



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Automatización del proceso de inyección de poliuretano para los gabinetes de los refrigeradores de la empresa Induglob S.A.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniera Electrónica

Autores:

Johanna Valeria Alvarado Neira
Jéssica Belén Gallegos Avecillas

Director:

Hugo Marcelo Torres Salamea.

Cuenca, Ecuador
2012

DEDICATORIA

A una mujer muy valiente y luchadora, mi ejemplo de superación, mi querida hermana Mayra Alvarado. Y a mis pequeños hermanitos Ma. Belén Alvarado y Eduardo Farfán, les quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo infinitamente a Dios por acompañarme en cada etapa de este largo camino recorrido y bendecirme con hermosas sorpresas en los momentos menos esperados; continúo con mis padres, Anita y Rodrigo, por ser el apoyo fundamental de mi vida, aquellos ángeles que sin importar el momento ni el lugar están siempre presentes cuando necesito de su ayuda.

Gracias a mi querida amiga Jéssica Gallegos y sus padres, los señores Hugo y Jeannette, por el apoyo brindado durante toda la carrera y en la realización de este trabajo de graduación. A la Empresa Induglob S.A. por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar esta tesis en sus instalaciones, y a dos de sus colaboradores y mis queridos colegas Marcelo Plaza y Edgar Lojan.

Cómo olvidarme de agradecer a todos mis amigos, compañeros, profesores y autoridades de la Universidad del Azuay, especialmente al director de esta tesis, el Ing. Hugo Torres Salamea, por la confianza brindada y por compartir conmigo sus valiosos conocimientos.

Por último, un agradecimiento especial a Pedro Xavier Carpio y Diego Cabrera Pauta por ser aquellas personas incondicionales y excelentes amigos y compañeros.

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación se lo quiero dedicar a mis queridas abuelitas Hilda Zambrano y Luisa Jiménez, que a más de brindarme su cariño han sabido apoyarme en cada etapa de mi vida; también se lo dedico a mis dos angelitos que me cuidan desde el cielo, mis abuelitos Rafael Gallegos y Florencio Avecillas, que a pesar de que ya no están junto a mí, los quiero y recuerdo cada día de mi vida, a mis padres Hugo y Jeannette que han sido el pilar fundamental de mi vida y finalmente se lo dedico a tres personas a quienes quiero mucho, mi hermano Raúl Gallegos y mis amigos Pedro Carpio y Diego Cabrera, quienes han estado presentes cuando más los necesitaba.

Jéssica Belén Gallegos A.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a Dios que ha estado junto a mí en cada momento de mi vida, llenándome de bendiciones y sabiduría para poder lograr todo aquello que me proponga; también quiero brindar mis agradecimientos a mis padres Hugo y Jeannette, ya que con su apoyo incondicional y el amor que me han sabido brindar he podido culminar con éxito mi carrera y llegar a ser quien soy. Además quiero agradecer a todas esas personas que me brindaron su apoyo cuando más los necesitaba, amigos, familia, a la Universidad del Azuay y a la empresa Induglob S.A. por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de graduación, al Ing. Hugo Torres Salamea, a Marcelo Plaza, a Edgar Loján y también a Anita Neira y Rodrigo Alvarado que se han llegado a convertir en mi familia y a ser una parte importante en mi vida, pero especialmente a Johanna Alvarado, que más que una amiga es una hermana, mi apoyo y mi fuerza.

Jéssica Belén Gallegos A.

Handwritten signature and date:
01/02/12

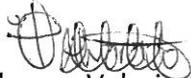
AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE POLIURETANO PARA LOS GABINETES DE LOS REFRIGERADORES DE LA EMPRESA INDUGLOB S.A.

RESUMEN

El propósito de esta tesis consistió en automatizar el proceso de inyección de poliuretano en los gabinetes de los refrigeradores de la Empresa Induglob S.A., para ello se programaron tres PLC, pantallas HMI y drivers o variadores de frecuencia de la marca Mitsubishi. Con el fin de monitorear el proceso de inyección para mejorar la producción del departamento, se implementó también una red de datos entre los equipos mediante tarjetas de comunicación BD-485, permitiendo al sistema adquirir información importante de sus variables principales que será recolectada por una base de datos. El Sistema SCADA, que fue desarrollado mediante el software Mc-WorX, visualiza el modo de funcionamiento y proporciona al operador la capacidad de reconocer posibles fallas gracias a la visualización de alarmas. Para un óptimo funcionamiento, el sistema mecánico debe tener un mantenimiento constante.

