril, lo cual queda comprobado mediante simulación. A partir de los resultados obtenidos se plantean las conclusiones generales siguientes:

- A partir de la valoración efectuada del marco teórico relativa a los sistemas de señalización y control en las redes ferroviarias, se determina que la solución para fiscalizar de manera automática la llegada completa de un tren a una estación debe desarrollarse por el método de conteo de ejes.
- El BSA implementado en Cuba realiza sus funciones de bloqueo eléctrico de manera segura, pero al analizarlo como sistema, su falta de control sobre la ocupación/desocupación del trecho, lo convierte en un sistema incompleto y con altos factores de riesgo.
- El equipamiento del subsistema, es capaz de cumplir con los requerimientos de seguridad de diseño de instalaciones para el control de movimiento de trenes.
- El programa de fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación demuestra las ventajas indiscutibles que proporcionan los autómatas programables en los sistemas de control.

- Con la simulación se demuestra que el subsistema propuesto, garantiza la circulación segura de los trenes por los trechos, por lo que constituye una solución adecuada para aumentar el nivel de seguridad del BSA.
- El trabajo de investigación realizado constituye un punto de partida para comenzar el estudio de otros métodos para controlar la presencia de trenes, o partes del mismo, en determinados trechos, lo que favorece el desarrollo de otras investigaciones sobre el tema.

Recomendaciones

Como principales recomendaciones del presente trabajo se proponen:

- Continuar el estudio de sistemas de señalización y control de tráfico ferroviario, que se utilizan en el mundo, con vistas a encontrar otras formas de controlar la ocupación/desocupación de trechos, para garantizar la integridad de trenes.
- Configurar las redes del esquema general propuesto, para la comunicación entre los subsistemas de las estaciones, y cada uno de los componentes que la conforman, buscando garantizar la seguridad en el envío y recepción de información de una estación a otra.
- Desarrollar un software SCADA, bajo el mismo esquema, con el objetivo de mostrar el estado operativo de todos los elementos que componen al subsistema, obtener un mayor control sobre la posición de los trenes en todo momento, ocupación de carrileras, estados de los circuitos de vías, evaluación de parámetros eléctricos, etc. De esta forma permitiría localizar, identificar y reaccionar ante cualquier funcionamiento anómalo de forma rápida, permitiendo así obtener un gran ahorro en labores de control, mantenimiento y tiempo de respuesta, aumentando la eficiencia de explotación del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 60529, I. 2003. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- ADVANTAGEAUSTRIA. 2013. Un recorrido por la Tecnología Austriaca. *Infraestructuras de Transporte* [Online]. Available: www.advantageaustria.org/es.
- ÁLVAREZ, J. L. G. 2011. *Realización del Mantenimiento Correctivo de las Instalaciones de Señalización y Elementos Asociados para el Tramo Barcelona – Figueras, de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa* Universidad Carlos III de Madrid.
- CABALLERO, J. M. 2011. *Diseño de las Instalaciones de Señalización, Control de Tráfico Centralizado, protección y seguridad y sistemas auxiliares de detección del tren para un tramo de línea de alta velocidad*. Universidad Pontificia Comillas.
- CAMACHO, A. 2013. Texto guía para el curso Sistemas de Automatización- Nivel 2 *Ideas Automation*
- CHAKRABORTY 2009. Fault Tolerant Fail Safe System for Railway Signalling.
- ESCRIBANO, I. R. 2008 *Simulador de enclavamientos y bloqueos ferroviarios*. Universidad Pontificia Comillas.
- ESTEBAN, M. F. 2013. *Determinación de las variables de accidentalidad ferroviaria en las que interviene el factor humano: valoración del riesgo en los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario español*. Doctoral, Universidad de Valencia.
- FONTELA, J. L. 2007. Sistemas de ATP.
- FRAUSCHER 2008. Application examples of the axle counting system ACS2000 *Frauscher GmbH*.
- FRAUSCHER 2011a. Austrian Showcase "Eisenbahntechnologie" Bangkok 7th-8th June 2011. *Frauscher Sensortechnik GmbH*.
- FRAUSCHER 2011b. Wheel sensor RSR123 *Frauscher GmbH*. Australia.
- FUENTES, A. L. 2013. *Optimización de la posición de balizas Infil en línea suburbana para ERTMS nivel 1 mediante la creación de una herramienta de simulación* Ingeniero, Universidad Pontificia Comillas.

- FUENTETAJA, J. T. 2012. *Seguridad en la Circulación de los trenes de la Red Ferroviaria Española, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Catalunya*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- GIOL, J. P. 2013. Las implementaciones de sistemas de gestión de tráfico y la seguridad en la circulación entre 1975 y 2009. *Vía Libre - Técnica España*.
- GONZÁLEZ, D. L. 2011. *Simulador de enclavamientos y movimiento de trenes en líneas ERTMS NIVEL1*. Universidad Pontificia Comillas.
- GRUNDNIG, G. 2012a. State of the Art Wheel Detection and Axle Counting Systems. *Frauscher Sensortechnik GmbH*. 28 March 2012 ed. Australia.
- GRUNDNIG, G. & PUCHER, C. 2012b. State of the art in Wheel Detection. *Frauscher Sensortechnik GmbH* Australia.
- HERRANZ, S. Comunicaciones en Entornos Ferroviarios: Eurobaliza. Comunicaciones Ferroviarias e Instalaciones de Seguridad, 18 de Febrero de 2009 2009 Madrid, Hotel NH Príncipe de Vergara.
- KINZE, L. 2011. GFM Technology at DB AG and Experiences with Axle Counting Systems.
- LAVÍN, A. Í. 2009. *Simulador de enclavamientos y bloqueos ferroviarios siguiendo una metodología de desarrollo de sistemas críticos de seguridad basada en UML*. Ingeniero, Universidad Pontificia Comillas.
- LEÓN, F. M. 2007. Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución. *Anales de mecánica y electricidad*.
- LLOPIS, R. S., PÉREZ, J. A. R. & LATORRE, C. V. A. 2010. Automatización industrial.
- MARTÍNEZ, J. D. M. 2009. *Mejora de las Instalaciones de Seguridad en la Línea C5 de Cercanías* Ingeniero, Universidad Carlos III de Madrid.
- MARTÍNEZ, J. P. & AGOSTA, R. Señalización y Seguridad. Transporte Ferroviario, 20 de octubre de 2008 2008 Universidad Católica de Argentina.
- MATOS, J. C. D. Explotación Ferroviaria. Señalización y sistemas de protección ferroviaria, 15 de marzo 2013 2013a Catalunya.
- MONTES LEÓN, F. 2011. *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*.
- MUÑOZ, P. H. 2013. *Estudio de la capacidad de tráfico de una estación de trenes mediante un simulador funcional en PC*. Universidad Pontificia Comillas.
- OMRON 2006. Analog I/O Units Operation Manual.
- OMRON 2008a. CS1D Duplex System.
- OMRON 2008b. Ethernet Units for CS1D PLCs.
- OMRON. 2009. CX-Programmer Introduction Guide.
- PUCHER, C. 2013. Wheel Detection Forum. *Magazine for wheel detection & axle counting*.

RAIL, N. 2011. ACS2000 and RSR123. *Frauscher Sensortechnik GmbH* United Kingdom.

RODRÍGUEZ, M. A. C. 2010. *Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario, ERTMS-N1, para líneas convencionales*. Universidad Carlos III de Madrid.

ROSENBERGER, M. 2012b. Future Challenges to Axle Counting Systems.

SAÑA, A. B. ERTMS. Señalización y sistemas de protección ferroviaria 2013 Catalunya.

VICENTE, D. G. & ARRIBAS, F. G. 2010. *Simulador de elementos de campo para el control de tráfico ferroviario*. Ingeniero, Universidad Complutense de Madrid.

WEIDMÜLLER 2010. UPAC Analog DC Ultra SlimPak analogue transmitter DC.

ANEXOS

Anexo I Oferta del proyecto ejecutivo

	PROCESO DE NEGOCIO		Código: R9.3-PC1			
			Fecha: 06-04-14			
			Revisión: 0			
	Oferta		Versión: 2			
			Página: 1 de 2			
DIRECCIÓN TERRITORIAL CEDAI CAMAGÜEY						
UBICACIÓN: Calle 2da Esq A Rpto "La Guernica". Telef: 272163, 285354, 285373						
CLIENTE: Ferrocarriles		Oferta No. 14-6				
ATENCION:		Fecha: 09/06/2014				
CARGO:		Código: 161,0,4953				
VENDEDOR: CEDAI Dirección Territorial Camagüey						
CUENTA CUC: 32101490500						
CUENTA CUP: 40250110233009						
LICENCIA No: G068760003						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	CUP	CUC	
1,00	Servicio de elaboración de proyecto ejecutivo para Sistema automático en ferrocarriles.	u	1	4254,24	1759,95	
2,00	Contenido del trabajo:					
2,01	Reunión para compatibilización entre especialidades.					
2,02	Ingeniería de detalle.					
2,03	Documentos de control por proyectos:					
2,04	Preparación de la documentación de proyecto					
2,05	Preparación de oferta comercial					
Materiales						
Ingeniería, Montaje y Puesta en Marcha				4.254,24	1.759,95	

IMPORTE TOTAL 4254,24 1759,95	
CONDICIONES GENERALES DE LA OFERTA	
Plazo de entrega: 4-6 semanas	
Forma de Pago: Cheque (MN y CUC) a nombre de EES EMP. DE AUTOMATIZACIÓN INTEGRAL CEDAI	
Validez de la Oferta: 30 días	
Vendedor:	Confirmado por el Cliente:
Nombre y Apellidos: Raymara de la Cruz Barroso	Nombre y Apellidos:
Cargo: Especialista	Cargo:
Fecha: 09/06/2014	Fecha:

Anexo II Oferta implementación del proyecto

	PROCESO DE NEGOCIO		Código: R9.3-PC1			
			Fecha: 06-04-14			
			Revisión: 0			
	Oferta		Versión: 2			
		Página: 1 de 2				
DIRECCIÓN TERRITORIAL CEDAI CAMAGÜEY						
UBICACIÓN: Calle 2da Esq A Rpto "La Guernica". Telef: 272163, 285354, 285373						
CLIENTE: Ferrocarriles			Oferta No.	14-7		
ATENCION:			Fecha:	09/06/2014		
CARGO:						
VENDEDOR: CEDAI Dirección Territorial Camagüey			Código:	161,0,4953		
CUENTA CUC: 32101490500						
CUENTA CUP: 40250110233009						
LICENCIA No: G068760003						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	CUP	CUC	
1,00	Servicio de implementación de Sistema automático en ferrocarriles.	u	1	6380,27	2637,22	
2,00	Contenido del trabajo:					
2,01	Desarrollo del software del PLC.					
2,02	Construcción de la pizarra de control.					
2,03	Conexión de panel de control con elementos externos.					
2,04	Puesta a punto del sistema					
Materiales						
Ingeniería, Montaje y Puesta en Marcha				6.380,27	2.637,22	
				IMPORTE TOTAL	6380,27	2637,22
CONDICIONES GENERALES DE LA OFERTA						
Plazo de entrega: 4-6 semanas						
Forma de Pago: Cheque (MN y CUC) a nombre de EES EMP. DE AUTOMATIZACIÓN INTEGRAL CEDAI						

Validez de la Oferta: 30 días	
Vendedor: Nombre y Apellidos: Raymara de la Cruz Barroso Cargo: Especialista Fecha: 09/06/2014	Confirmado por el Cliente: Nombre y Apellidos: Cargo: Fecha:

Anexo III Oferta de mantenimiento al sistema

	PROCESO DE NEGOCIO				Código: R9.3-PC1	
					Fecha: 06-04-14	
	Oferta				Revisión: 0	
					Versión: 2	
					Página: 1 de 2	
DIRECCIÓN TERRITORIAL CEDAI CAMAGÜEY						
UBICACIÓN: Calle 2da Esq A Rpto "La Guernica". Telef: 272163, 285354, 285373						
CLIENTE: Ferrocarriles			Oferta No. 14-5			
ATENCION:			Fecha: 09/06/2014			
CARGO:						
VENDEDOR: CEDAI Dirección Territorial Camagüey			Código: 161,0,4953			
CUENTA CUC: 32101490500						
CUENTA CUP: 40250110233009						
LICENCIA No: G068760003						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	CUP	CUC	
1,00	Servicio de Postventa y mantenimiento para Sistema automático en ferrocarriles.	u	1	427,40	180,85	
2,00	Contenido del Mantenimiento:					
2,01	Eliminación del polvo en las partes activas.					
2,02	Limpieza de techo, laterales, tapas frontales del panel.					
2,03	Revisión del apriete de las conexiones.					
2,04	Verificación del estado de la batería.					
2,05	Comprobación de software del PLC					
2,06	Elaboración y entrega de la carpeta técnica					
Observaciones:						
El valor de la oferta actual se corresponde a un mantenimiento, la frecuencia de ejecución se pactará entre ambas partes, se recomienda realizarlos cada 6 meses						
Materiales						

Ingeniería, Montaje y Puesta en Marcha	427,40	180,85
<u>IMPORTE TOTAL</u>	427,40	180,85
<u>CONDICIONES GENERALES DE LA OFERTA</u>		
Plazo de entrega: 4-6 semanas		
Forma de Pago: Cheque (MN y CUC) a nombre de EES EMP. DE AUTOMATIZACIÓN INTEGRAL CEDAI		
Validez de la Oferta: 30 días		
Vendedor:	Confirmado por el Cliente:	
Nombre y Apellidos: Raymara de la Cruz Barroso	Nombre y Apellidos:	
Cargo: Especialista	Cargo:	
Fecha: 09/06/2014	Fecha:	

Anexo IV Tabla de símbolos

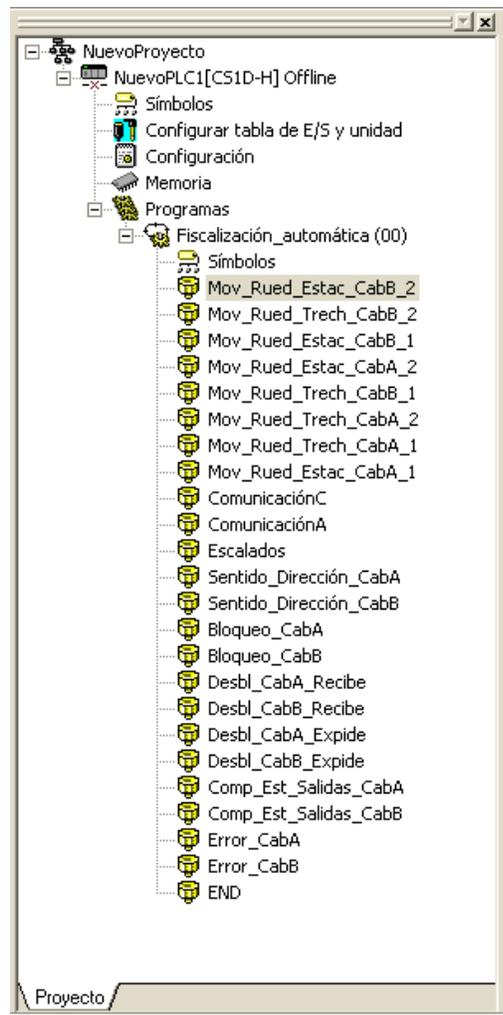
Nombre	Tipo de datos	Dirección / Valor	Ubicación de rack	Uso	Comentario
Ent_RL1_A	BOOL	0.00	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 1 de Desbloqueo Cabecera A
Ent_RL2_A	BOOL	0.01	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 2 de Desbloqueo Cabecera A
Ent_RL3_A	BOOL	0.02	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 3 de Desbloqueo Cabecera A
Ent_RL1_B	BOOL	0.03	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 1 de Desbloqueo Cabecera B
Ent_RL2_B	BOOL	0.04	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 2 de Desbloqueo Cabecera B
Ent_RL3_B	BOOL	0.05	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Estado de Relé 3 de Desbloqueo Cabecera B
Resetear_Subsistema	BOOL	0.15	Bastidor principal : Huevo 00	Entrada	Botón para resetear el subsistema en caso de fallo
Sal_RL1_A	BOOL	2.00	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 1 de Desbloqueo Cabecera A
Sal_RL2_A	BOOL	2.01	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 2 de Desbloqueo Cabecera A
Sal_RL3_A	BOOL	2.02	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 3 de Desbloqueo Cabecera A
Sal_RL1_B	BOOL	2.03	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 1 de Desbloqueo Cabecera B
Sal_RL2_B	BOOL	2.04	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 2 de Desbloqueo Cabecera B
Sal_RL3_B	BOOL	2.05	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Relé 3 de Desbloqueo Cabecera B
Led_Fallo_A	BOOL	2.06	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Led Indicador de Fallo Cabecera A
Led_Fallo_B	BOOL	2.07	Bastidor principal : Huevo 01	Salida	Led Indicador de Fallo Cabecera B
E0_A_1	BOOL	10.00		Trabajo	Etapa 0 Cabecera A Sensor 1
E1_A_1	BOOL	10.01		Trabajo	Etapa 1 Cabecera A Sensor 1
E2_A_1	BOOL	10.02		Trabajo	Etapa 2 Cabecera A Sensor 1
E3_A_1	BOOL	10.03		Trabajo	Etapa 3 Cabecera A Sensor 1
E4_A_1	BOOL	10.04		Trabajo	Etapa 4 Cabecera A Sensor 1
E5_A_1	BOOL	10.05		Trabajo	Etapa 5 Cabecera A Sensor 1
E6_A_1	BOOL	10.06		Trabajo	Etapa 6 Cabecera A Sensor 1
E7_A_1	BOOL	10.07		Trabajo	Etapa 7 Cabecera A Sensor 1
E8_A_1	BOOL	10.08		Trabajo	Etapa 8 Cabecera A Sensor 1
E0_A_2	BOOL	10.09		Trabajo	Etapa 0 Cabecera A Sensor 2
E2_A_2	BOOL	10.10		Trabajo	Etapa 2 Cabecera A Sensor 2
E1_A_2	BOOL	10.10		Trabajo	Etapa 1 Cabecera A Sensor 2
E3_A_2	BOOL	10.11		Trabajo	Etapa 3 Cabecera A Sensor 2
E4_A_2	BOOL	10.12		Trabajo	Etapa 4 Cabecera A Sensor 2
E5_A_2	BOOL	10.13		Trabajo	Etapa 5 Cabecera A Sensor 2
E6_A_2	BOOL	10.14		Trabajo	Etapa 6 Cabecera A Sensor 2
E7_A_2	BOOL	10.15		Trabajo	Etapa 7 Cabecera A Sensor 2
E8_A_2	BOOL	11.00		Trabajo	Etapa 8 Cabecera A Sensor 2
E0_B_1	BOOL	11.01		Trabajo	Etapa 0 Cabecera B Sensor 1
E1_B_1	BOOL	11.02		Trabajo	Etapa 1 Cabecera B Sensor 1
E2_B_1	BOOL	11.03		Trabajo	Etapa 2 Cabecera B Sensor 1
E5_B_1	BOOL	11.06		Trabajo	Etapa 5 Cabecera B Sensor 1
E6_B_1	BOOL	11.07		Trabajo	Etapa 6 Cabecera B Sensor 1
E7_B_1	BOOL	11.08		Trabajo	Etapa 7 Cabecera B Sensor 1
E8_B_1	BOOL	11.09		Trabajo	Etapa 8 Cabecera B Sensor 1
E0_B_2	BOOL	11.10		Trabajo	Etapa 0 Cabecera B Sensor 2
E1_B_2	BOOL	11.11		Trabajo	Etapa 1 Cabecera B Sensor 2
E2_B_2	BOOL	11.12		Trabajo	Etapa 2 Cabecera B Sensor 2
E3_B_2	BOOL	11.13		Trabajo	Etapa 3 Cabecera B Sensor 2
E4_B_2	BOOL	11.14		Trabajo	Etapa 4 Cabecera B Sensor 2
E5_B_2	BOOL	11.15		Trabajo	Etapa 5 Cabecera B Sensor 2
E6_B_2	BOOL	12.00		Trabajo	Etapa 6 Cabecera B Sensor 2
E7_B_2	BOOL	12.01		Trabajo	Etapa 7 Cabecera B Sensor 2
E8_B_2	BOOL	12.02		Trabajo	Etapa 8 Cabecera B Sensor 2
Pal_Error_CabA	CHANNEL	57		Trabajo	Palabra de Error Cabecera A
Bit_Error_CabA	BOOL	57.00		Trabajo	Bit de Error Cabecera A
Pal_Error_CabB	CHANNEL	58		Trabajo	Palabra de Error Cabecera B
Bit_Error_CabB	BOOL	58.00		Trabajo	Bit de Error Cabecera B
Pal_Error_EstC	CHANNEL	60		Trabajo	Palabra de Error en la Estacion C
Error_EstC	BOOL	60.00		Trabajo	Error en la Estacion C
Pal_Error_EstA	CHANNEL	61		Trabajo	Palabra de Error en la Estacion A
Error_EstA	BOOL	61.00		Trabajo	Error en la Estacion A
Pal_Desbl_CabA	CHANNEL	62		Trabajo	Palabra de Desbloqueo que Envía la Cabecera A a la Estacion C
Bit_Desbl_CabA	BOOL	62.00		Trabajo	Bit de Desbloqueo Cabecera A
Pal_Desbl_CabB	CHANNEL	63		Trabajo	Palabra de Desbloqueo que Envía la Cabecera B a la Estacion A
Bit_Desbl_CabB	BOOL	63.00		Trabajo	Bit de Desbloqueo Cabecera B
Pal_Desbl_EstA	CHANNEL	64		Trabajo	Palabra de Desbloqueo de la Estacion A
Desbl_EstA	BOOL	64.00		Trabajo	Desbloqueo de la Estacion A
Pal_Desbl_EstB	CHANNEL	65		Trabajo	Palabra de Desbloqueo de la Estacion B

^ Desbl_EstB	BOOL	65.00		Trabajo	Desbloqueo de la Estacion B
^ Sis_1_A	BOOL	100.00		Trabajo	Sensor Inductivo 1 Cabecera A
^ Sis_2_A	BOOL	100.01		Trabajo	Sensor Inductivo 2 Cabecera A
^ Sis_3_A	BOOL	100.02		Trabajo	Sensor Inductivo 3 Cabecera A
^ Sis_4_A	BOOL	100.03		Trabajo	Sensor Inductivo 4 Cabecera A
^ Sis_1_B	BOOL	100.04		Trabajo	Sensor Inductivo 1 Cabecera B
^ Sis_2_B	BOOL	100.05		Trabajo	Sensor Inductivo 2 Cabecera B
^ Sis_3_B	BOOL	100.06		Trabajo	Sensor Inductivo 3 Cabecera B
^ Sis_4_B	BOOL	100.07		Trabajo	Sensor Inductivo 4 Cabecera B
☰ Sensor1_A_Analogico	CHANNEL	2001	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 1 Cabecera A.
☰ Sensor2_A_Analogico	CHANNEL	2002	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 2 Cabecera A.
☰ Sensor3_A_Analogico	CHANNEL	2003	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 3 Cabecera A.
☰ Sensor4_A_Analogico	CHANNEL	2004	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 4 Cabecera A.
☰ Sensor1_B_Analogico	CHANNEL	2005	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 1 Cabecera B.
☰ Sensor2_B_Analogico	CHANNEL	2006	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 2 Cabecera B.
☰ Sensor3_B_Analogico	CHANNEL	2007	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 3 Cabecera B.
☰ Sensor4_B_Analogico	CHANNEL	2008	Bastidor principal : Huevo 02	Entrada	Valor Analógico del sensor 4 Cabecera B.
☰ Con1_CabeceraA	CHANNEL	C0		Trabajo	Contador 1 Cabecera A
☰ Con2_CabeceraA	CHANNEL	C1		Trabajo	Contador 2 Cabecera A
☰ Con1_CabeceraB	CHANNEL	C2		Trabajo	Contador 1 Cabecera B
☰ Con2_CabeceraB	CHANNEL	C3		Trabajo	Contador 2 Cabecera B
☰ Cont_Sent_TrechoA	CHANNEL	C4		Trabajo	Contador para saber si se mueve el tren en el sentido del Trecho Cabecera A
☰ Cont_Sent_Estacion_A	CHANNEL	C5		Trabajo	Contador para saber si el tren se mueve en el sentido de la Estacion Cabecera A
☰ Cont_Sent_Trecho_B	CHANNEL	C6		Trabajo	Contador para saber si el tren se mueve en el sentido del Trecho Cabecera B
☰ Cont_Sent_EstacionB	CHANNEL	C7		Trabajo	Contador para saber si el tren se mueve en el sentido de la Estacion Cabecera B
☰ ETAPAS	CHANNEL	D0		Trabajo	Todas las etapas
☰ Control_Comunic1	CHANNEL	D50		Trabajo	Cantidad de palabras a enviar a estación.
☰ Control_Comunic2	CHANNEL	D51		Trabajo	Número de la red de destino.
☰ Control_Comunic3	CHANNEL	D52		Trabajo	Número del nodo de destino y dirección de unidad de destino.
☰ Control_Comunic4	CHANNEL	D53		Trabajo	Número del puerto de comunicación y de reintentos.
☰ Control_Comunic5	CHANNEL	D54		Trabajo	Tiempo de monitoreo.
☰ Ent_Sensor1_A	CHANNEL	D2001		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 1 Cabecera A.
☰ Ent_Sensor2_A	CHANNEL	D2002		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 2 Cabecera A.
☰ Ent_Sensor3_A	CHANNEL	D2003		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 3 Cabecera A.
☰ Ent_Sensor4_A	CHANNEL	D2004		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 4 Cabecera A.
☰ Ent_Sensor1_B	CHANNEL	D2005		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 1 Cabecera B.
☰ Ent_Sensor2_B	CHANNEL	D2006		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 2 Cabecera B.
☰ Ent_Sensor3_B	CHANNEL	D2007		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 3 Cabecera B.
☰ Ent_Sensor4_B	CHANNEL	D2008		Trabajo	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 4 Cabecera B.