Palabras Claves: Automatizar, PLC, HMI, Driver, Red, SCADA.


Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea
Director


Johanna Valeria Alvarado N.


Jéssica Belén Gallegos A.

Handwritten signature and date:
21/02/12

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE POLIURETANO PARA LOS GABINETES DE LOS REFRIGERADORES DE LA EMPRESA INDUGLOB S.A.

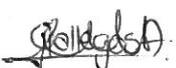
ABSTRACT

The purpose of this thesis was based in the automation of the polyurethane injection process on cabinets of the refrigerators at Induglob Company SA. In order to achieve it PLC, HMI screens and drivers Mitsubishi were programmed. With the purpose of monitor the injection process to improve the production of the department, it was also implemented a network of data between its components using BD-485 communication card; allowing the system to obtain important information from their main variables that will be collected by a data base. The SCADA system, which was developed using Mc-WorX software, displays the operating mode and gives the operator the ability to recognize possible faults by alarms. For optimum performance, the mechanical system must be constantly maintained.

Key Words: Automate, PLC, HMI, Driver, Network, SCADA.


Ing. Leonel Pérez
Director de la Escuela de Ingeniería Electrónica


Johanna Valeria Alvarado N.


Jéssica Belén Gallegos A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

Capítulo I: Torres de Inyección de Poliuretano

1.1. Descripción General.....	3
1.2. Poliuretano	4
1.3. ¿Qué es una Torre de Inyección de Poliuretano?	4
1.3.1. Partes de una Torre de Inyección. Descripción.	4
1.4. Funcionamiento actual de cada Torre de Inyección de Poliuretano	6
1.4.1. Torres Nacionales.....	7
1.4.2. Torres Colombianas	10
1.4.3. Tabla comparativa entre Torres Nacionales y Colombianas	11
1.5. Cambios a realizarse.....	11

Capítulo II: Módulo lógico de control Mitsubishi

2.1. ¿Qué es un PLC? Definición.....	15
2.2. Generalidades de los PLC Mitsubishi	16
2.2.1. Módulo lógico de control Mitsubishi FX3G	16
2.2.2. Módulo lógico de control Mitsubishi FX1N	19
2.3. Sensores y actuadores utilizados	21
2.4. Lógica de control de los PLC	25

Capítulo III: Módulo Analógico Mitsubishi FX2N-4AD-TC

3.1.	Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura.	40
3.1.1.	Criterios de selección para módulos analógicos.....	41
3.1.2.	Módulos especiales.	42
3.2.	Módulo analógico de adquisición de temperatura Mitsubishi FX _{2N} -4AD-TC.....	43
3.2.1.	Instrucciones principales y líneas de programación del módulo de adquisición de temperatura Mitsubishi FX _{2N} -4AD-TC.	45

Capítulo IV: Variador de Frecuencia

4.1.	Variadores de Frecuencia. Definición	53
4.1.1.	Características generales de los variadores de frecuencia Mitsubishi.	54
4.2.	Conceptos Importantes.	56
4.2.1.	Sentido de giro de un motor.	56
4.2.2.	Parameter Unit (PU).	57
4.2.3.	Conexión del circuito de potencia.....	57
4.2.4.	Señales de control.	59
4.3.	Parámetros.....	60
4.3.1.	Elevación del par de giro (parámetro 0).....	61
4.3.2.	Frecuencias de salida mínima y máxima (parámetros 1 y 2)	61
4.3.3.	Curva característica V/f (parámetro 3)	62
4.3.4.	Determinación del valor nominal de la frecuencia mediante señales externas (parámetros 4 a 6).....	62
4.3.5.	Tiempo de aceleración y frenado (parámetros 7 y 8)	63
4.3.6.	Protección electrónica del motor (parámetro 9)	63
4.3.7.	Selección del modo de funcionamiento (parámetro 79)	64
4.4.	Líneas de programación.....	65
4.4.1.	Torre Colombiana 511-006.....	65
4.4.2.	Torre Nacional 511-003.....	67