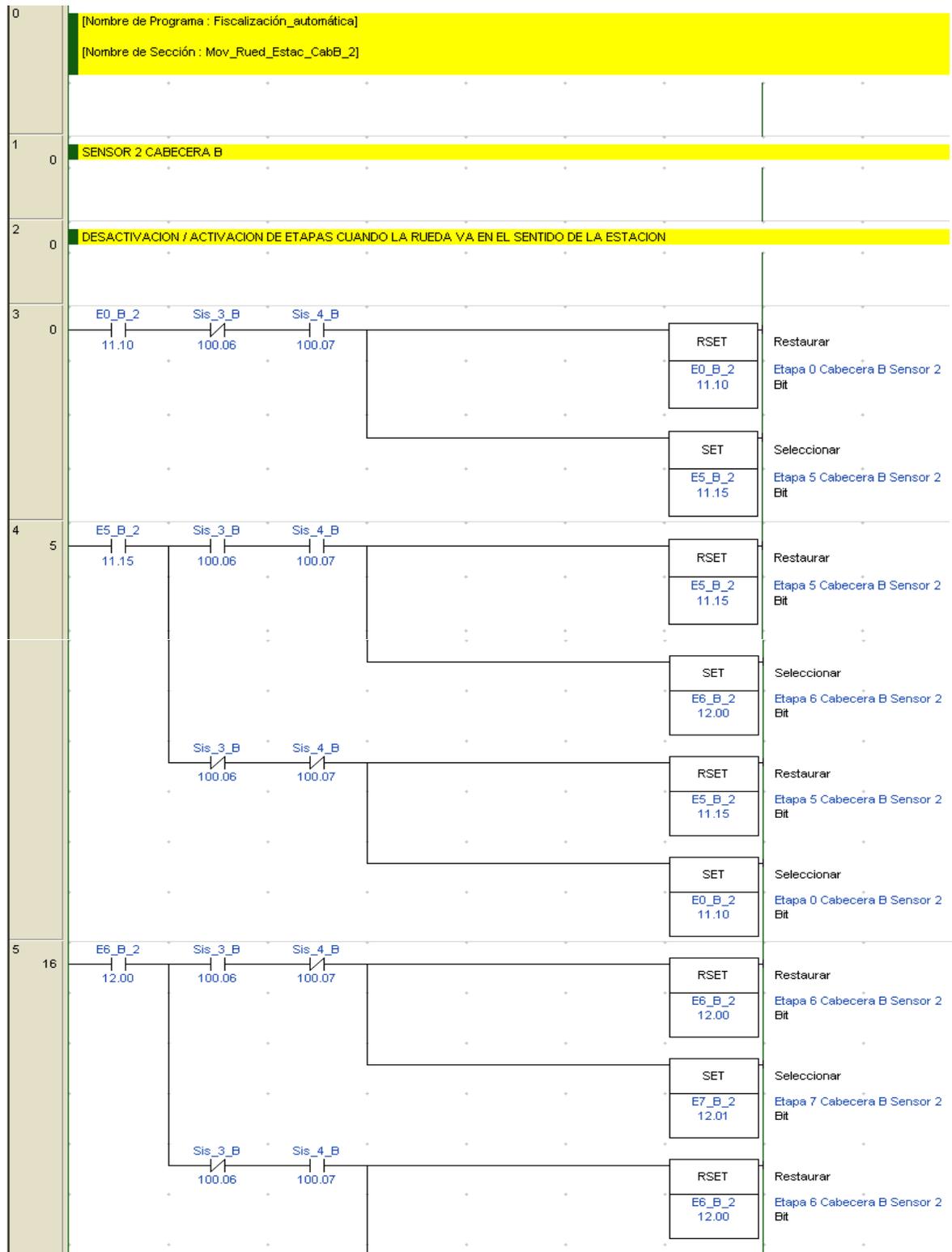
Pulsar F1, para Ayuda

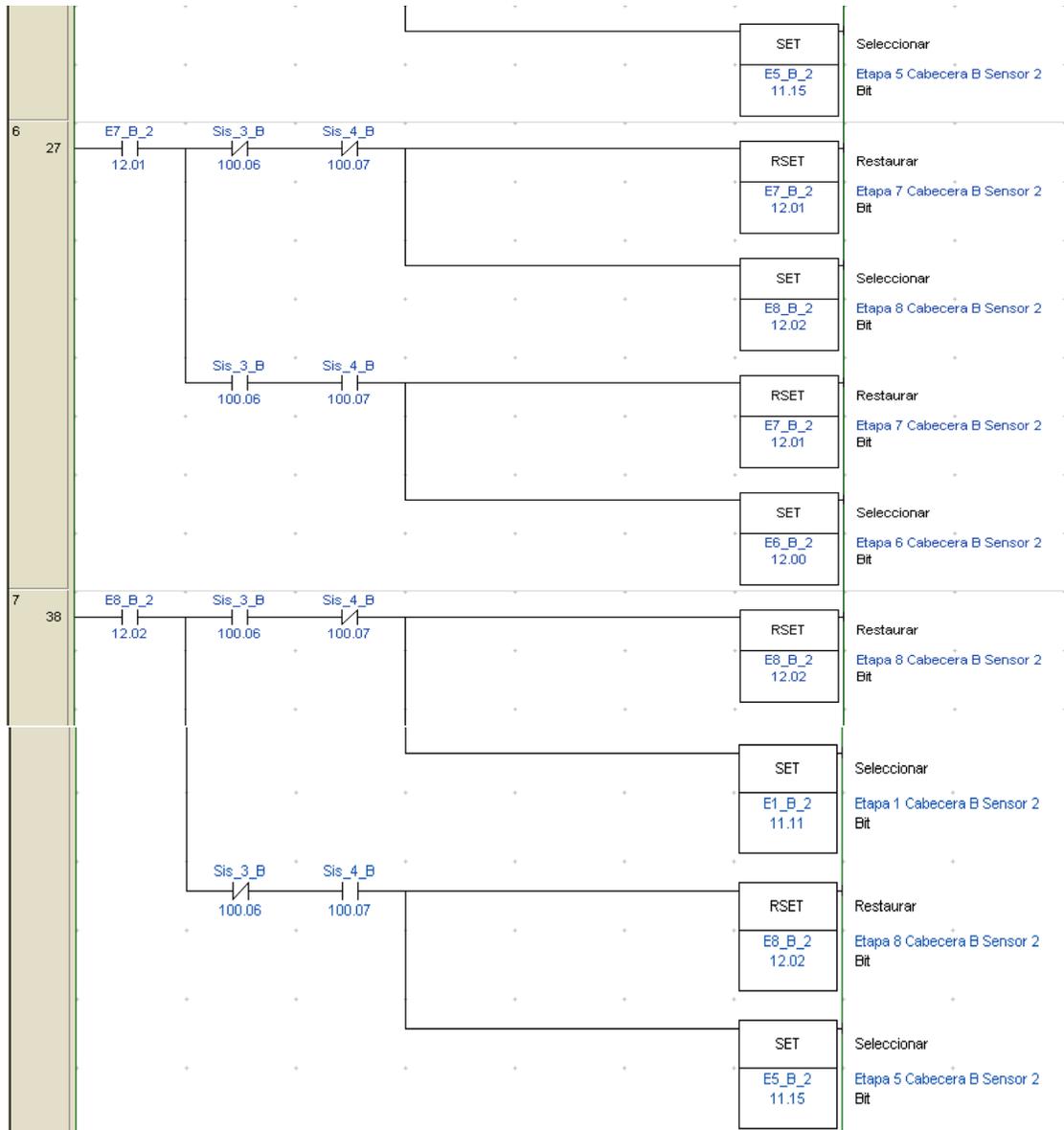
NuevoPLC1(Red:0,Nodo:0) - Offline

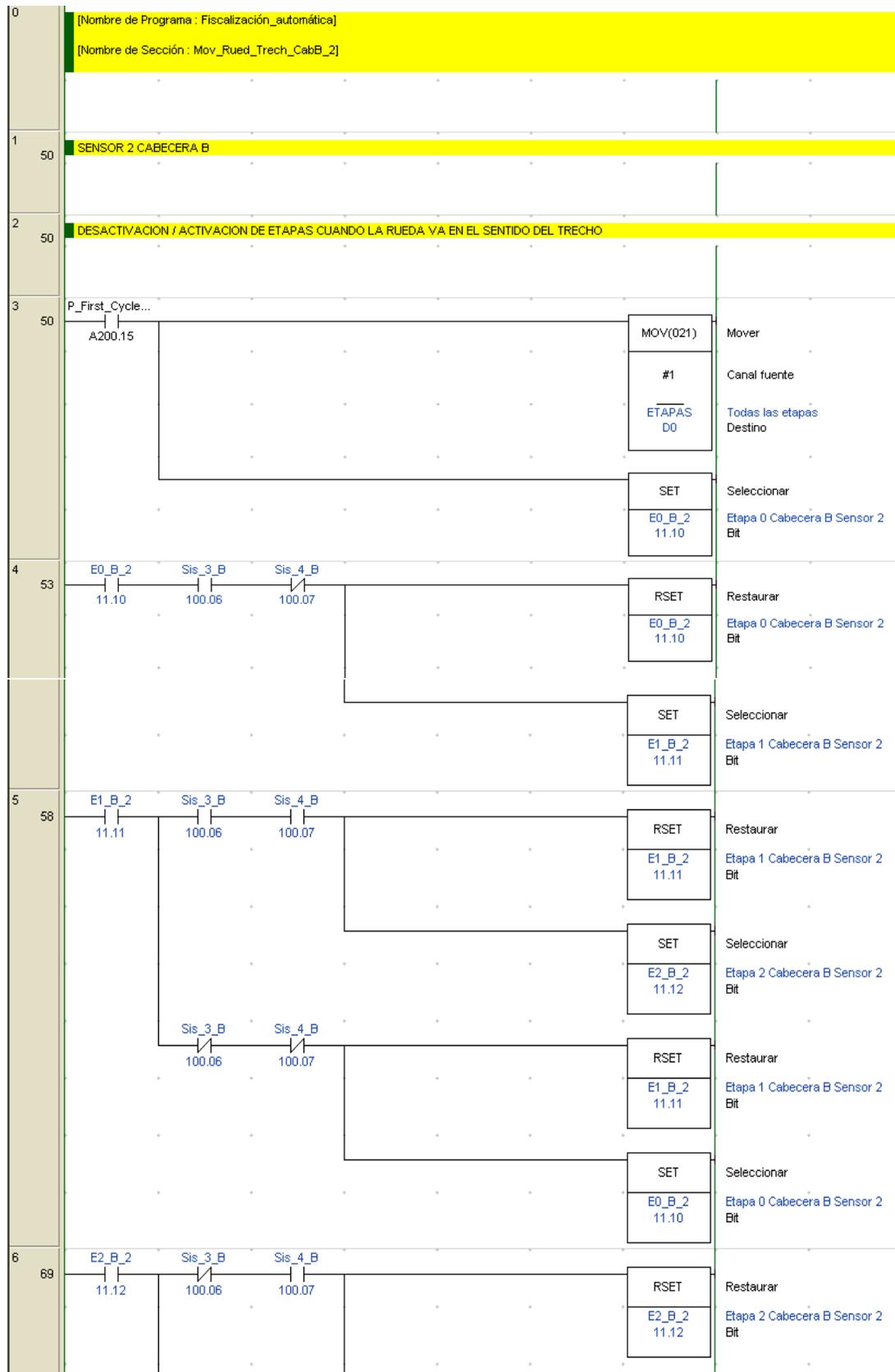
Tabla símbolos 3 - Paint de programa 1 (3, 1)

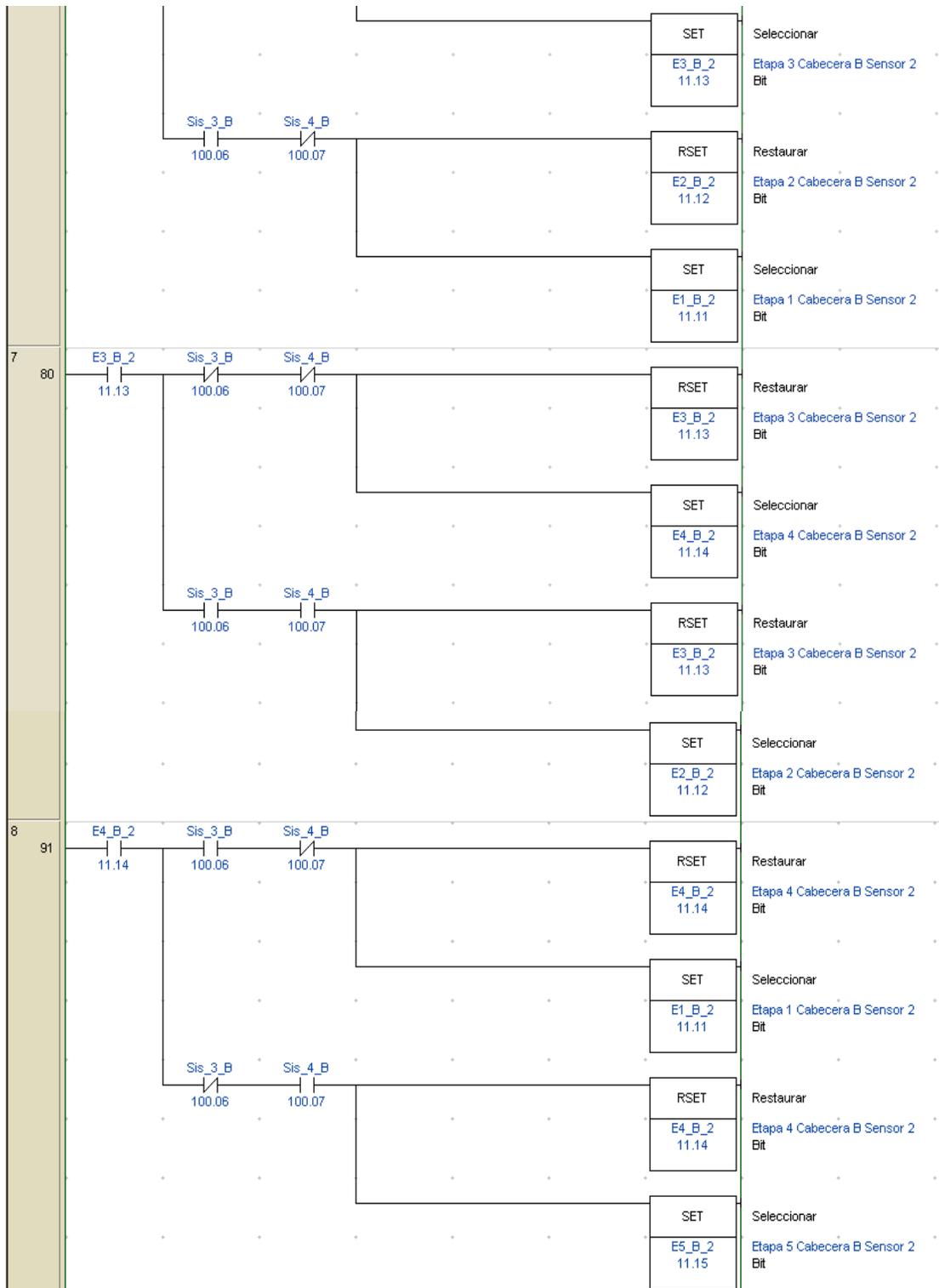
Anexo V Secciones del programa

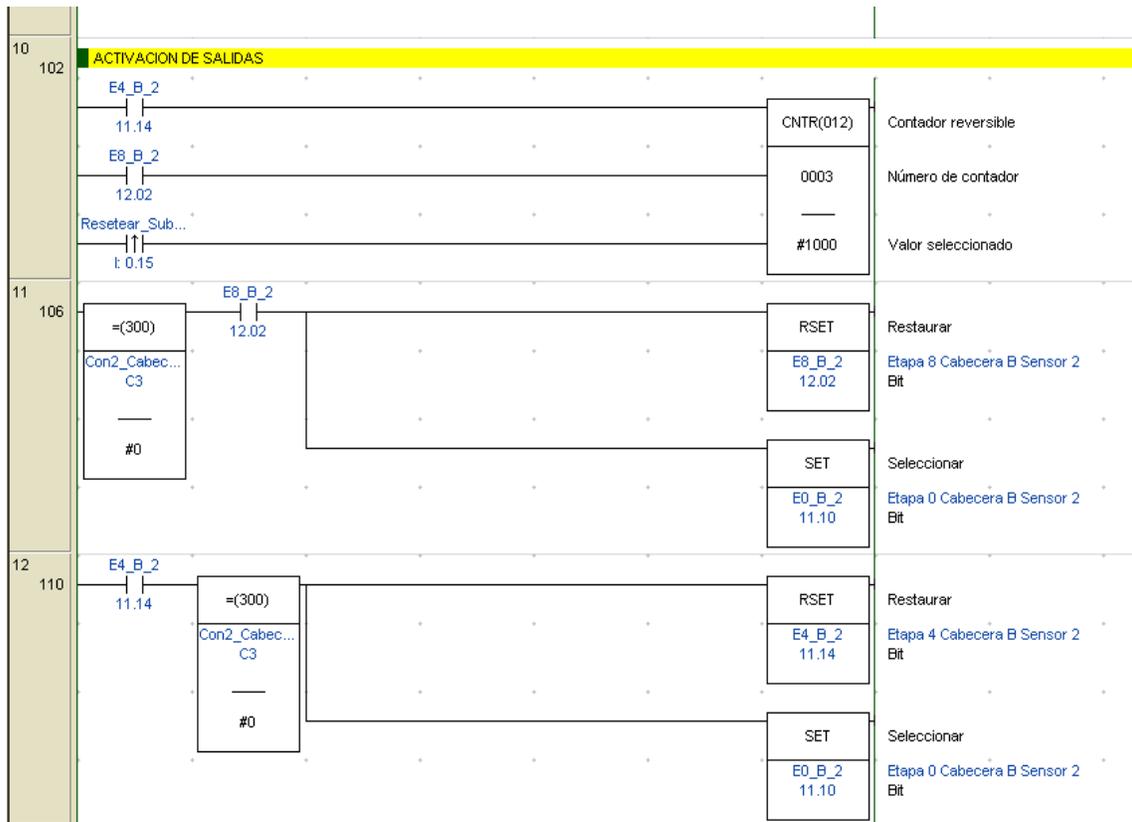
Anexo VI Programación del autómata

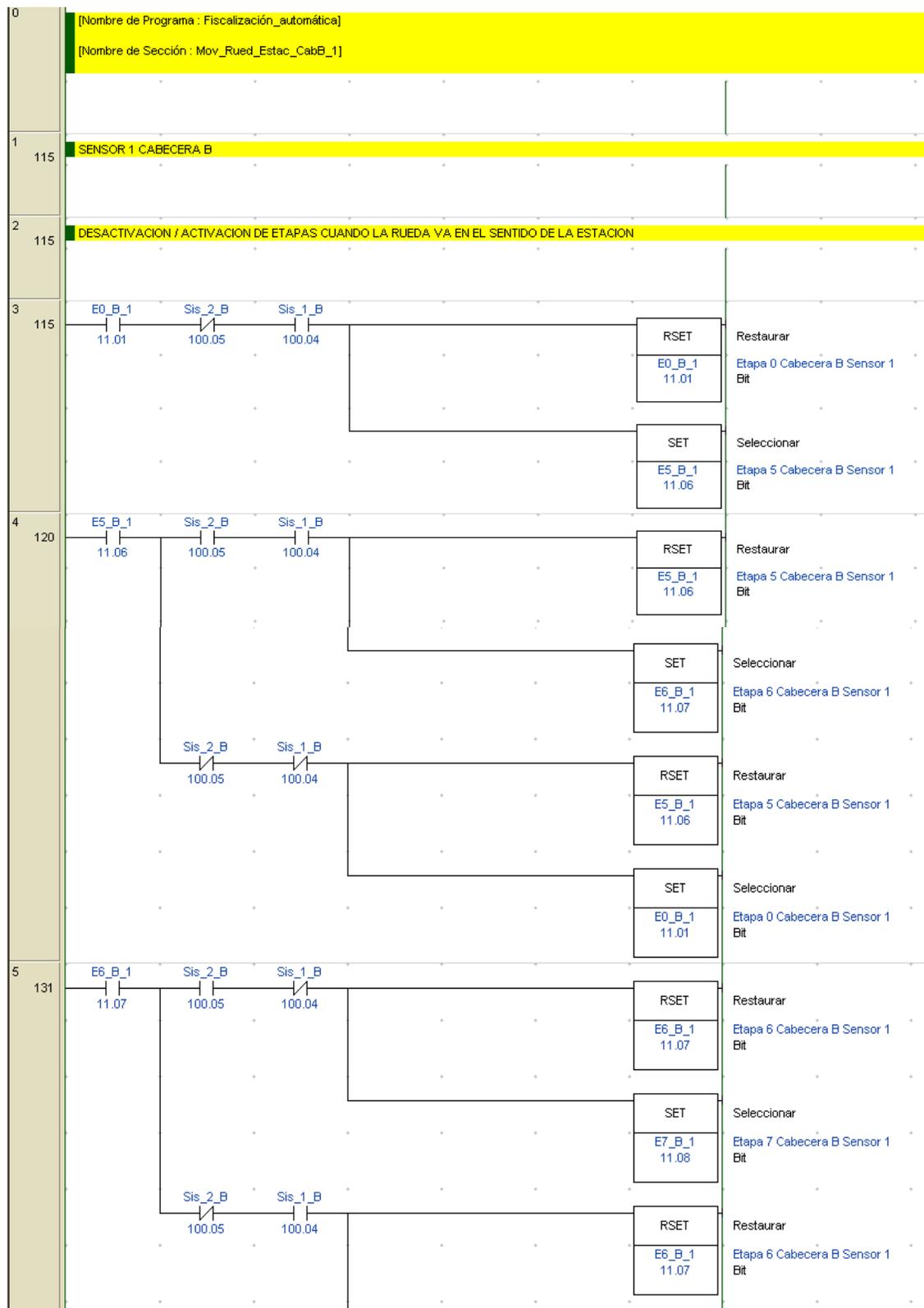


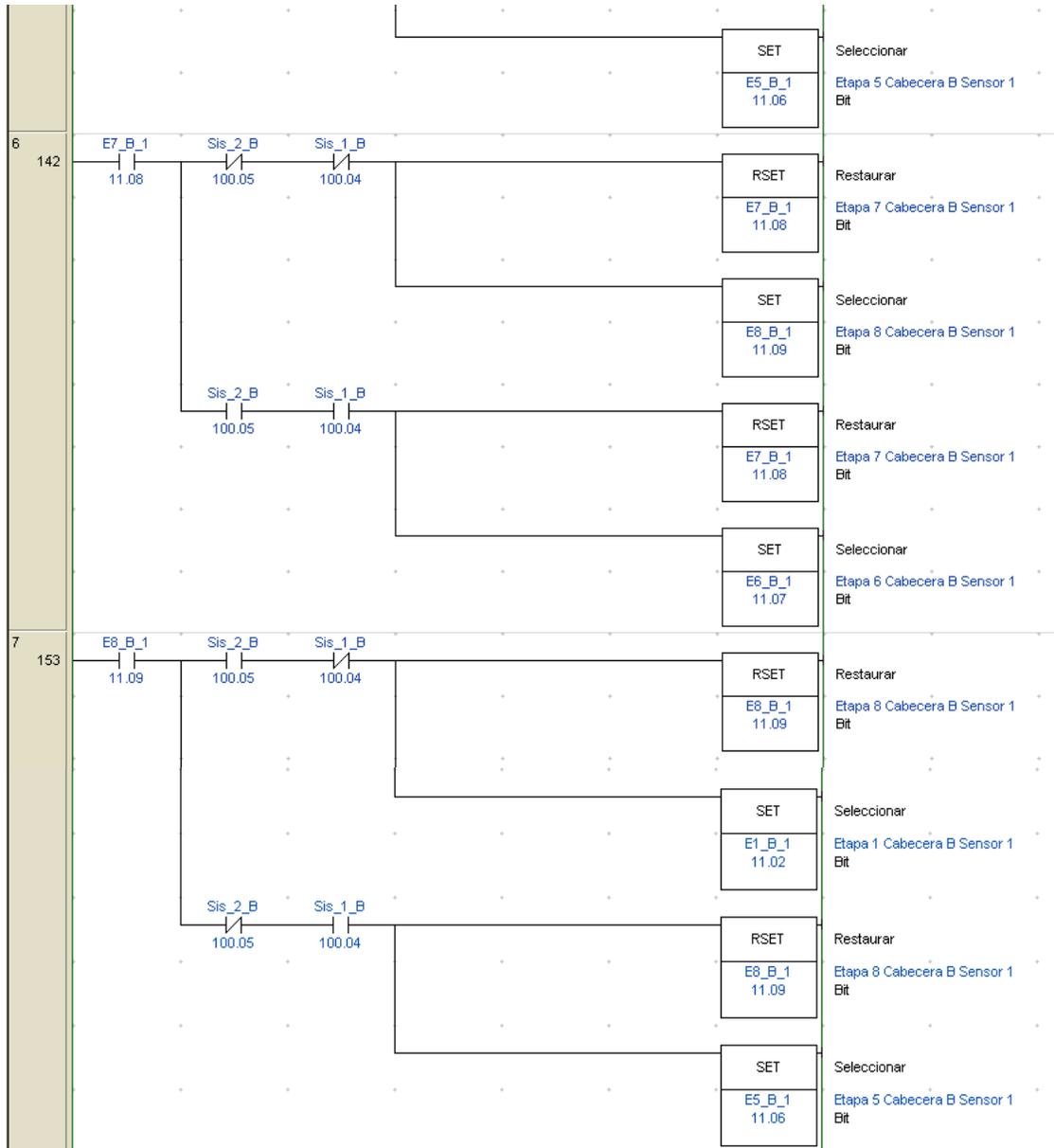


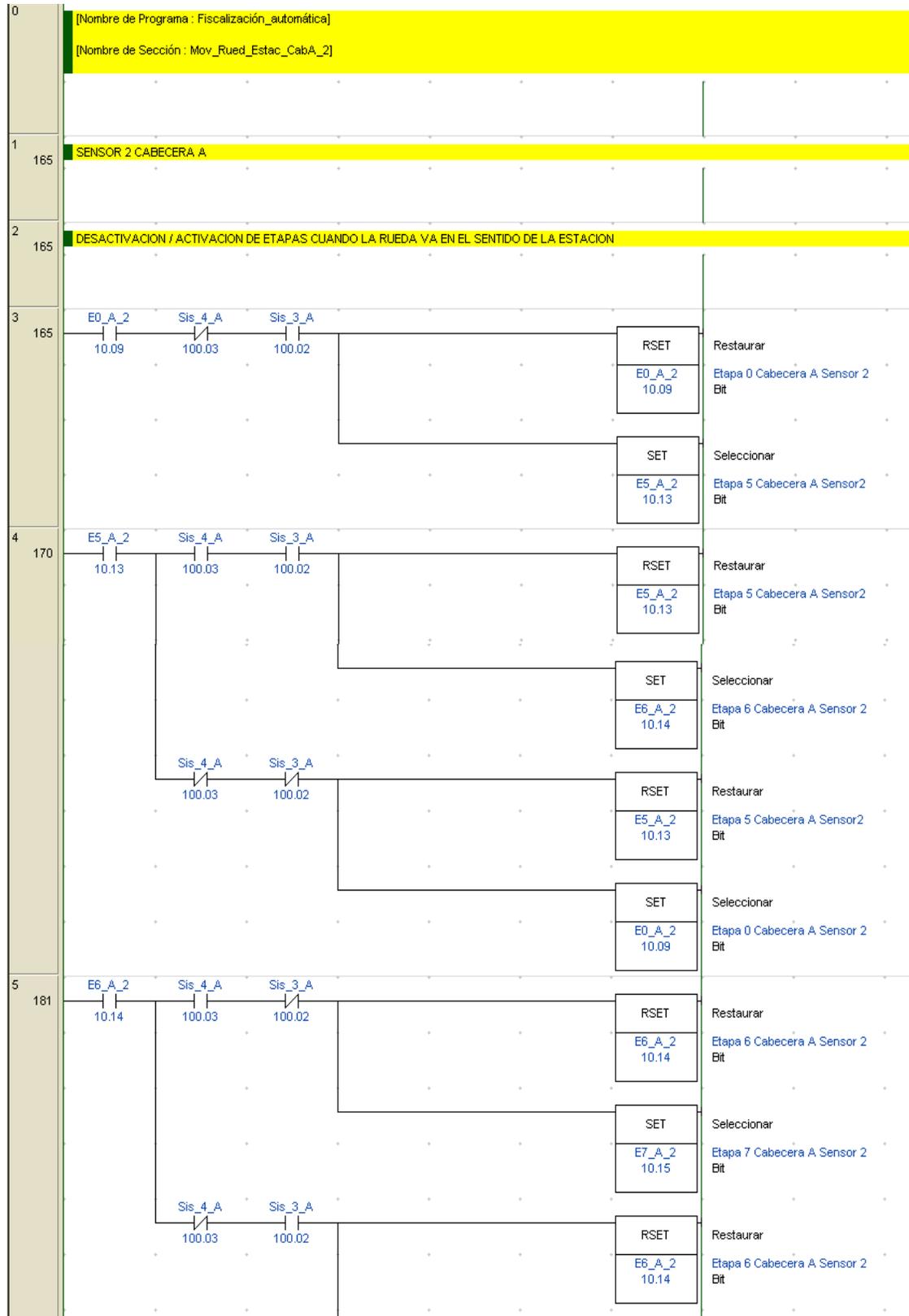


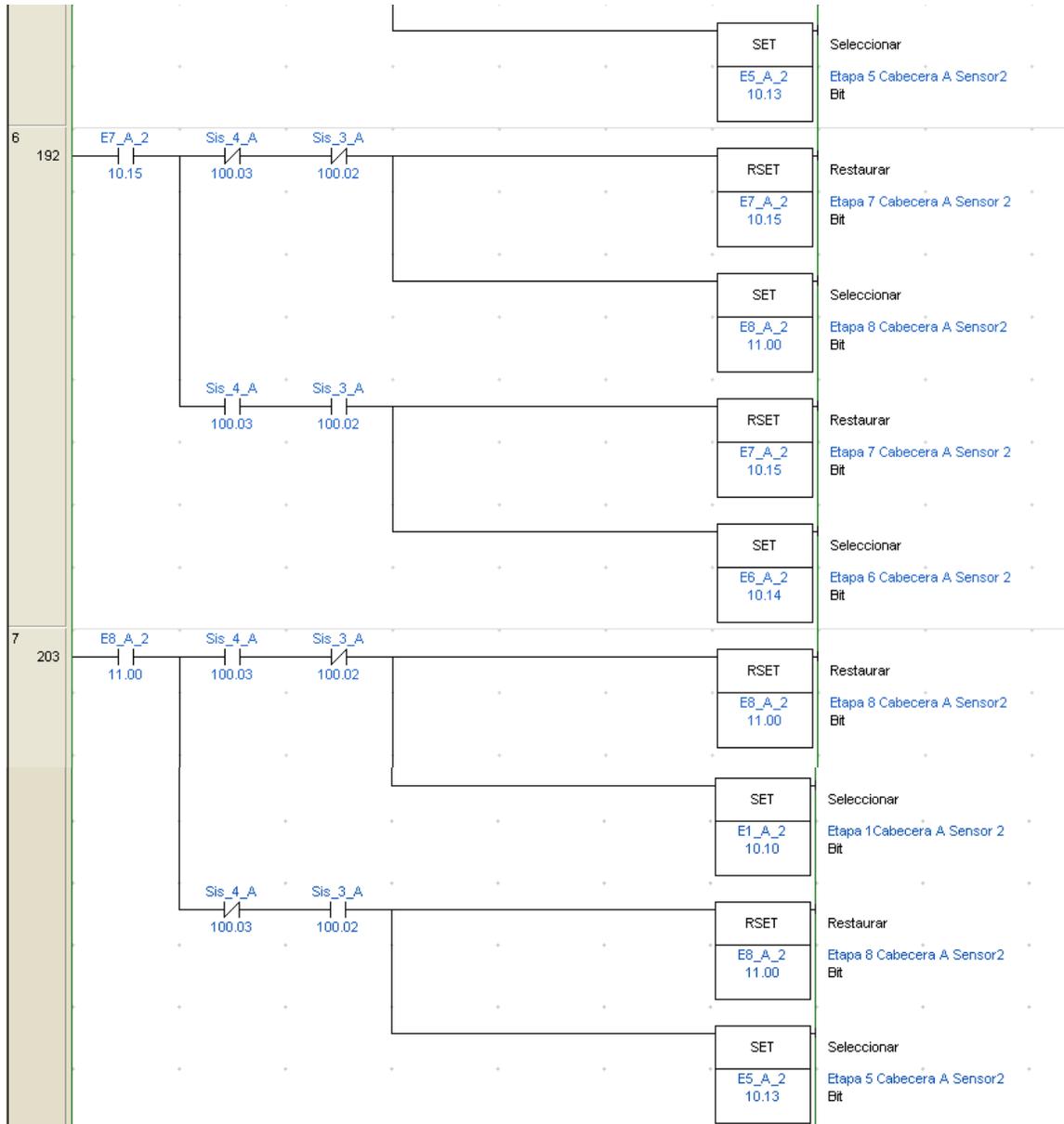


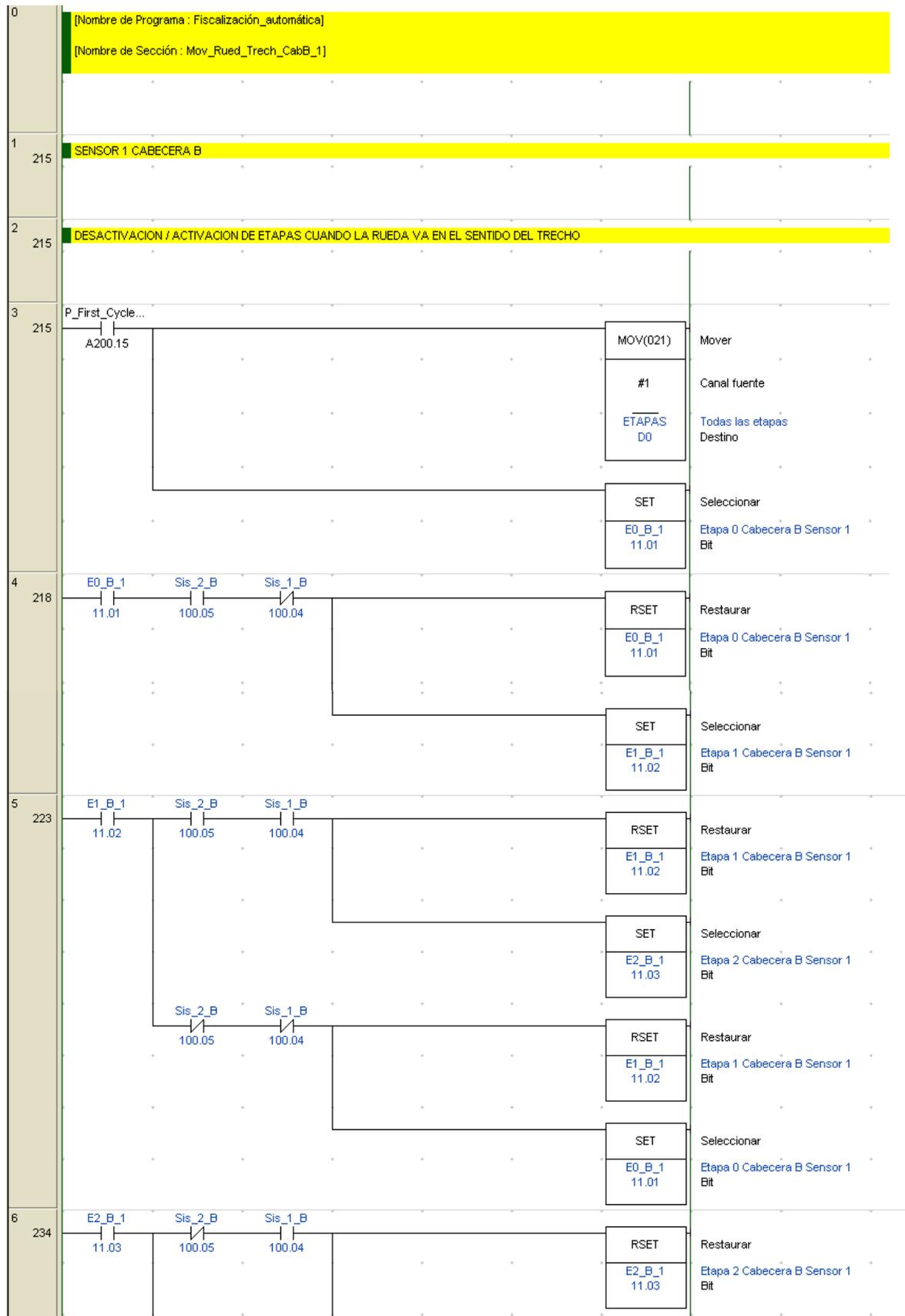


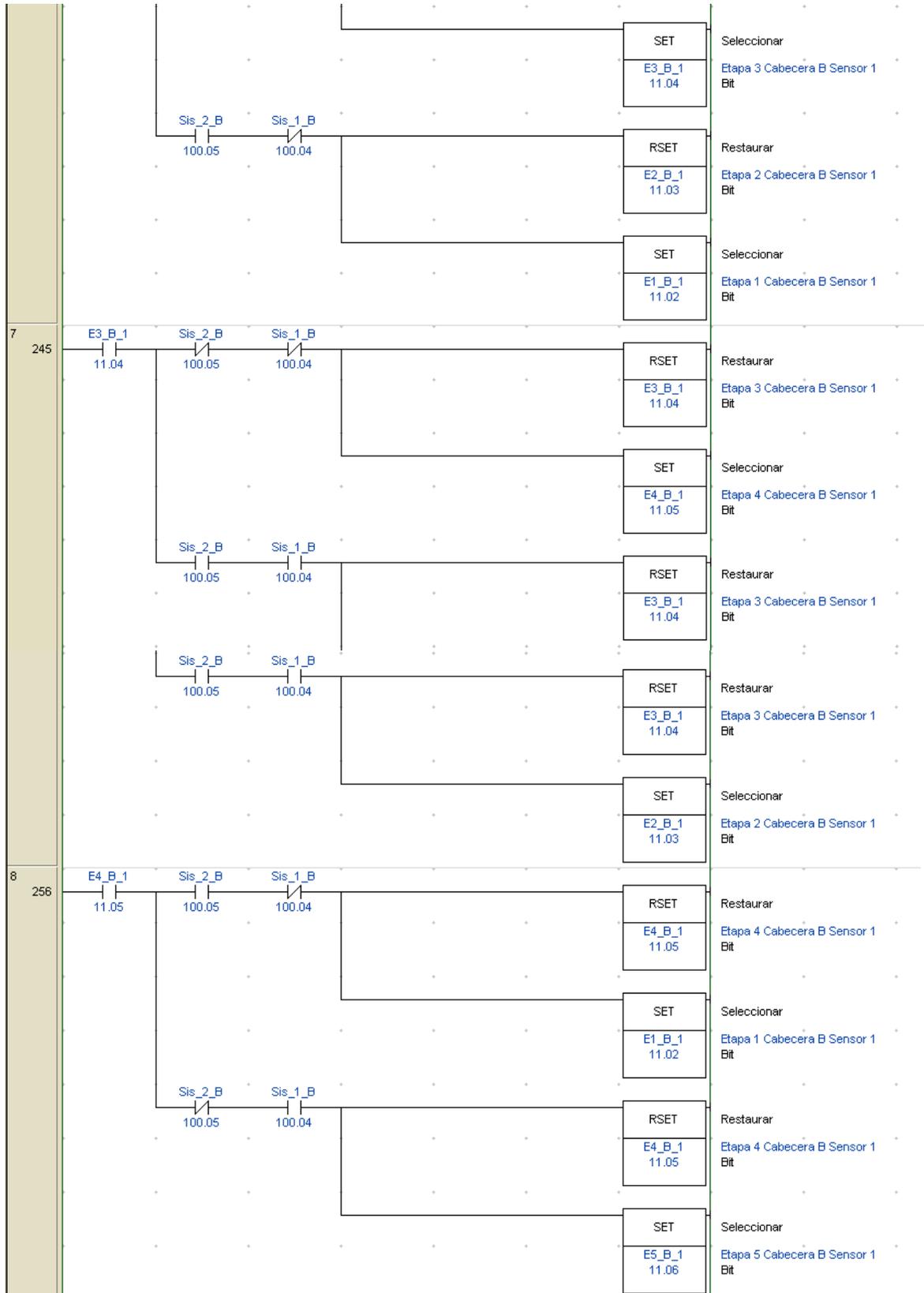


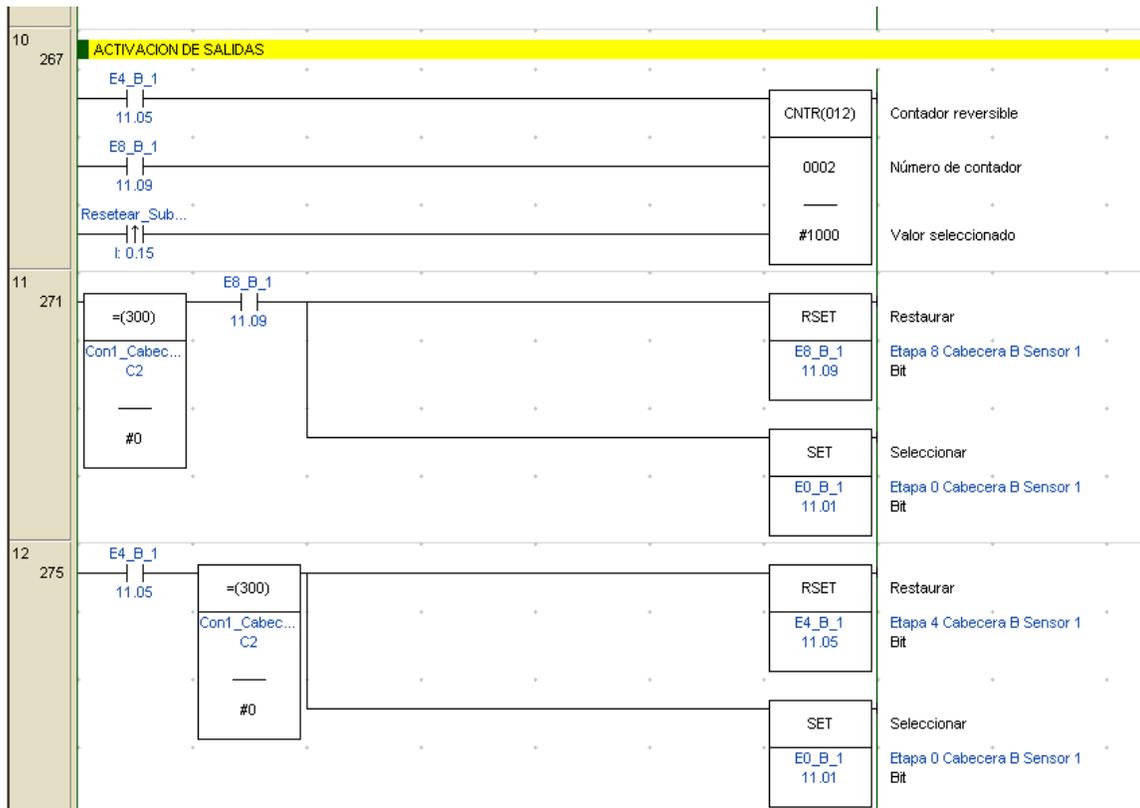


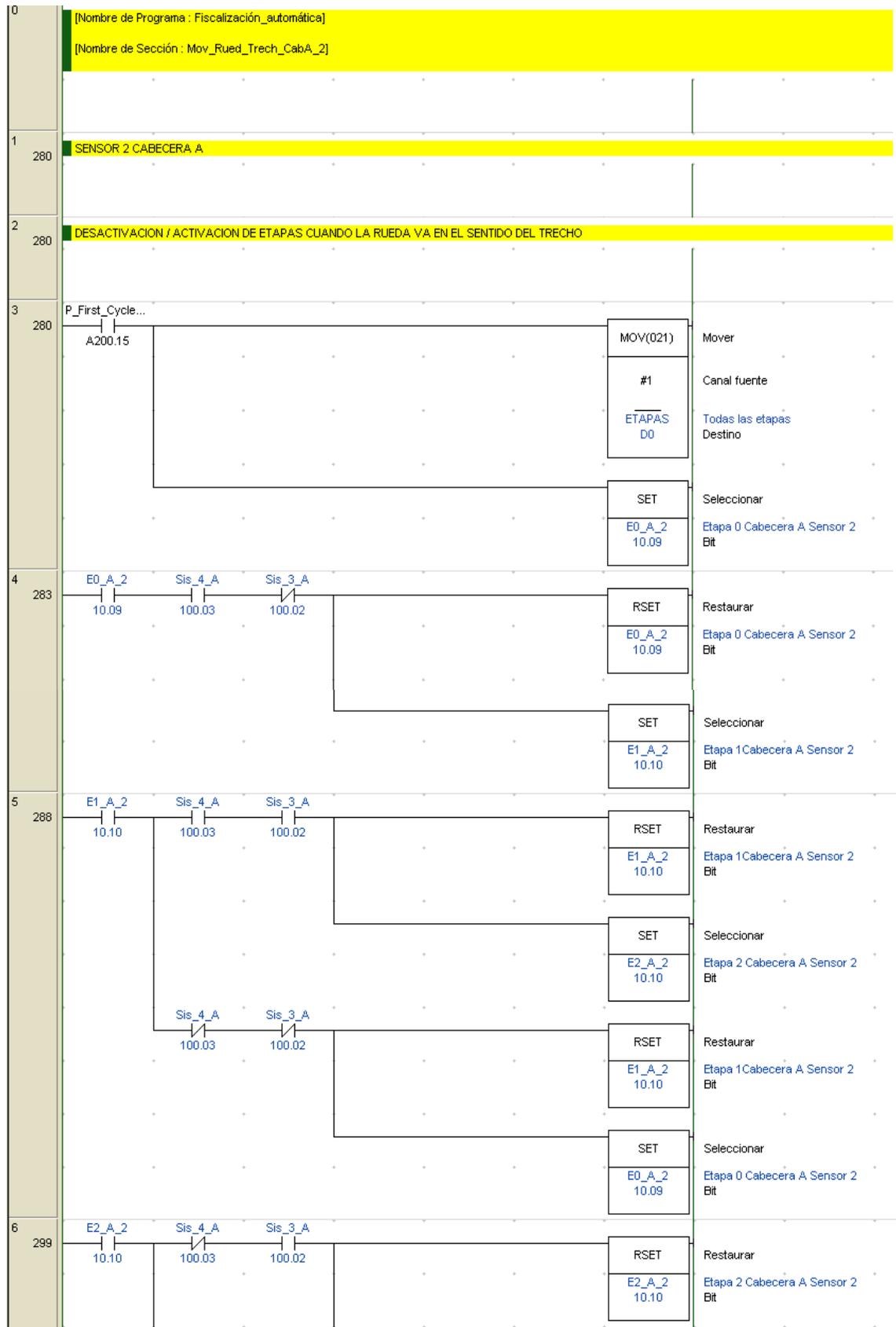


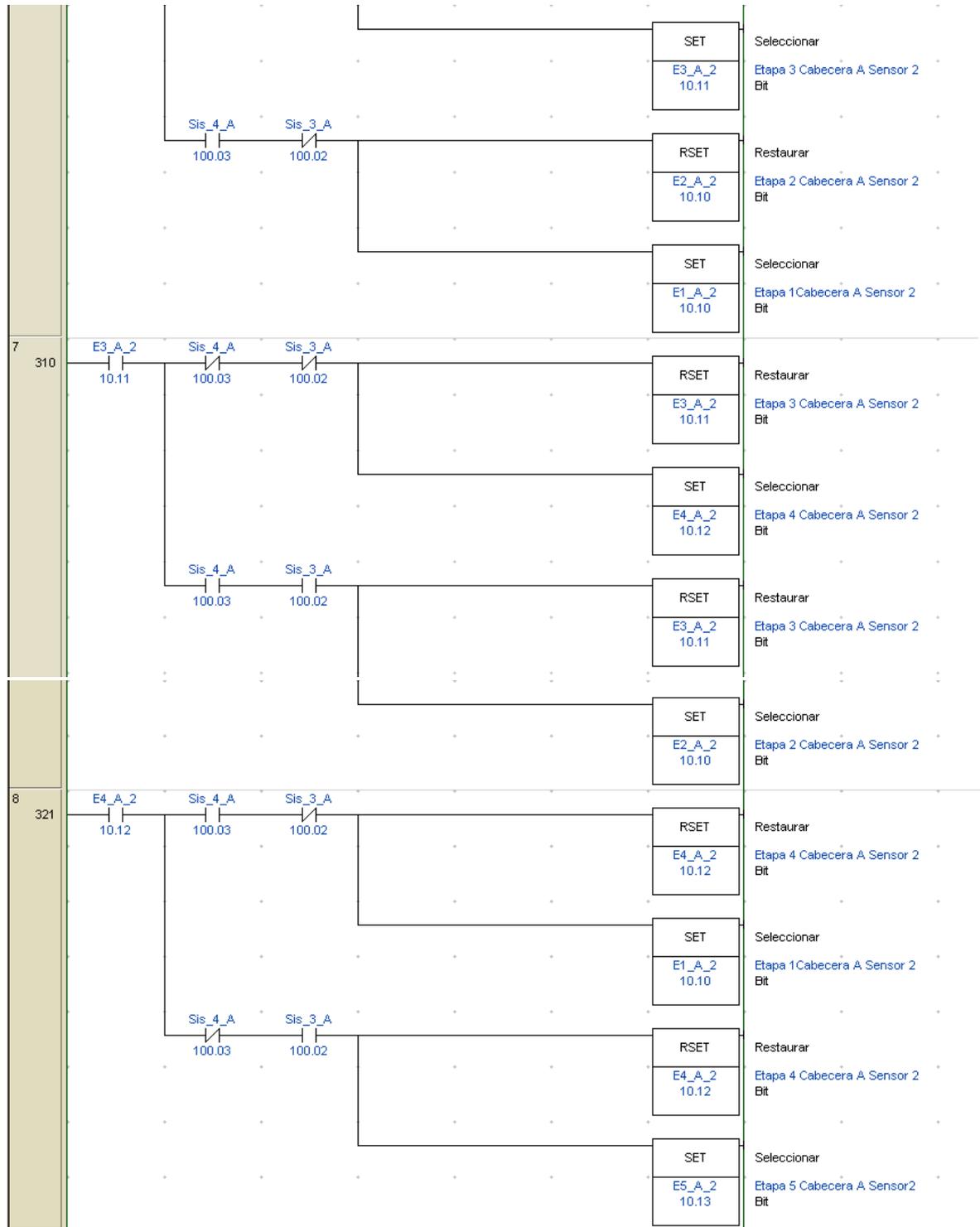


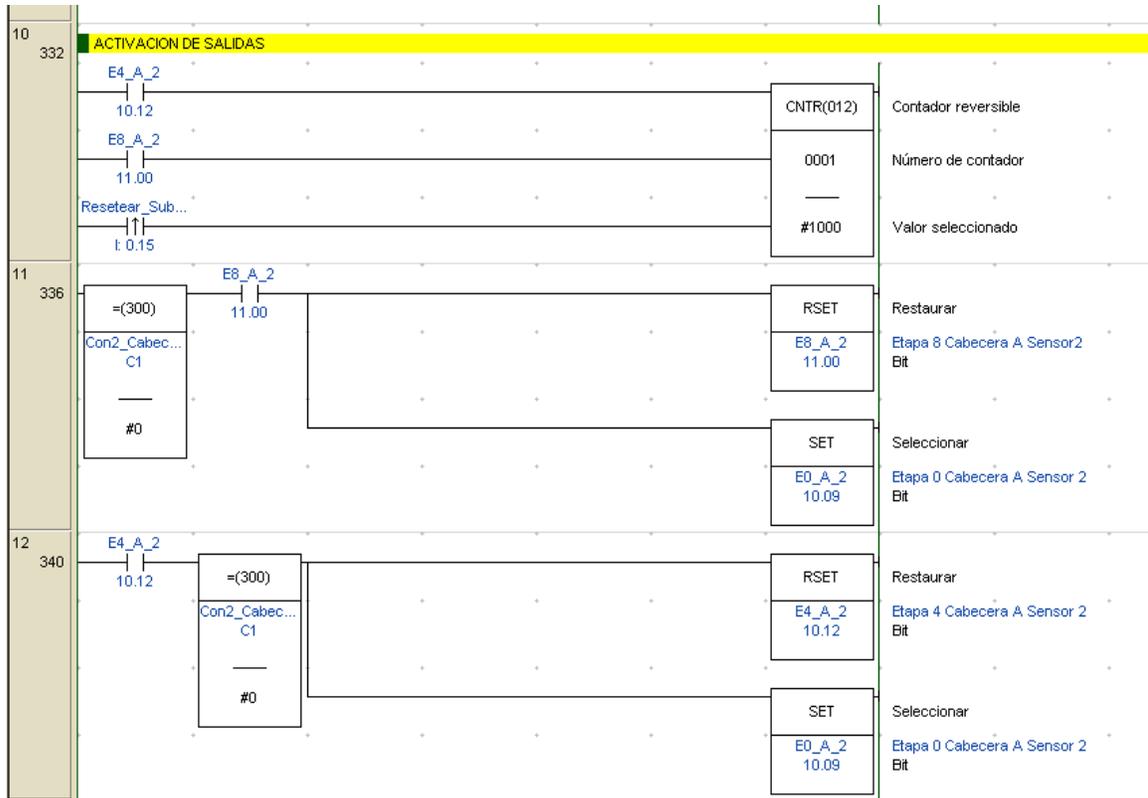


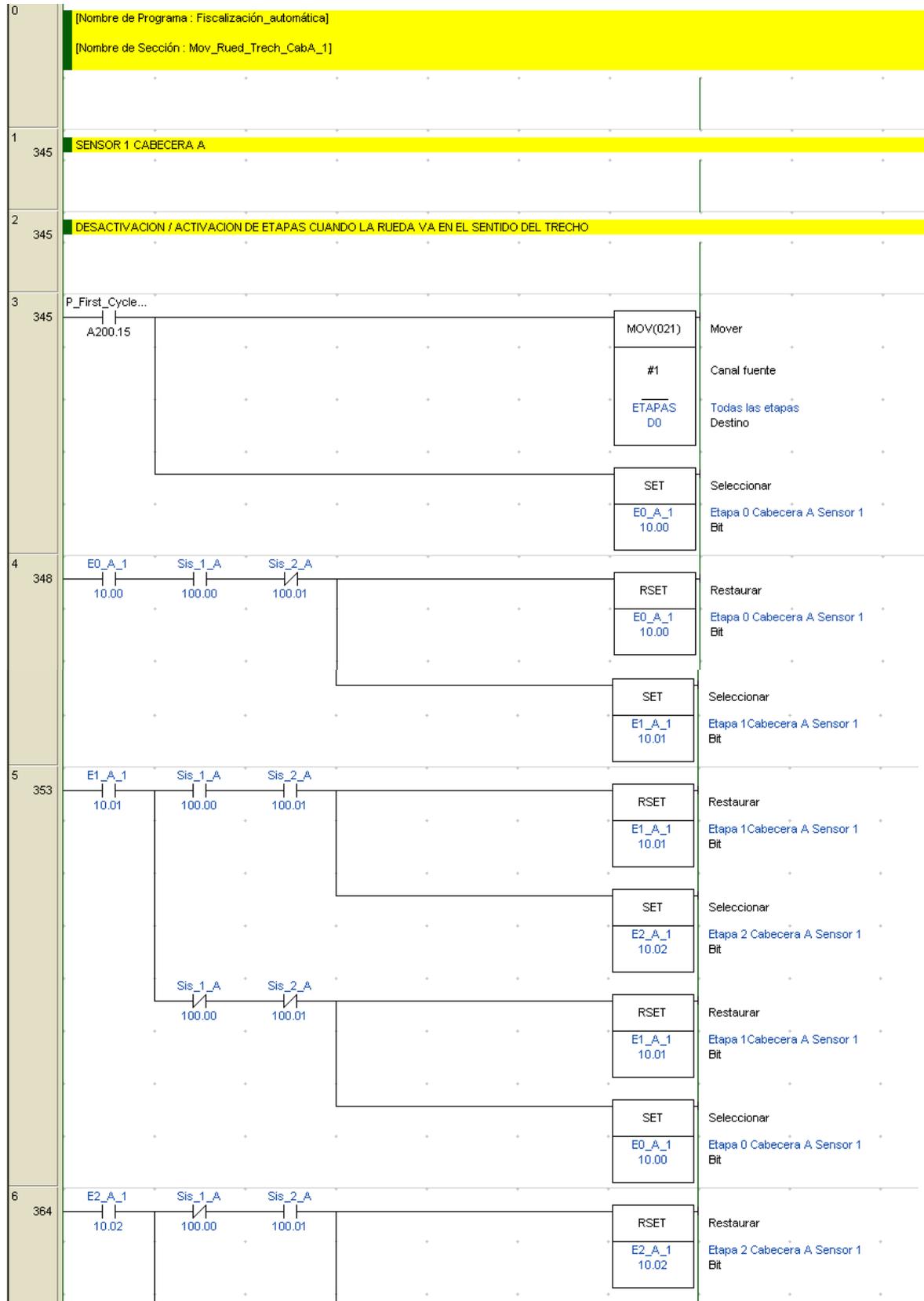


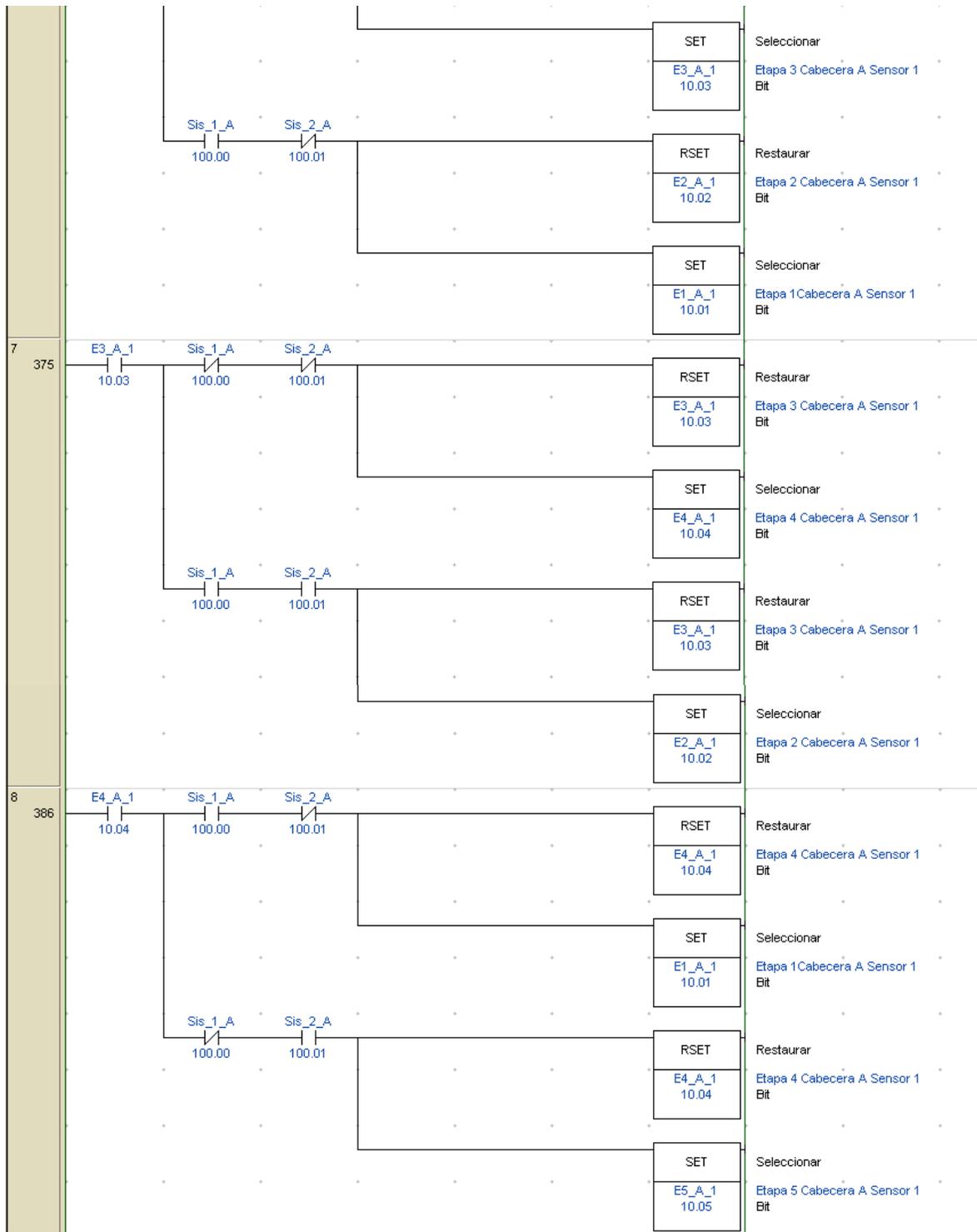


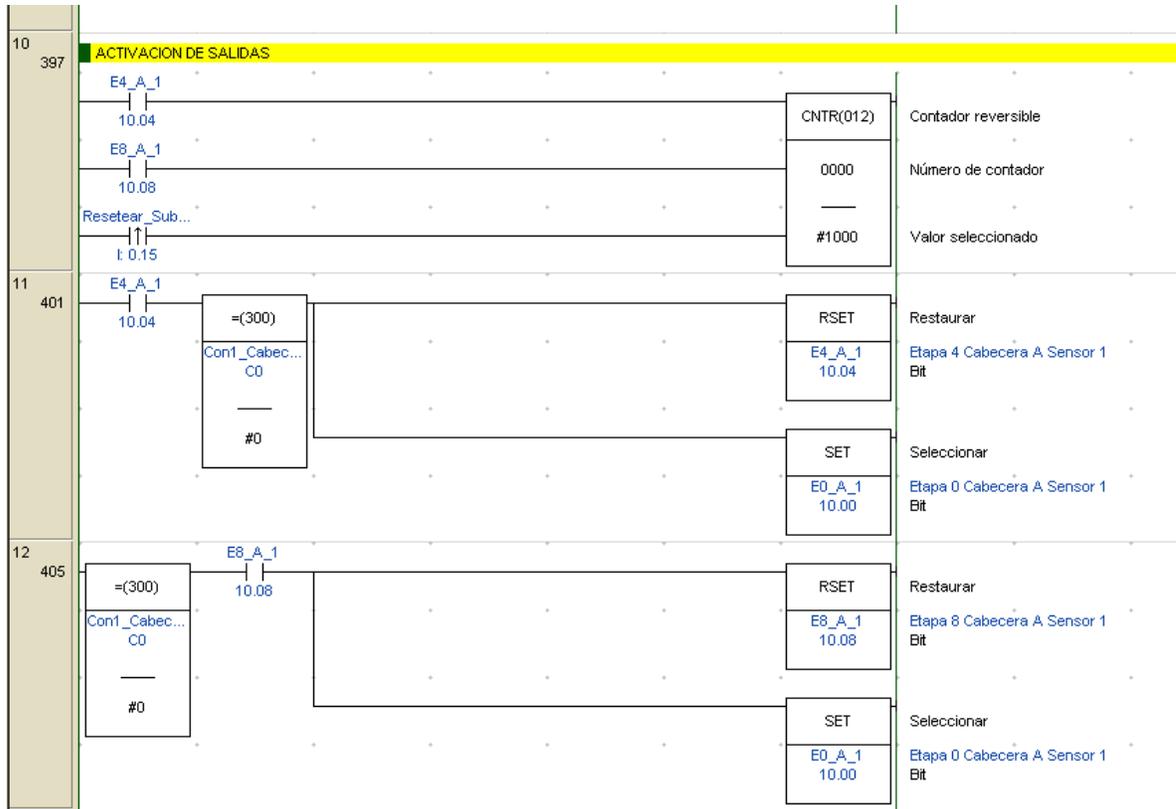


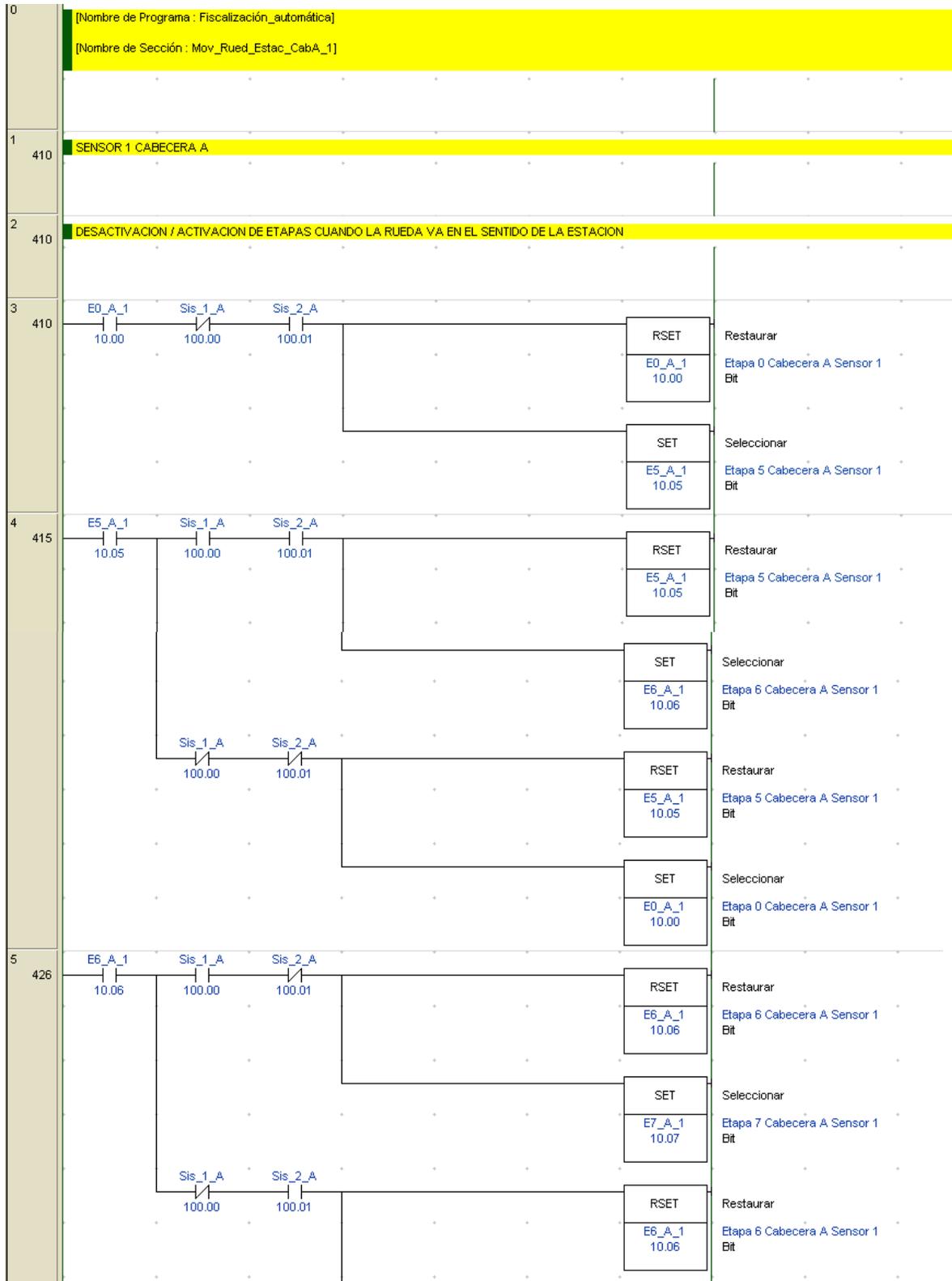


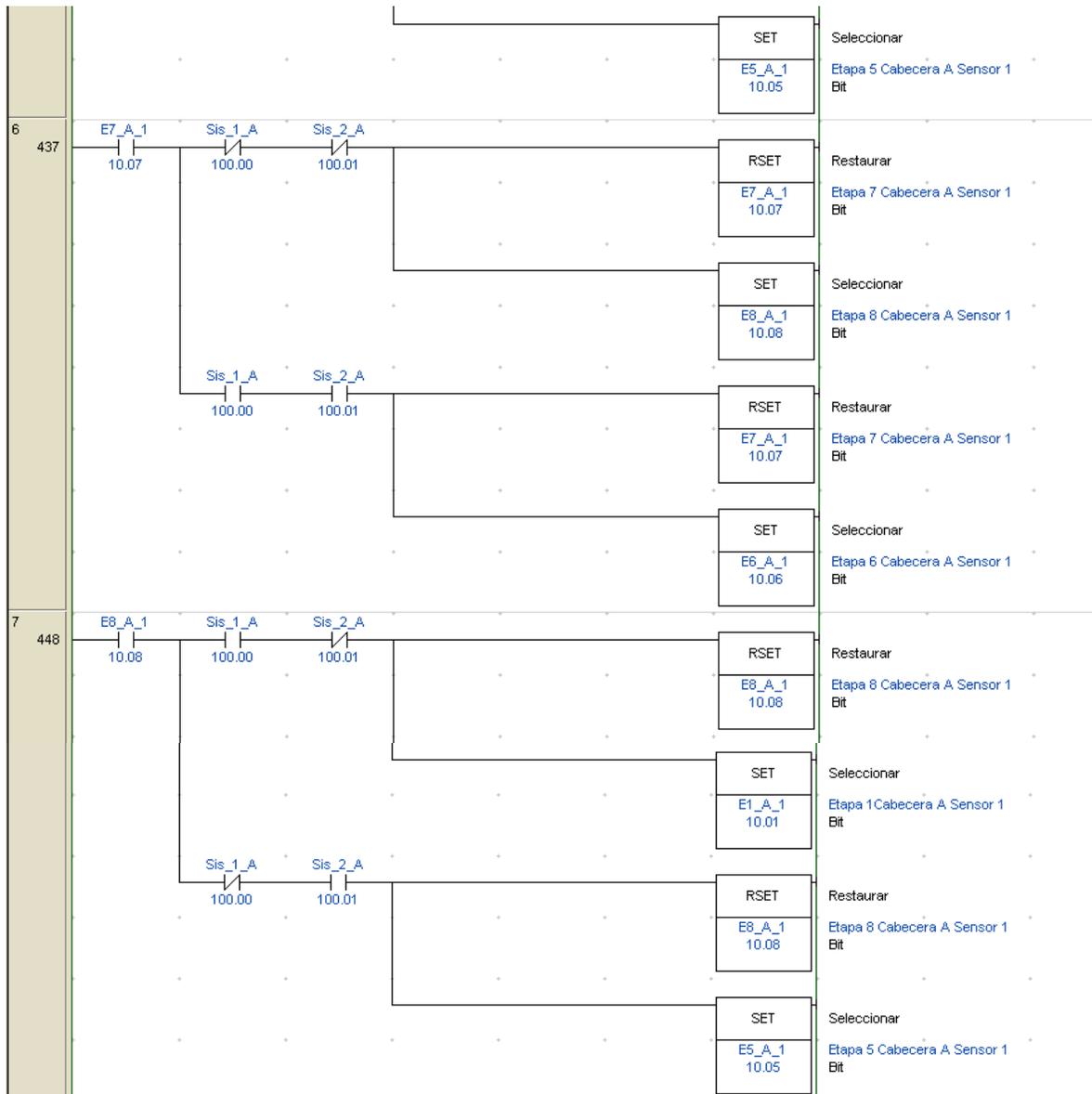


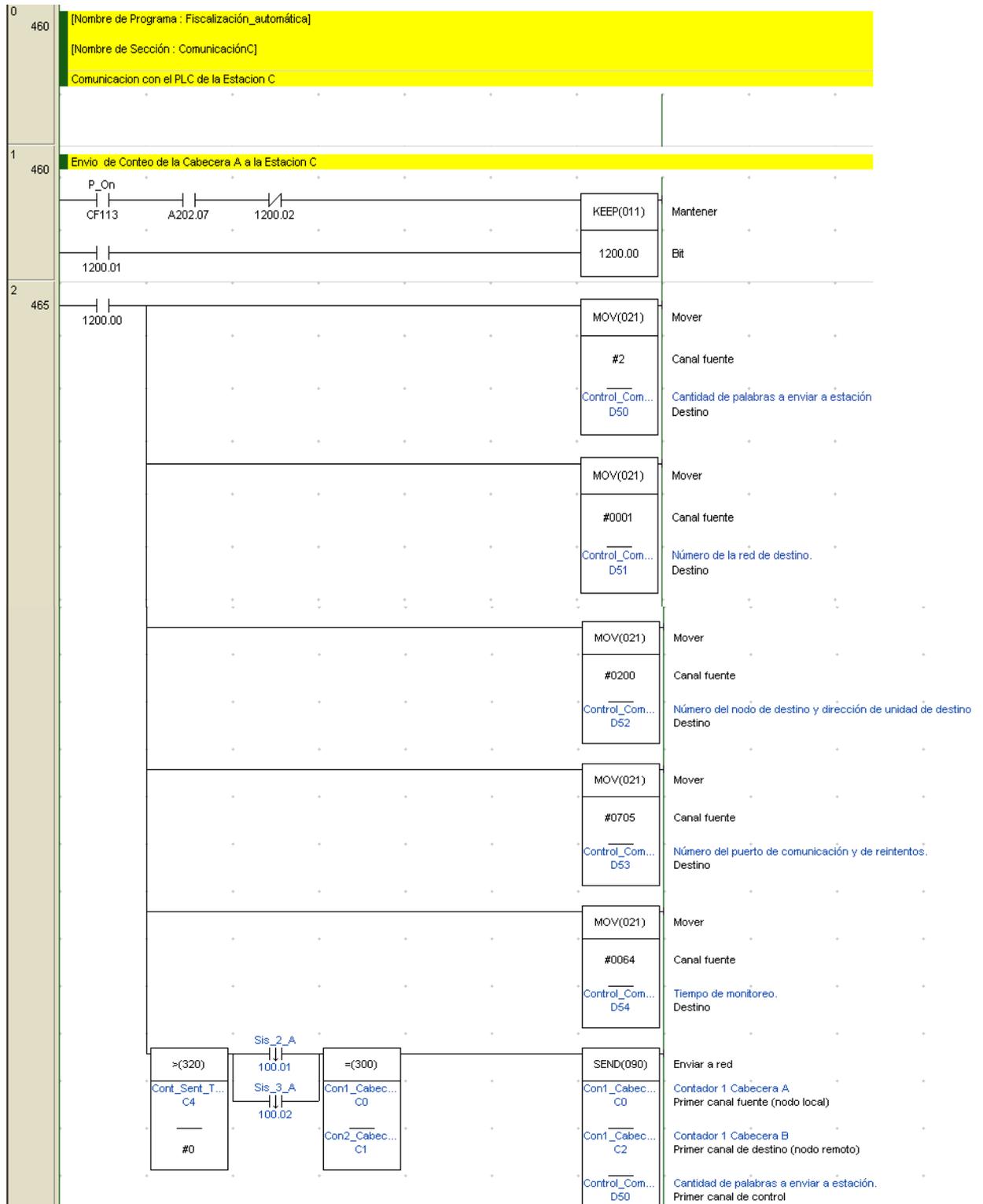


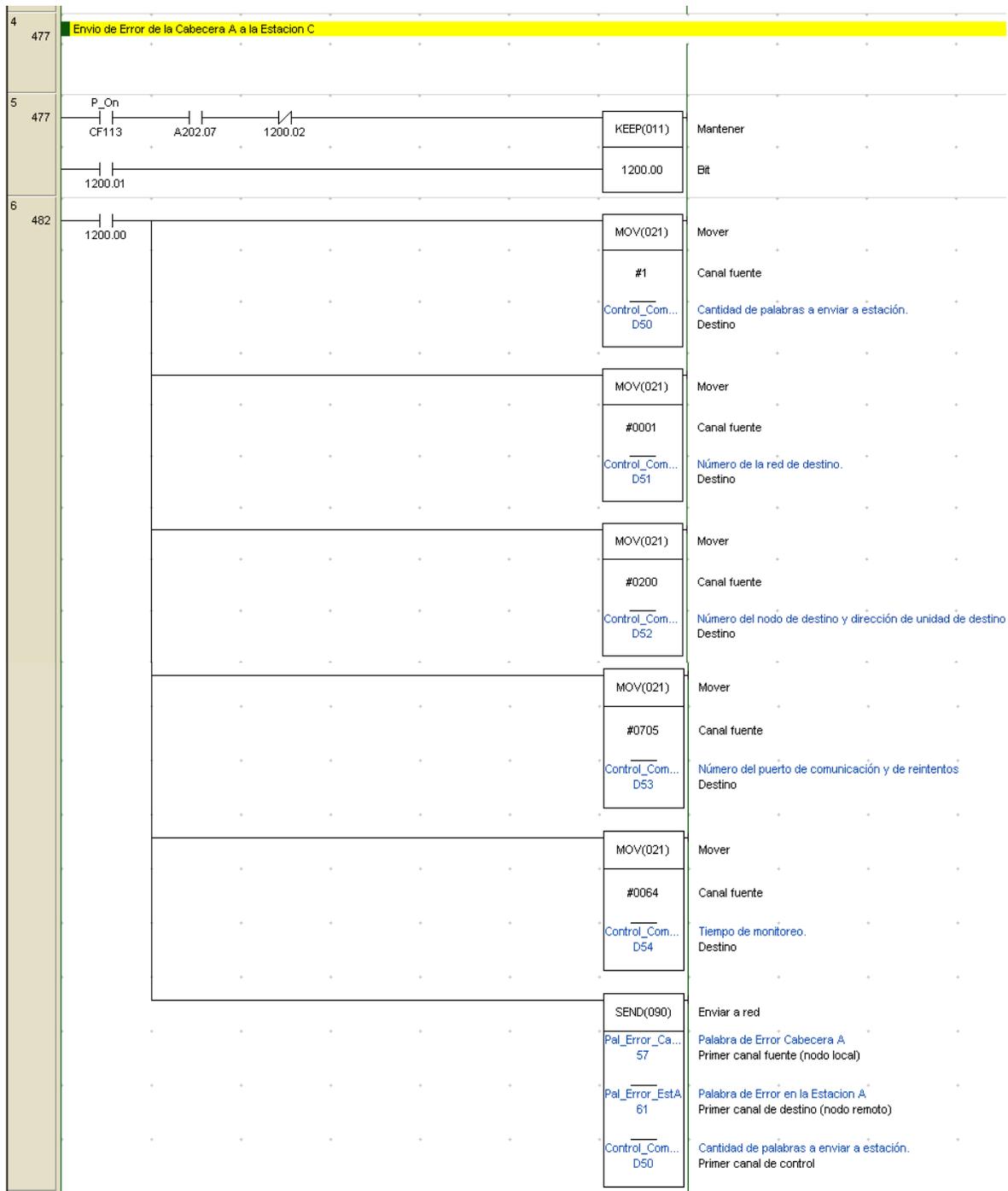


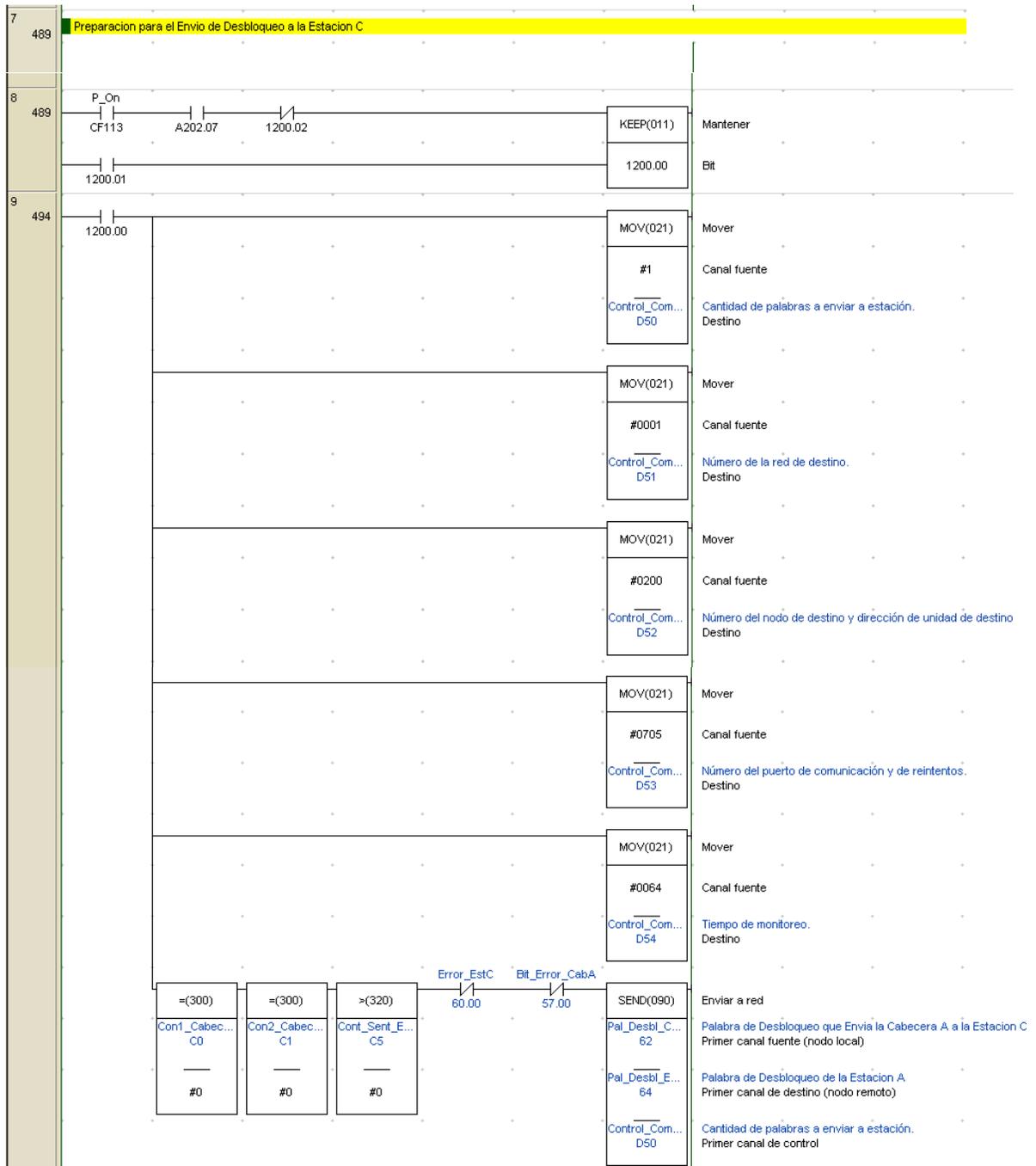


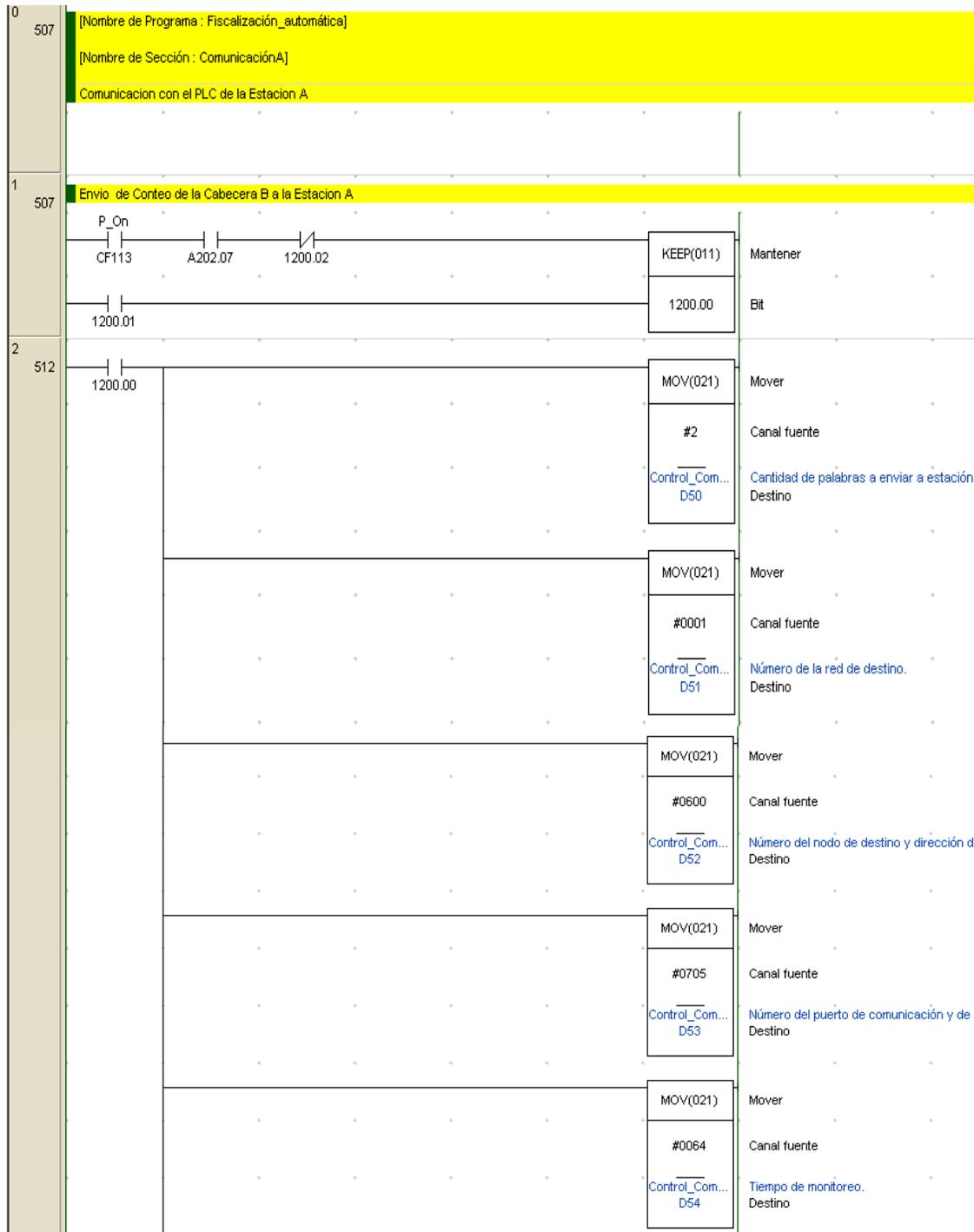


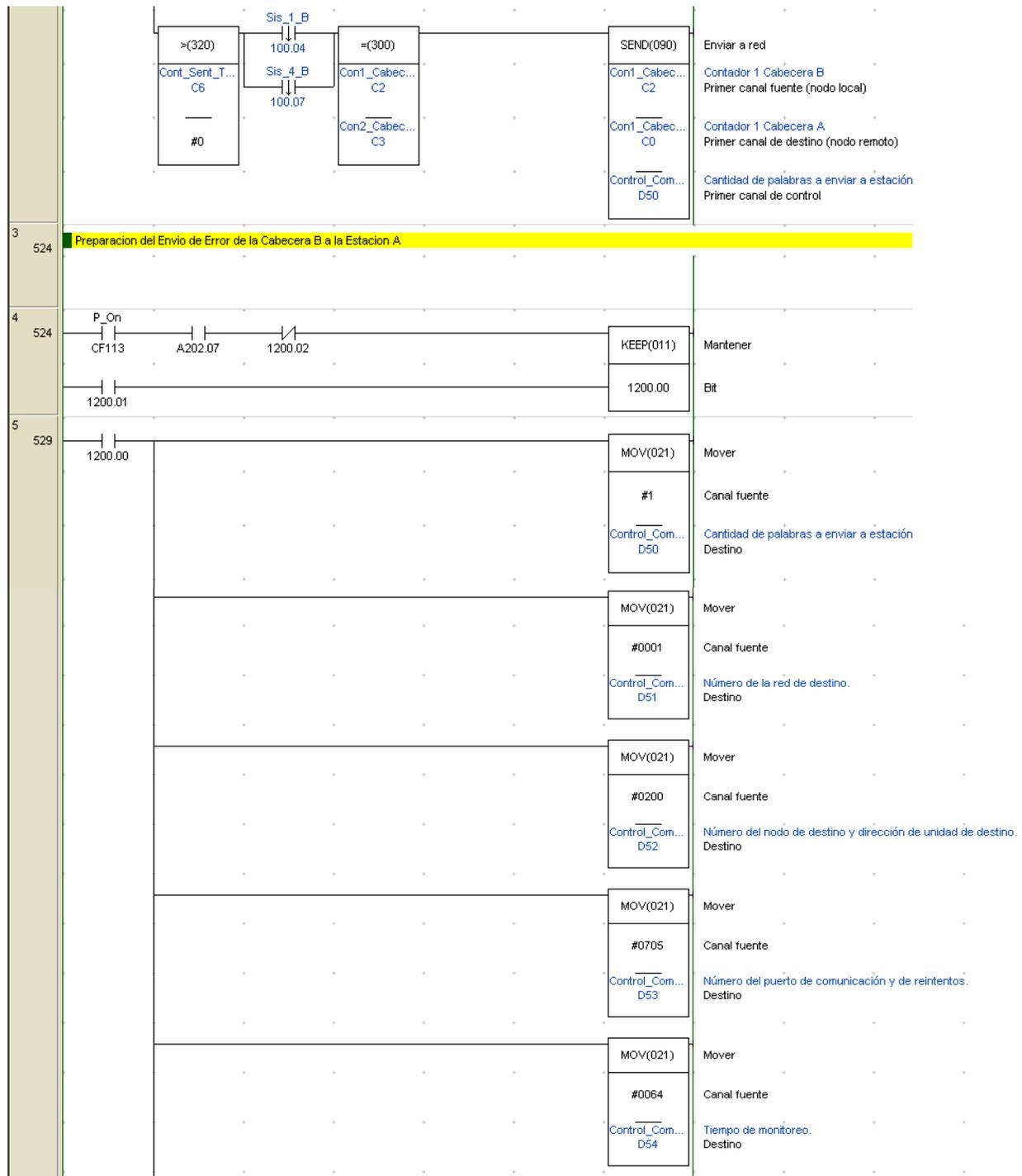


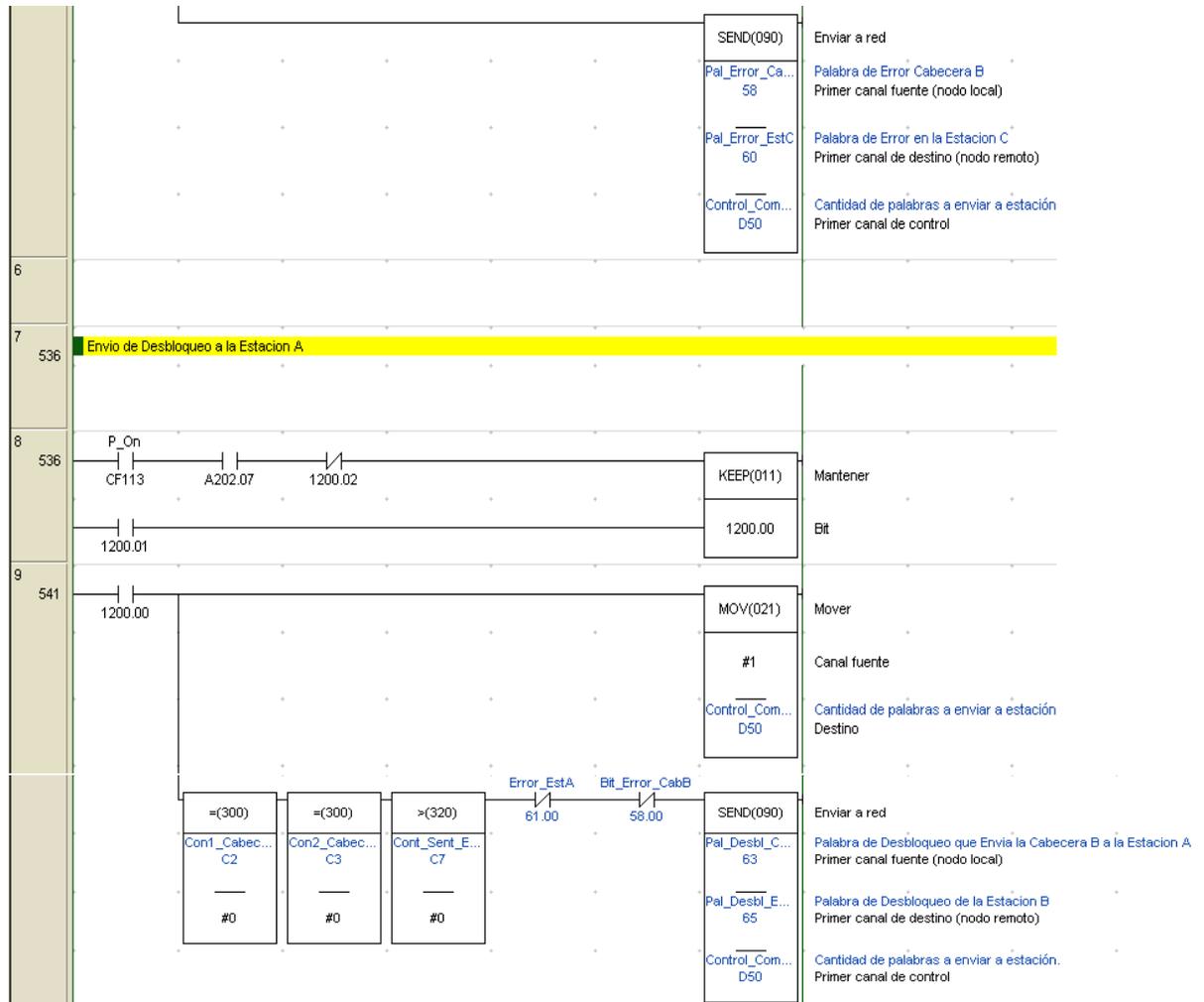


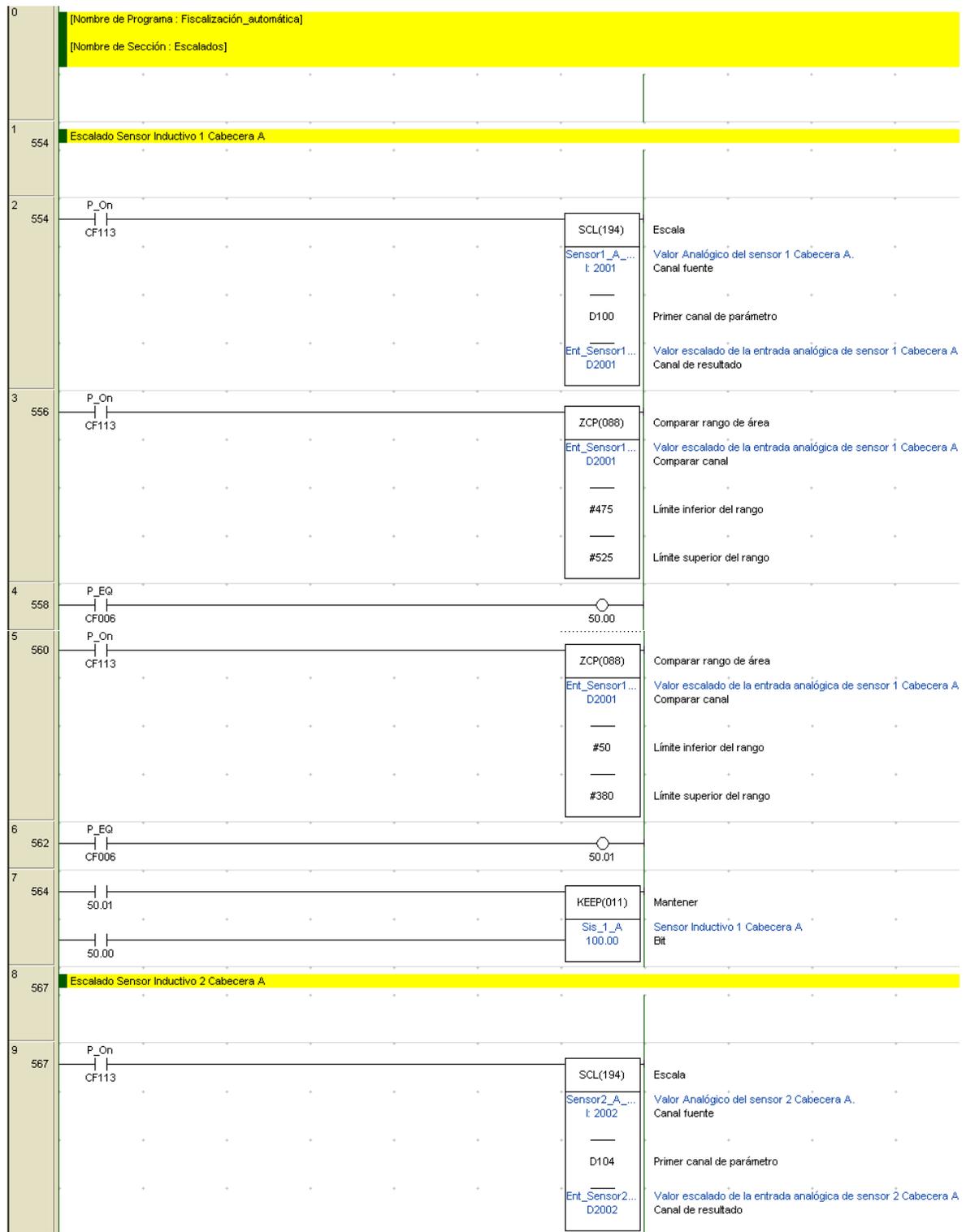


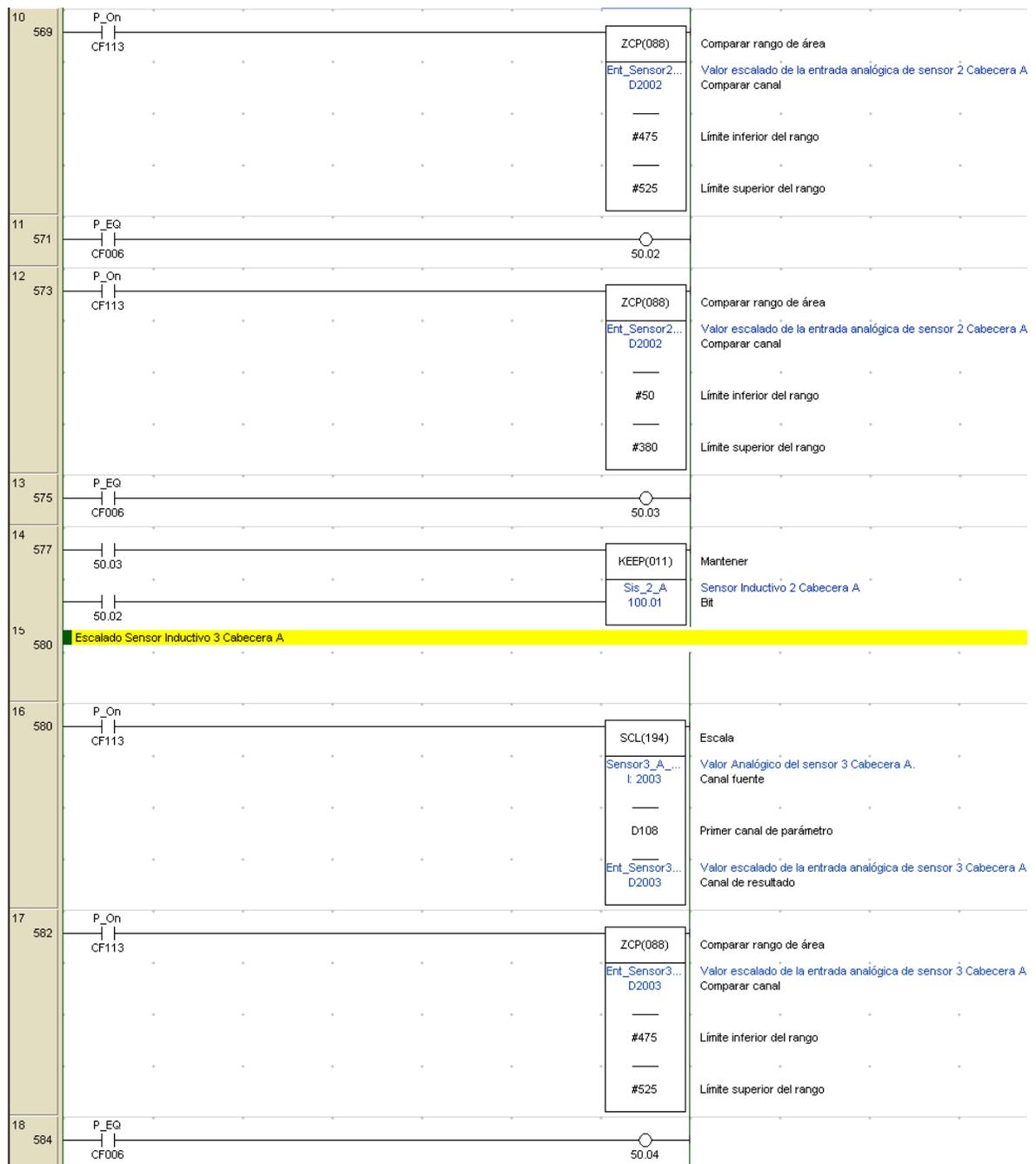


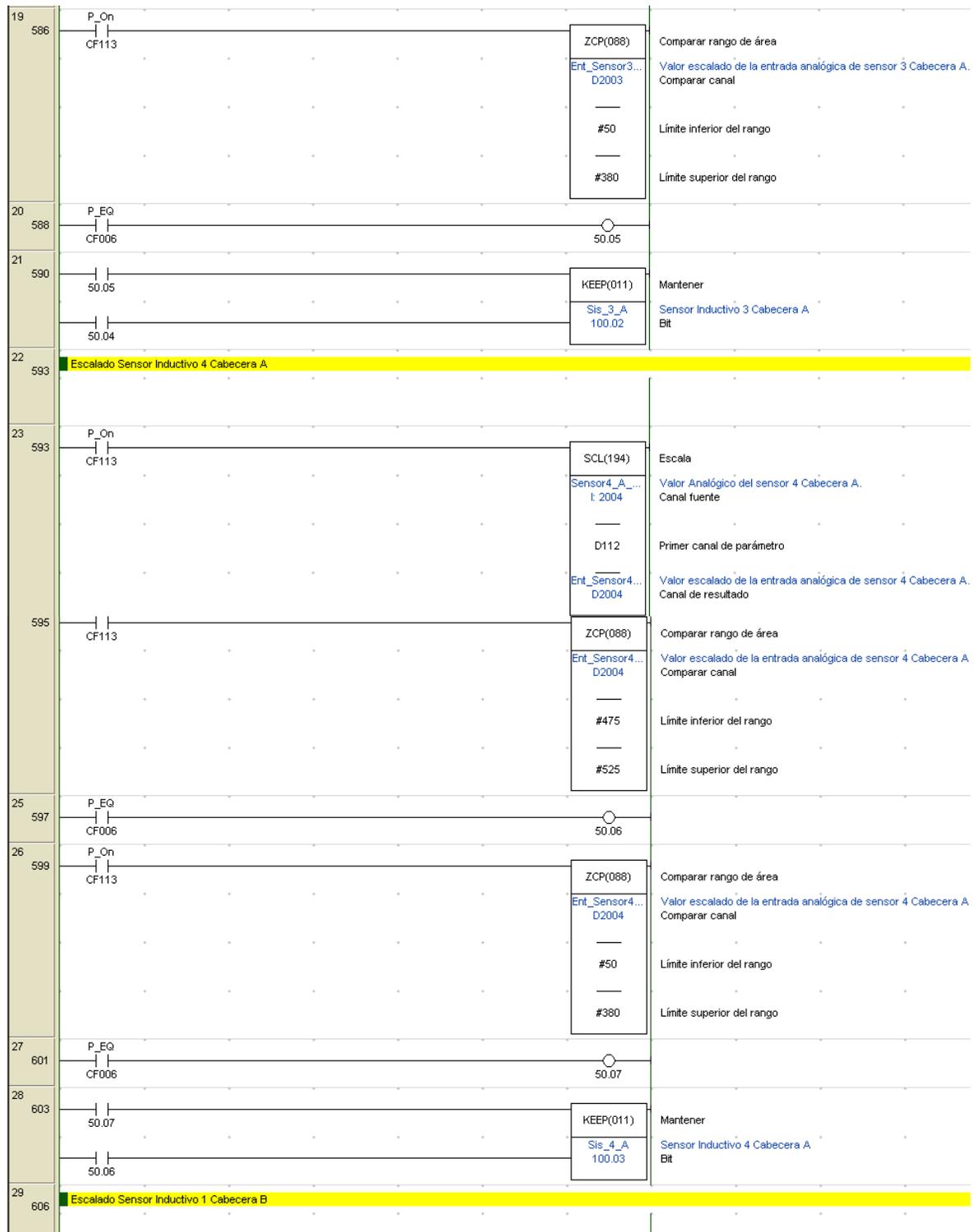




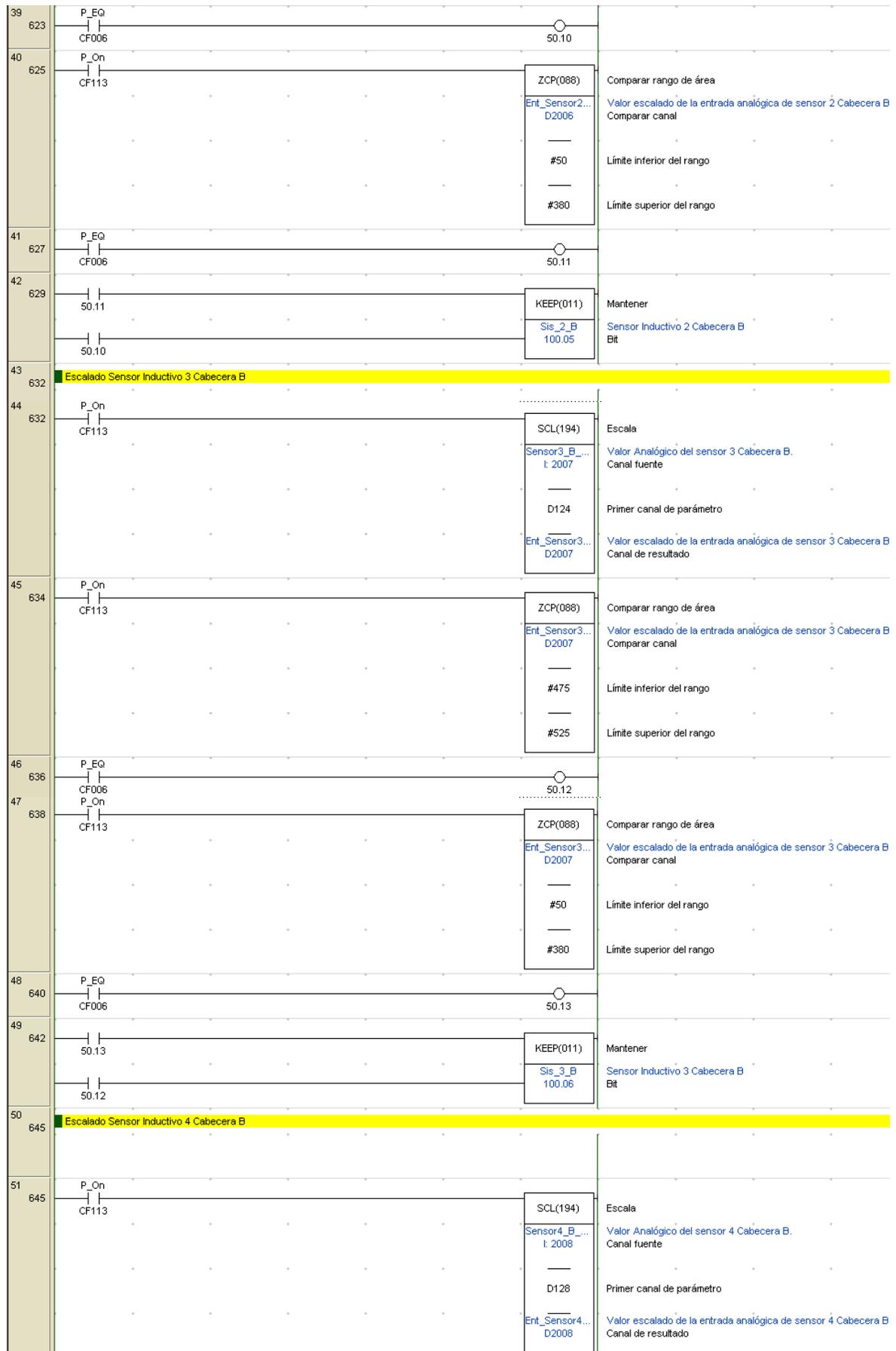




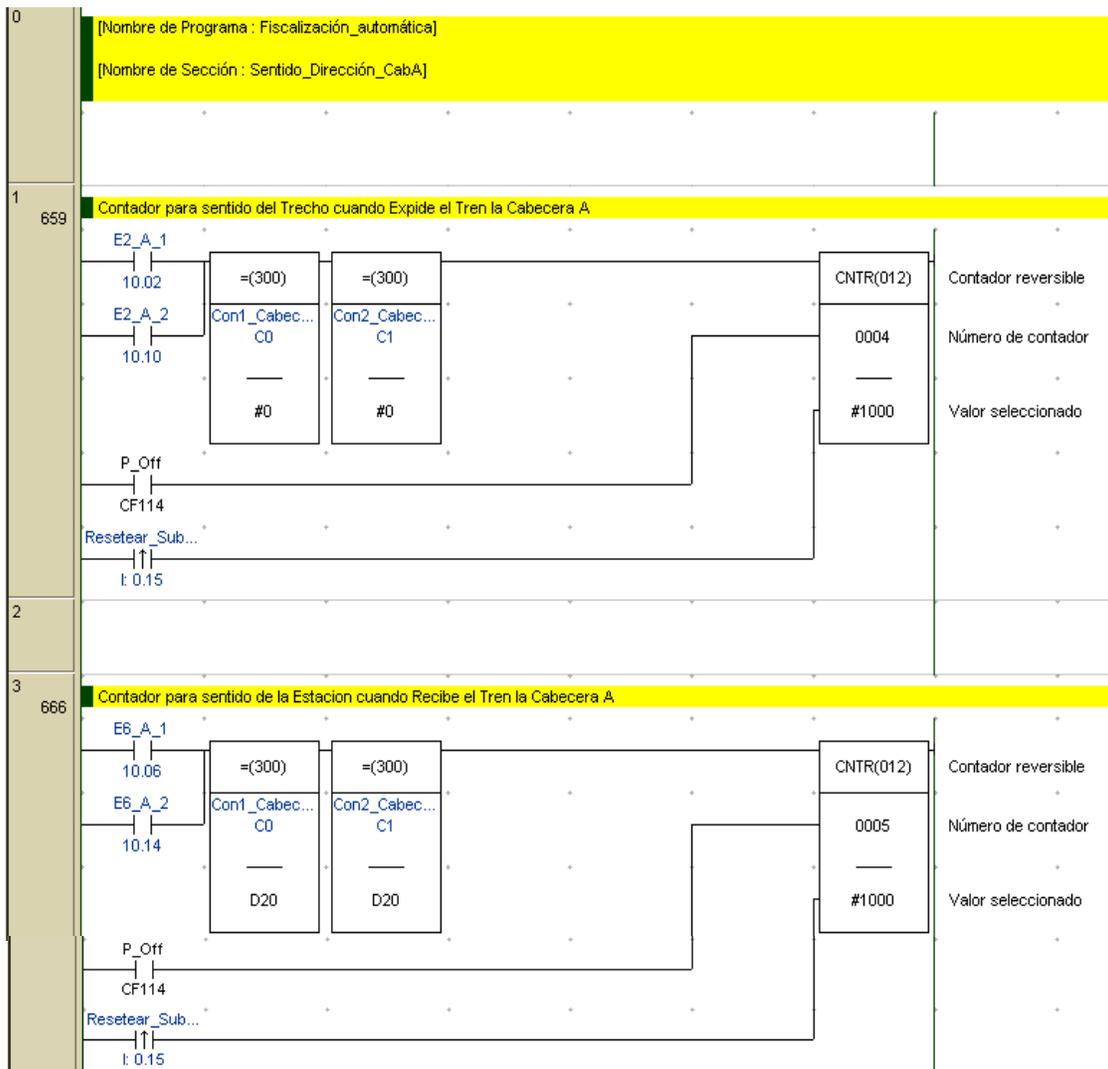


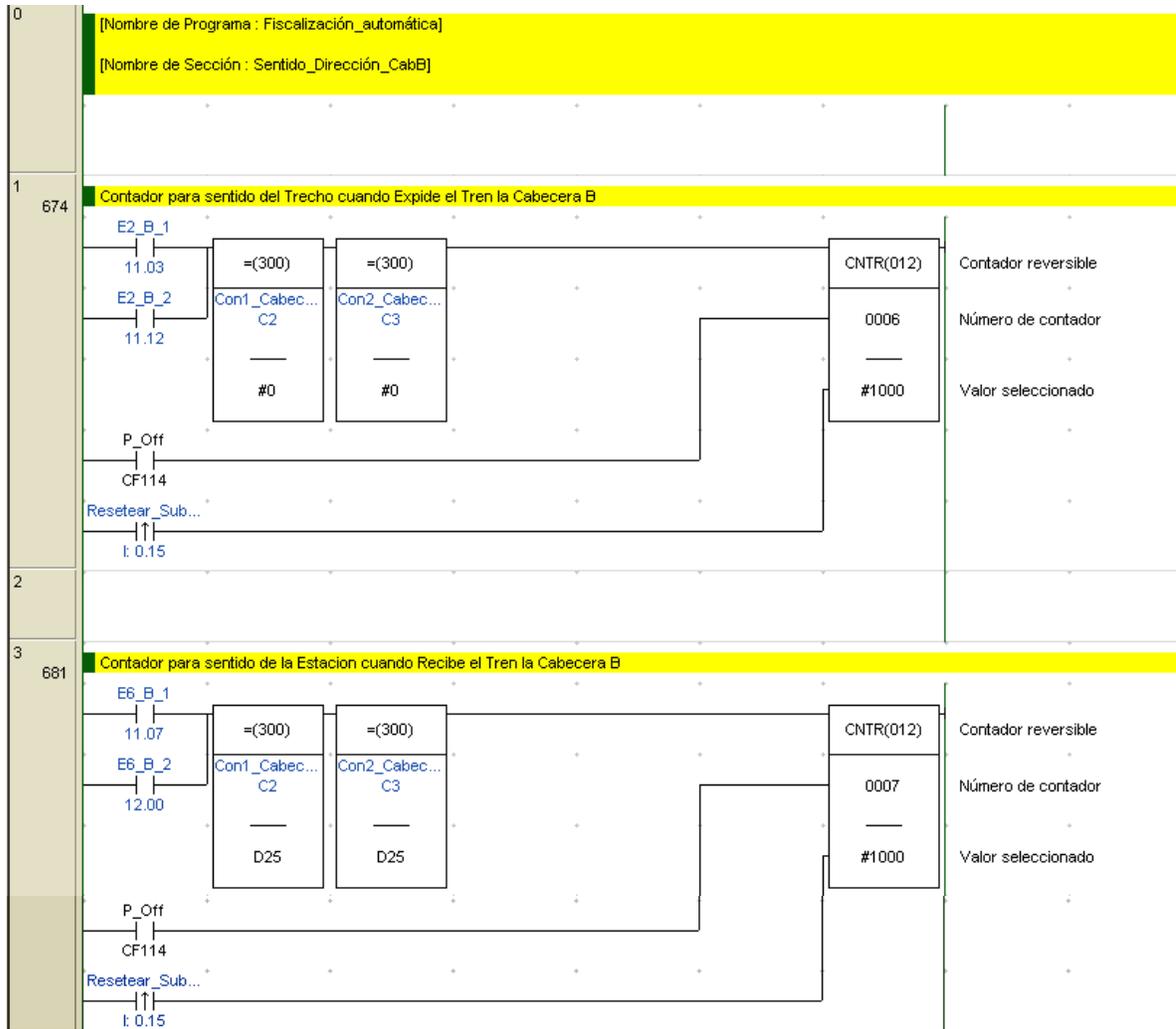


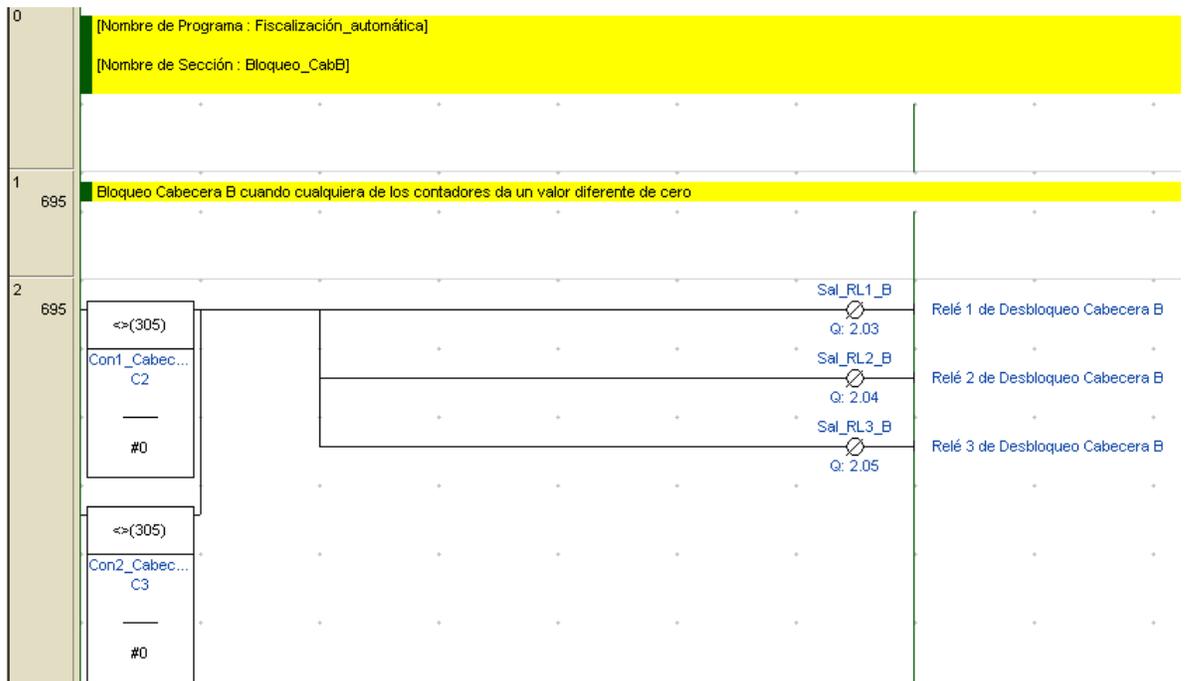
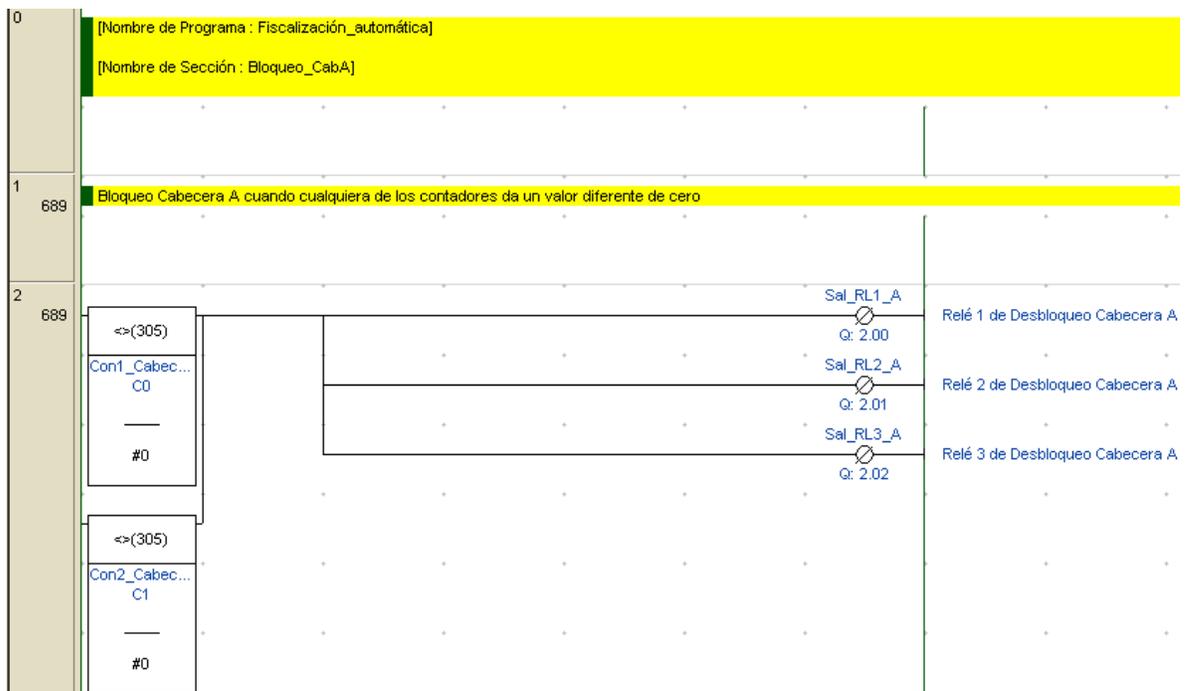
30	606	P_On CF113	SCL(194)	Escala
			Sensor1_B_... I: 2005	Valor Analógico del sensor 1 Cabecera B. Canal fuente
			— D116	Primer canal de parámetro
			Ent_Sensor1... D2005	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 1 Cabecera B Canal de resultado
31	608	P_On CF113	ZCP(088)	Comparar rango de área
			Ent_Sensor1... D2005	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 1 Cabecera B Comparar canal
			— #475	Límite inferior del rango
			— #525	Límite superior del rango
32	610	P_EQ CF006	○ 50.08	
33	612	P_On CF113	ZCP(088)	Comparar rango de área
			Ent_Sensor1... D2005	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 1 Cabecera B Comparar canal
			— #50	Límite inferior del rango
			— #380	Límite superior del rango
34	614	P_EQ CF006	○ 50.09	
35	616	50.09 50.08	KEEP(011)	Mantener
			Sis_1_B 100.04	Sensor Inductivo 1 Cabecera B Bit
36	619	Escalado Sensor Inductivo 2 Cabecera B		
37	619	P_On CF113	SCL(194)	Escala
			Sensor2_B_... I: 2006	Valor Analógico del sensor 2 Cabecera B. Canal fuente
			— D120	Primer canal de parámetro
			Ent_Sensor2... D2006	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 2 Cabecera B Canal de resultado
38	621	P_On CF113	ZCP(088)	Comparar rango de área
			Ent_Sensor2... D2006	Valor escalado de la entrada analógica de sensor 2 Cabecera B Comparar canal
			— #475	Límite inferior del rango
			— #525	Límite superior del rango

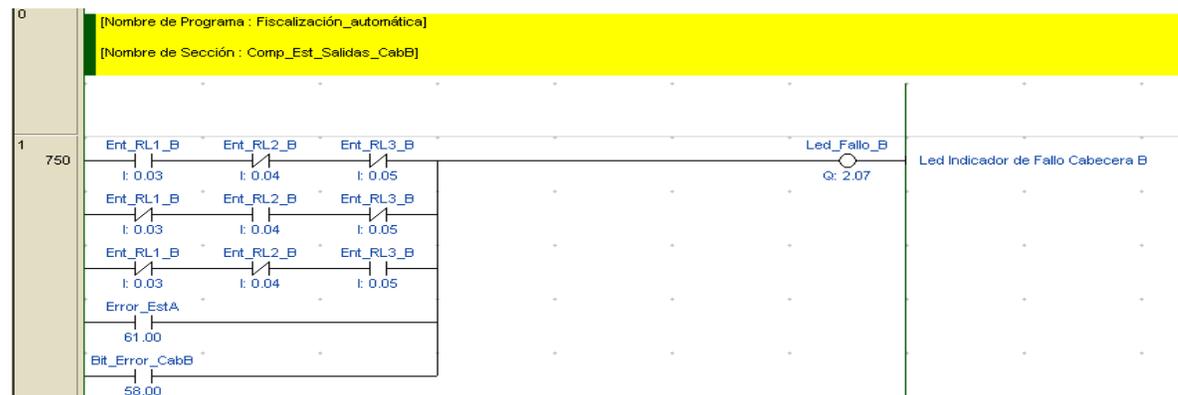
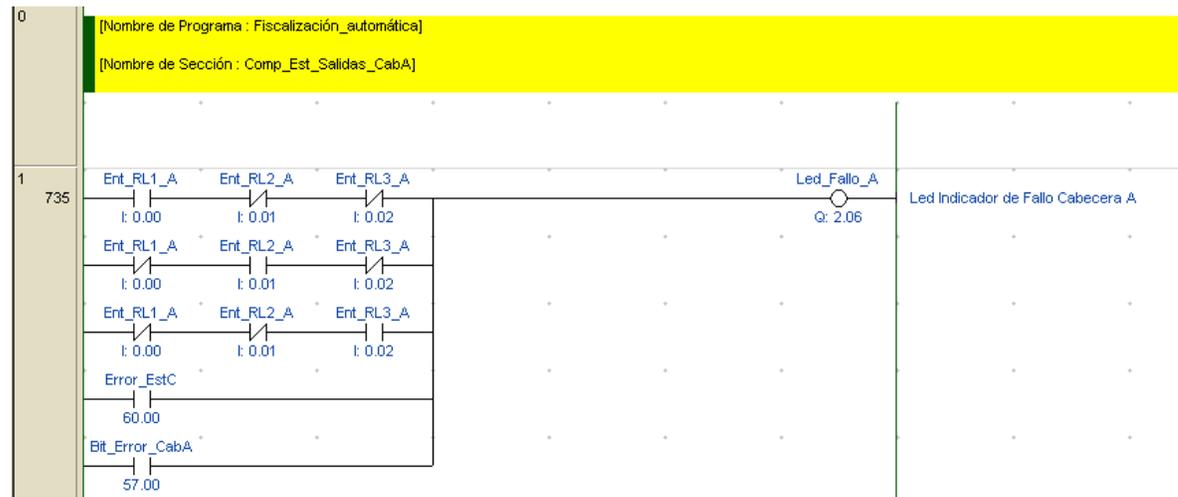
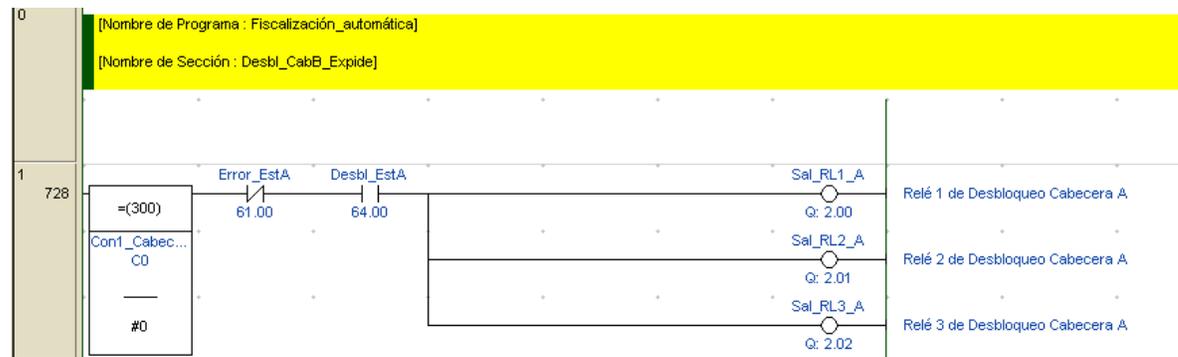
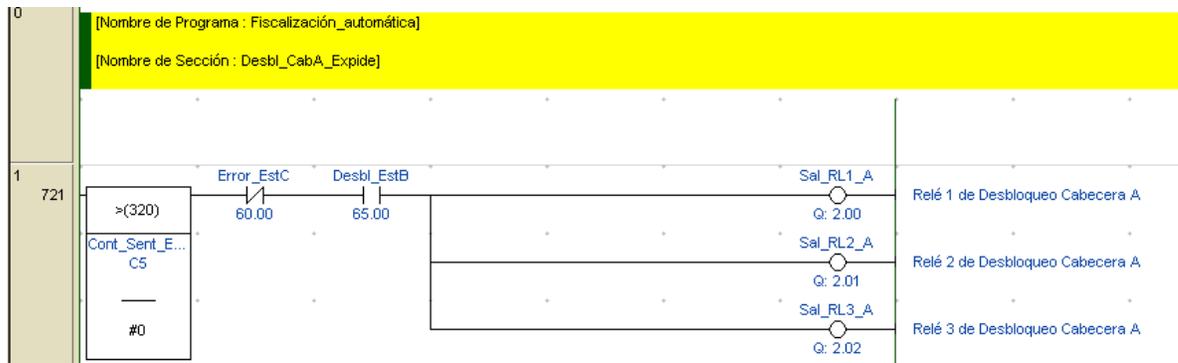


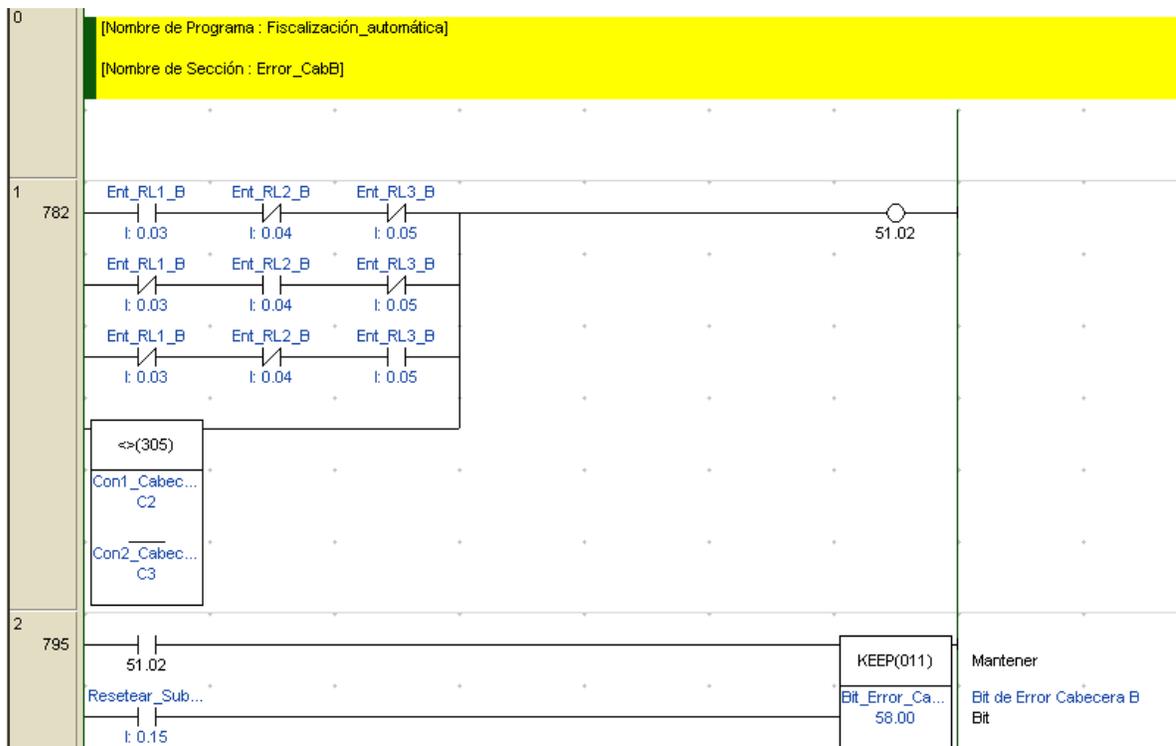
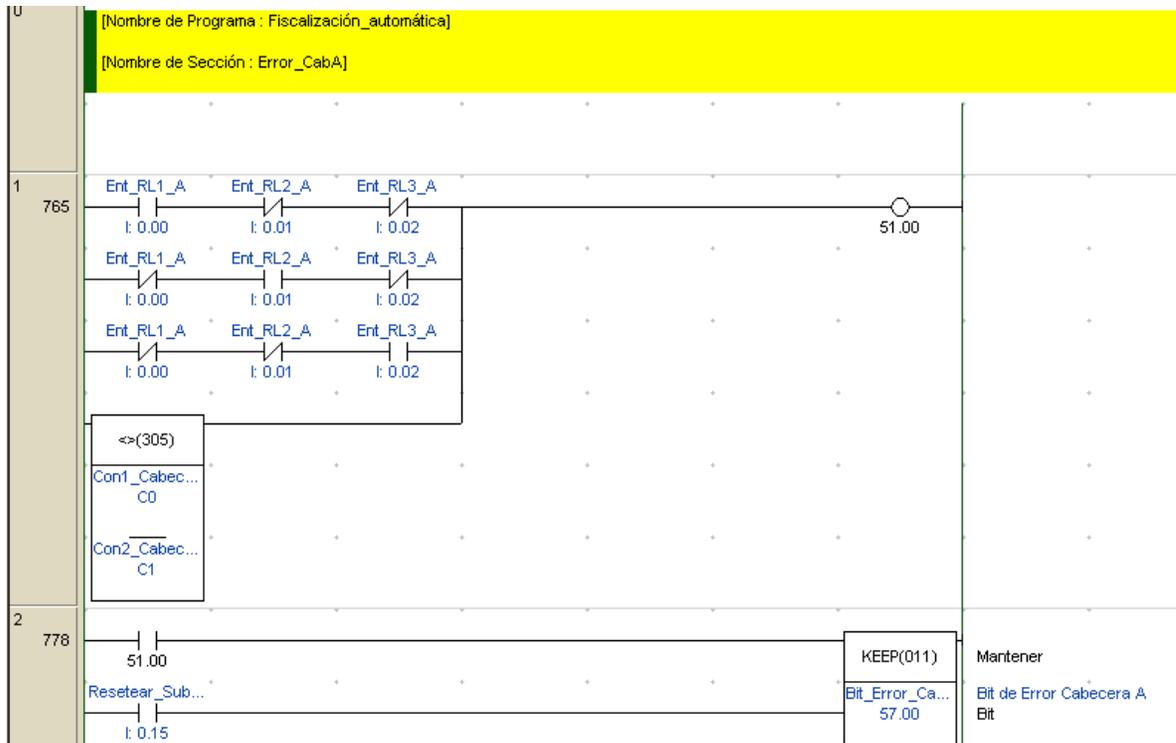


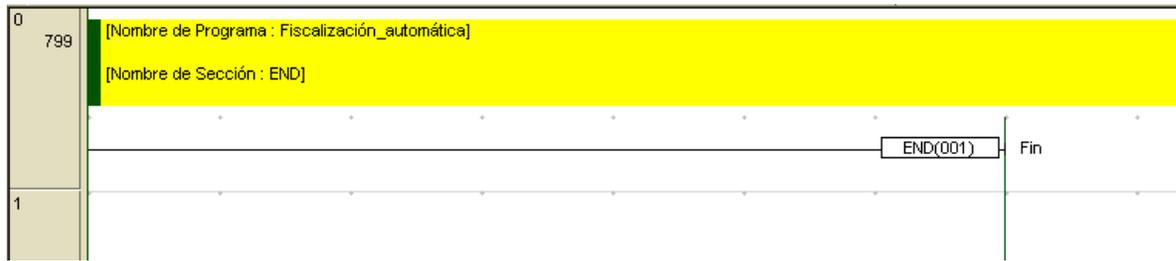




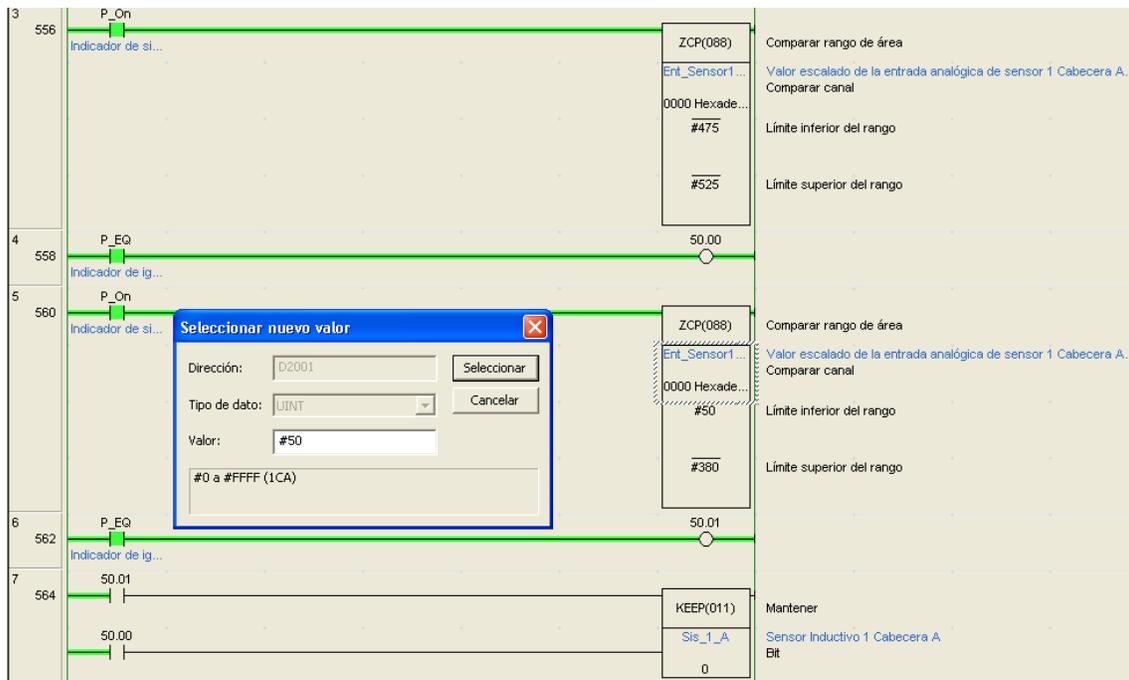




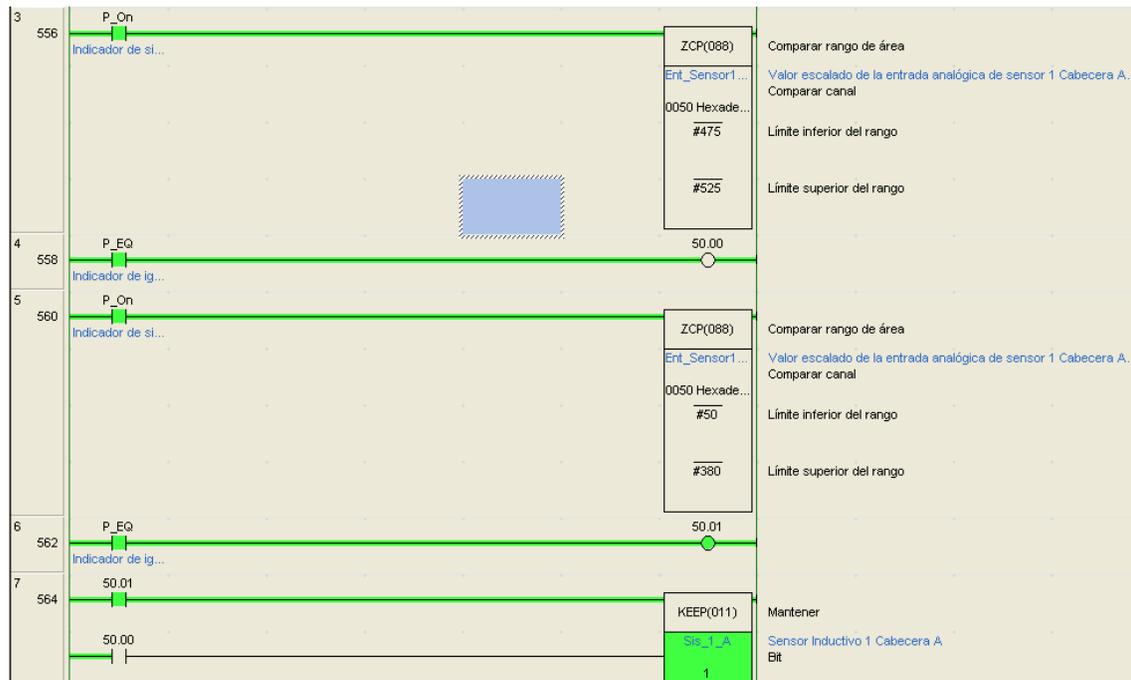




Anexo VII Introducción del valor de la señal de corriente del sensor



Anexo VIII Estado del sensor



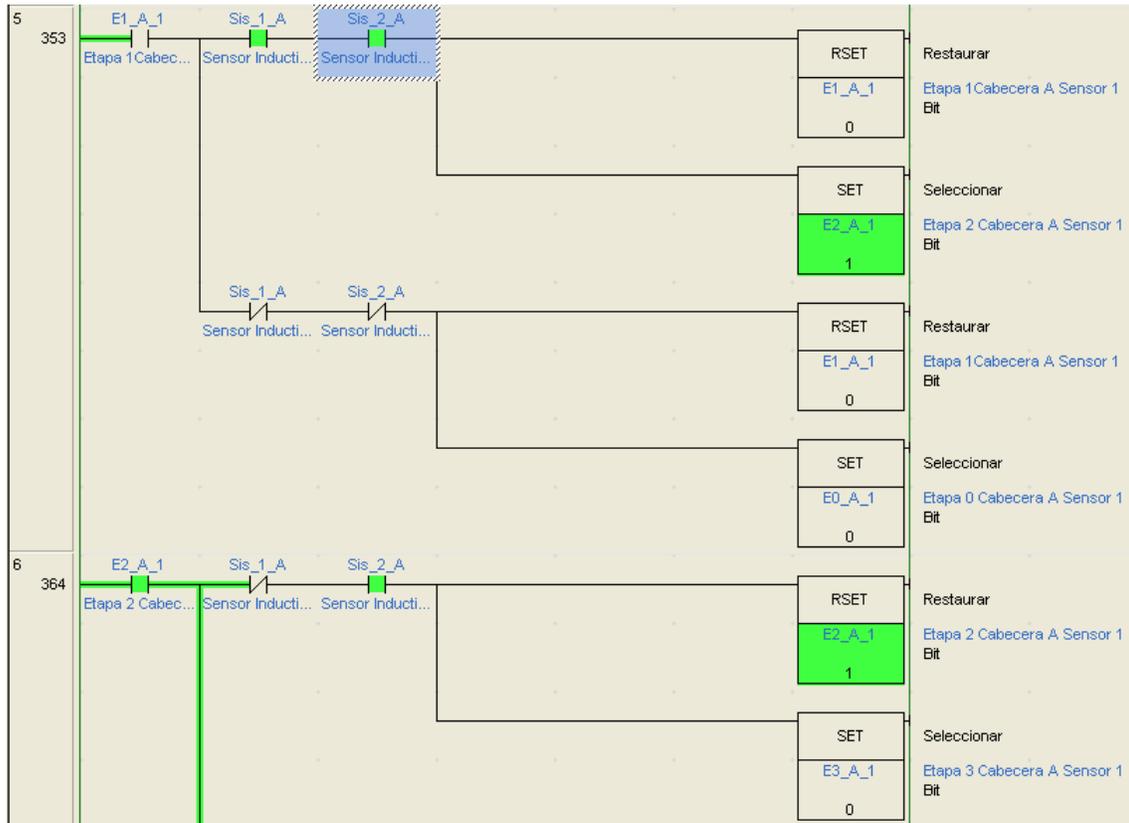
Anexo IX Desactivación de los relés de salida



Anexo X Activación del Estado 1



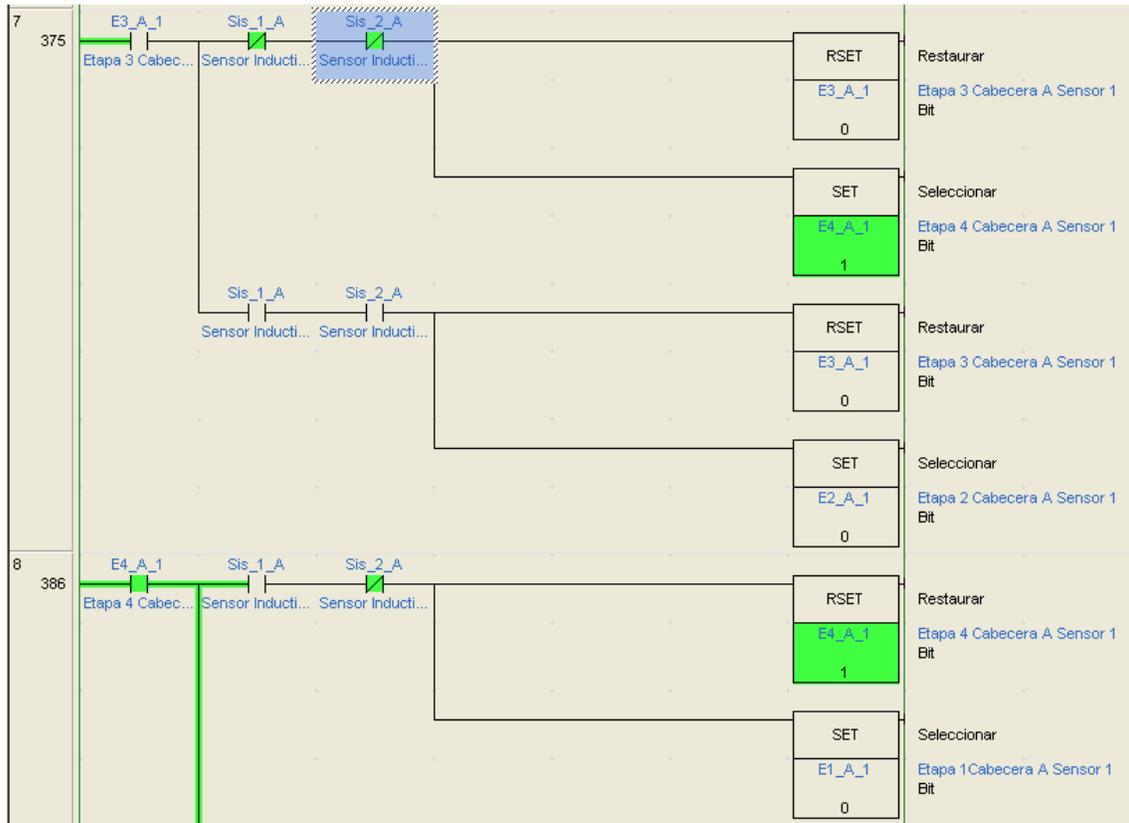
Anexo XI Activación del Estado 2



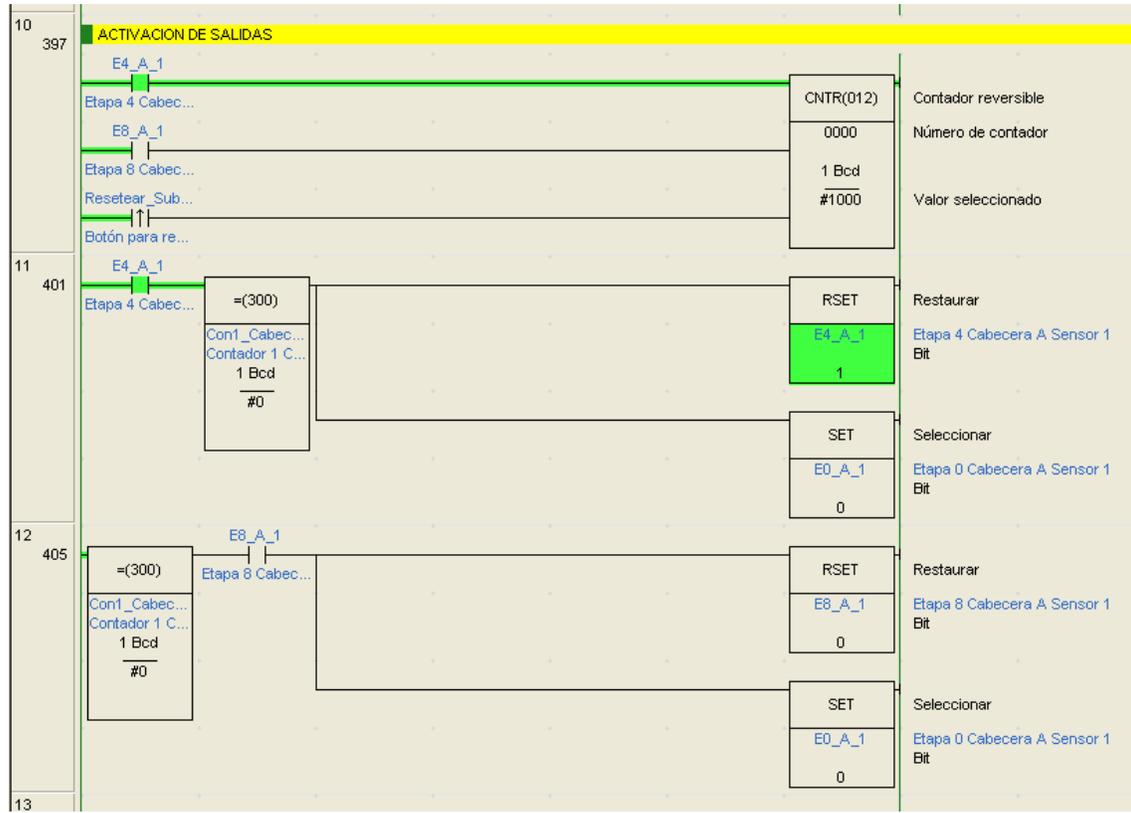
Anexo XII Activación del Estado 3



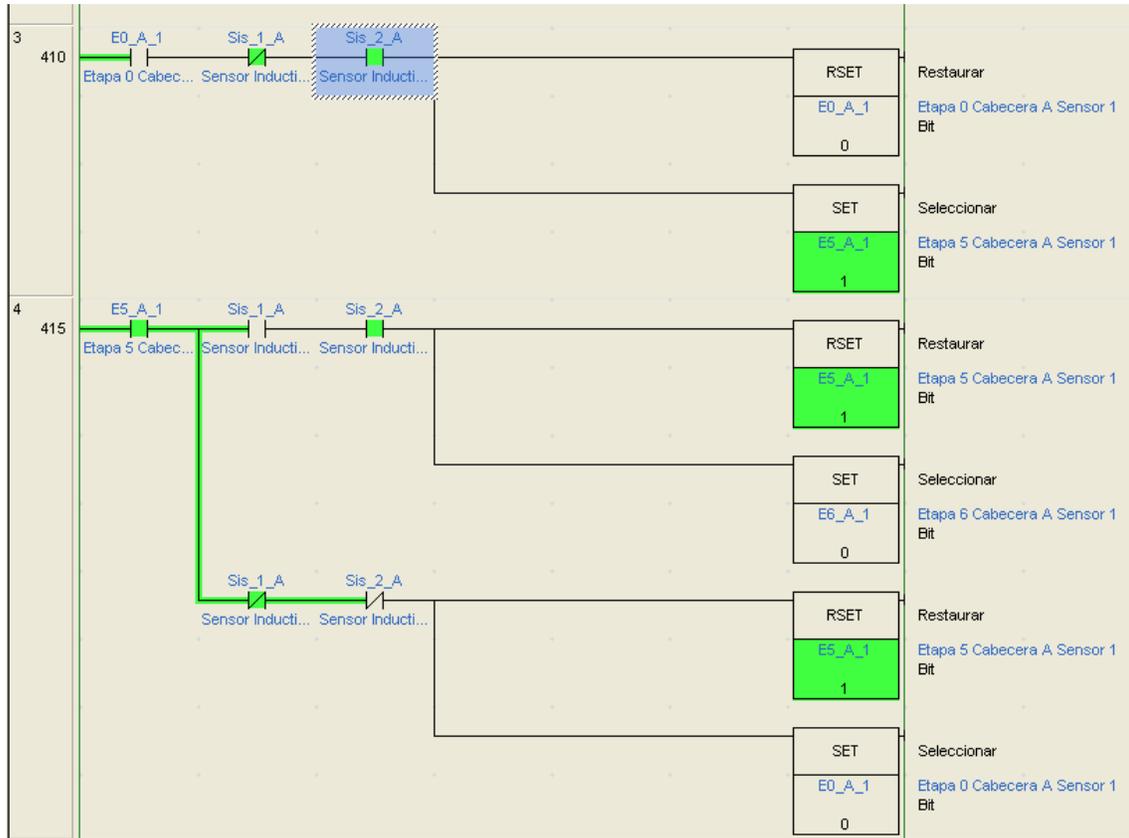
Anexo XIII Activación del Estado 4



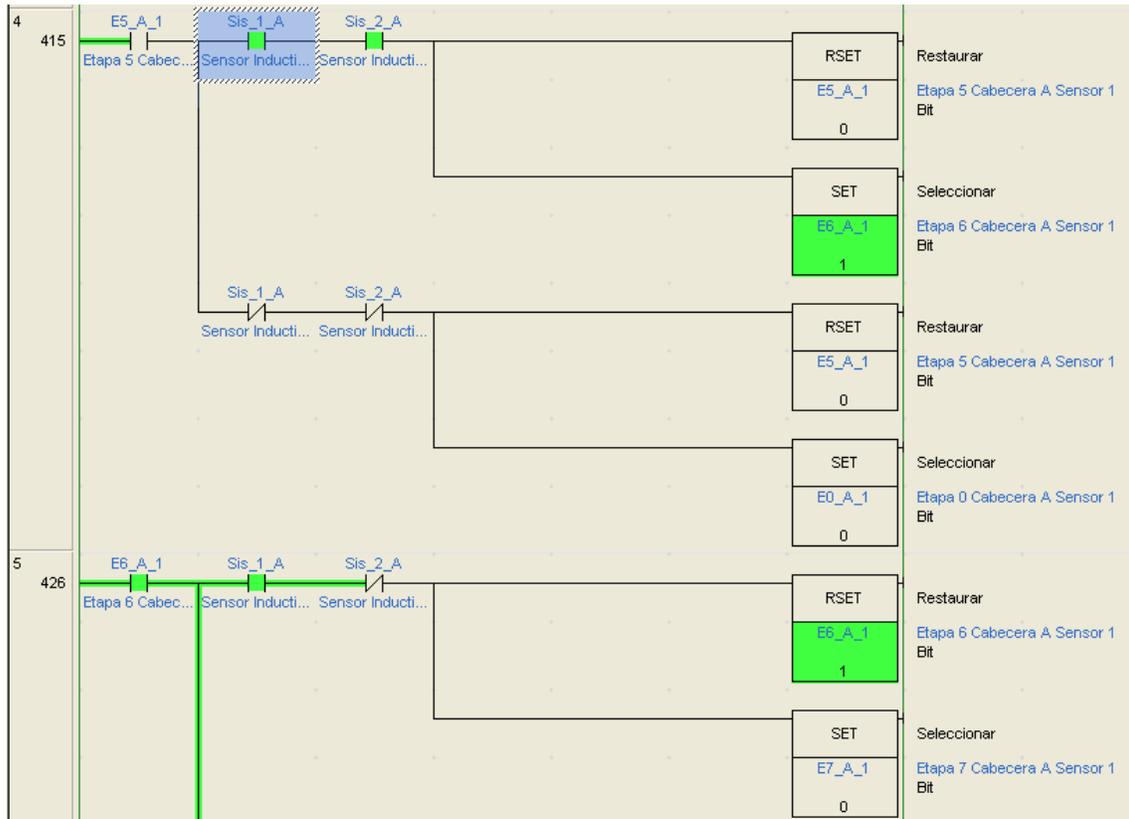
Anexo XIV Incremento del conteo



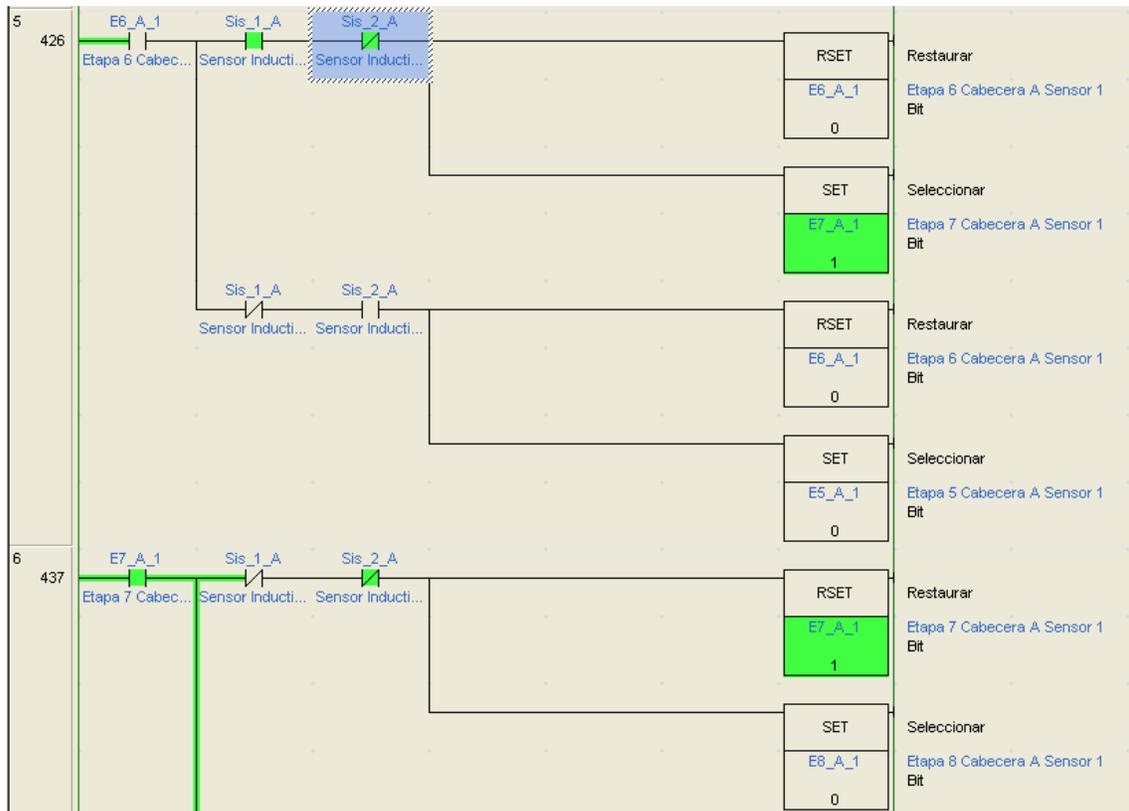
Anexo XV Activación del Estado 5



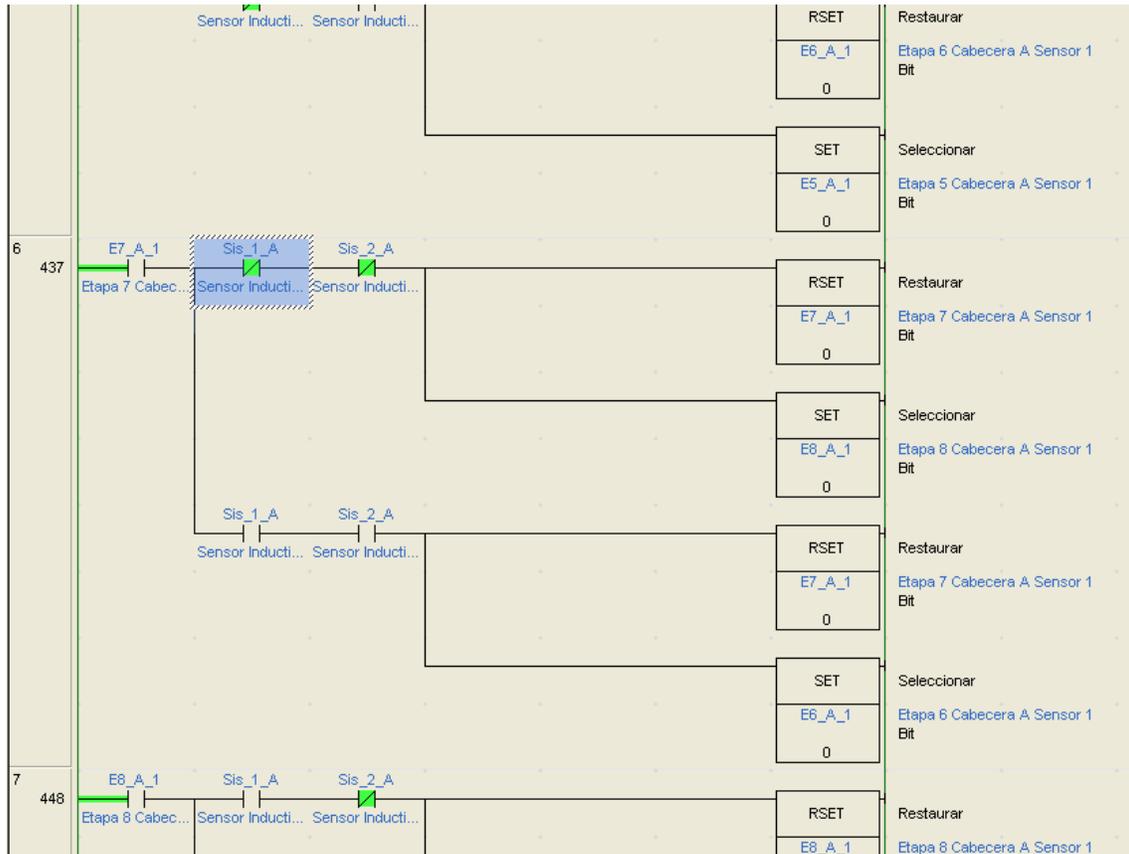
Anexo XVI Activación del Estado 6



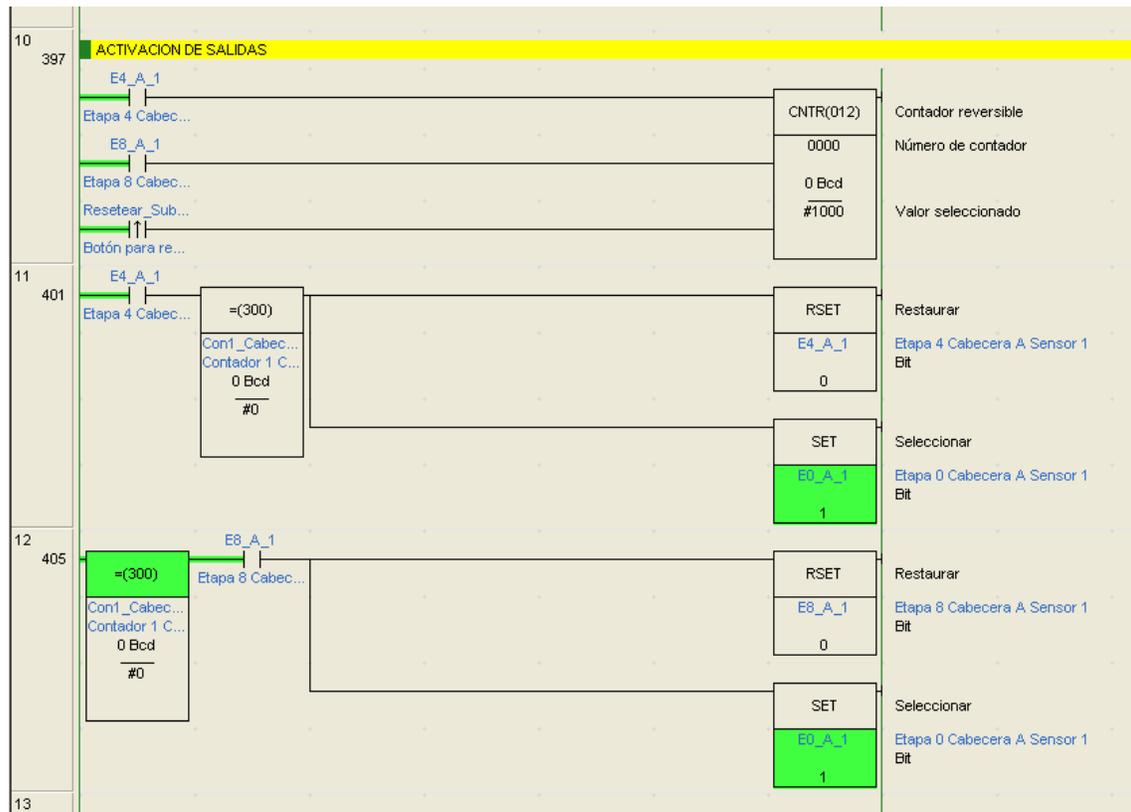
Anexo XVII Activación del Estado 7



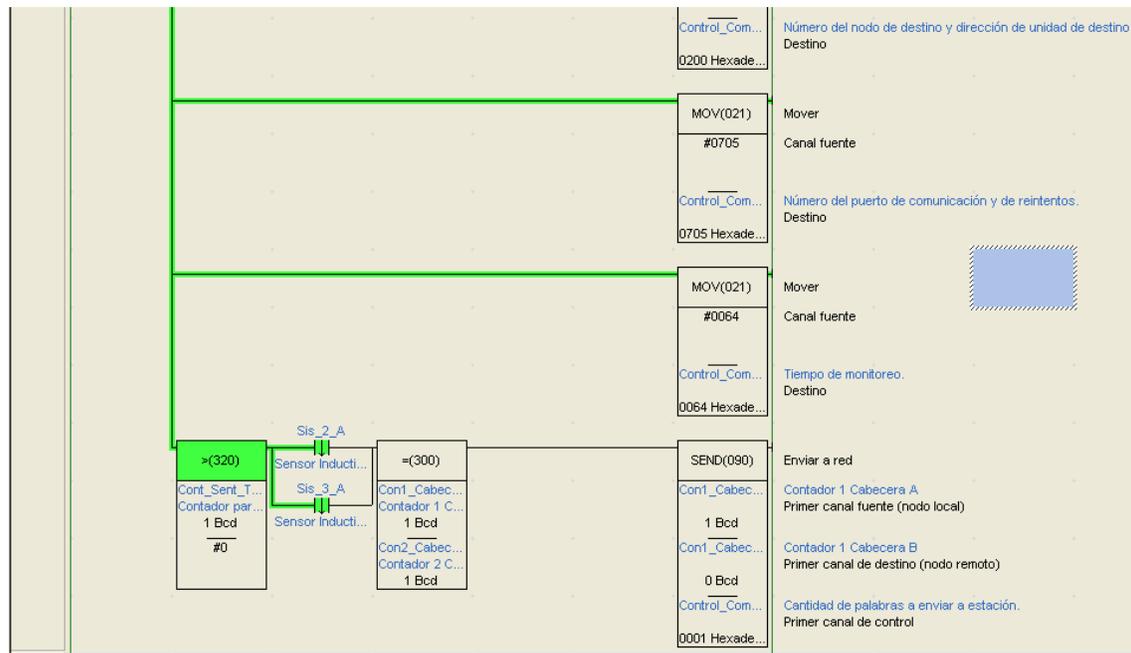
Anexo XVIII Activación/desactivación del Estado 8



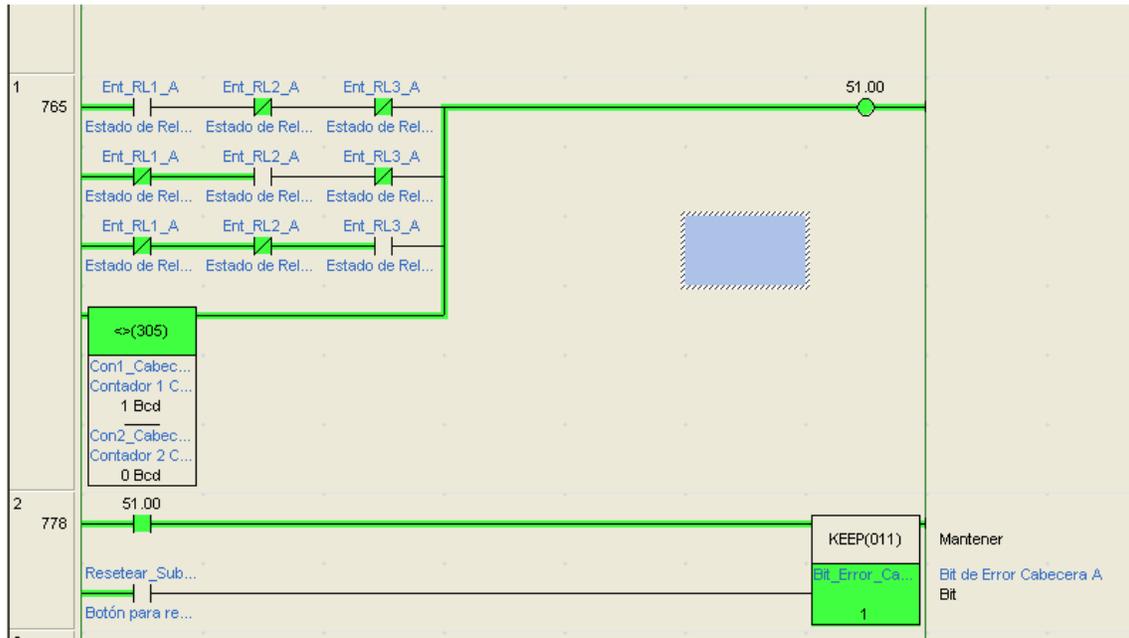
Anexo XIX Decremento del conteo



Anexo XX Envío de conteo



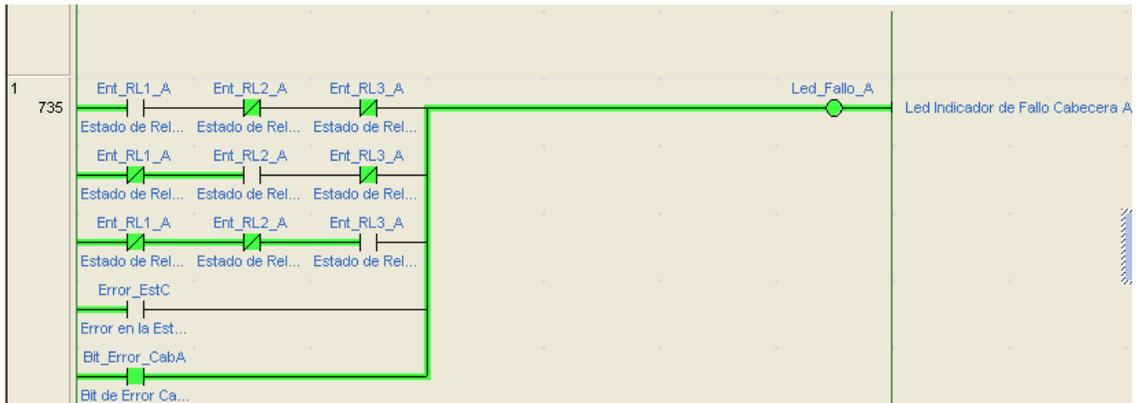
Anexo XXI Detección de error



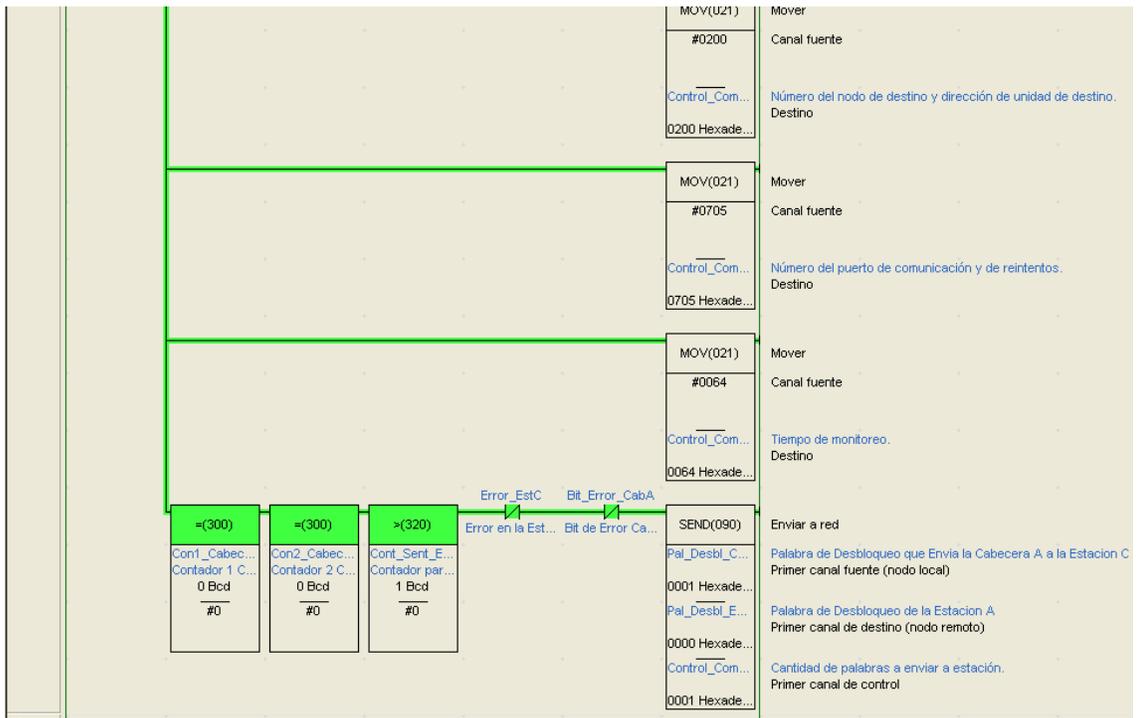
Anexo XXII Envío de error



Anexo XXIII Indicación de error



Anexo XXIV Envío de desbloqueo



Anexo XXV Activación de los relés de salida**Anexo XXVI Simulación del convertidor**