Capítulo V: Pantalla HMI y Diseño de la Red

5.1.	Pantalla HMI.....	68
5.1.1.	HMI Mitsubishi E300.....	69

5.1.2.	Software de Programación de las Pantallas HMI Mitsubishi.	69
5.1.3.	Pantalla HMI Torres Nacionales.....	70
5.1.4.	Pantalla HMI Torres Colombianas.....	70
5.1.4.1.	Submenú Automático (OPERAC AUTOMA).	72
5.1.4.2.	Submenú Datos de la Producción (DATOS PRODUC).	72
5.1.4.3.	Submenú Calibración (CALIBR SISTEM).....	73
5.1.4.4.	Submenú Manual (OPERC MANUAL).	73
5.1.4.5.	Submenú Mantenimiento (MANTTO SISTEM).....	75
5.2.	Diseño de la Red.....	75
5.2.1.	Red PLC-Driver	76
5.2.1.1.	Líneas de programación	78
5.2.2.	Red PLC-PLC	81
5.2.2.1.	Especificaciones	82
5.2.2.2.	Patrones y número de puntos de enlace	83
5.2.2.3.	Diagrama de conexiones	84
5.2.2.4.	Líneas de programación	85
5.2.3.	Red entre las Torres 511-006 y 511-005 a través del HMI.....	87

Capítulo VI: Sistema SCADA

6.1.	Sistemas SCADA. Definición.	89
6.1.1.	Funciones principales del sistema.....	90
6.1.2.	Características.....	91
6.2.	MX OPC Server.....	92
6.3.	MC-WorX.....	96
6.3.1.	GraphWorX™	96
6.3.2.	TrendWorX™	97
6.3.3.	AlarmWorX™	97
6.3.4.	Otros componentes	98
6.3.5.	Descripción Esquemática	98
6.4.	Interface Gráfica Sistema SCADA	99

Capítulo VII: Pruebas y Resultados

7.1.	Pruebas	102
------	---------------	-----

7.1.1.	Pruebas de Equipos	102
7.1.2.	Pruebas de Conexión	103
7.1.3.	Pruebas del Sistema SCADA	104
7.2.	Resultados.....	104
 CONCLUSIONES.....		110
RECOMENDACIONES		113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		115
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS		116
ANEXOS.....		118

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Comparación Torres Nacionales y Colombianas.	11
Tabla 2.1: Funciones Básicas Mitsubishi FX3G.....	17
Tabla 2.2: Entradas/Salidas de alta velocidad.....	17
Tabla 2.3: Funciones de comunicación y red.....	18
Tabla 2.4: Funciones analógicas.....	18
Tabla 2.5: Funciones de la pantalla.	18
Tabla 2.6: Especificaciones del sistema FX1N.....	21
Tabla 2.7: Operandos del sistema FX1N.....	21
Tabla 2.8: Entradas Torres Nacionales 511-003 y 511-004.	31
Tabla 2.9: Salidas Torres Nacionales 511-003 y 511-004.....	32
Tabla 2.10: Temporizadores Torres Nacionales 511-003 y 511-004.	33
Tabla 2.11: Contadores Torres Nacionales 511-003 y 511-004.....	33
Tabla 2.12: Registros Torres Nacionales 511-003 y 511-004.	34
Tabla 2.13: Entradas Torre Colombiana 511-005.....	35
Tabla 2.14: Entradas Torre Colombiana 511-005.....	35
Tabla 2.15: Temporizadores Torre Colombiana 511-005.....	36
Tabla 2.16: Contadores Torre Colombiana 511-005.	36
Tabla 2.17: Registros Torre Colombiana 511-005.....	37
Tabla 2.18: Entradas Torre Colombiana 511-006.....	37
Tabla 2.19: Salidas Torre Colombiana 511-006.	38
Tabla 2.20: Temporizadores Torre Colombiana 511-006.....	39
Tabla 2.21: Contadores Torre Colombiana 511-006.	39
Tabla 2.22: Registros Torre Colombiana 511-006.....	39
Tabla 3.1: Datos Técnicos FX2N-4AD-TC.	44
Tabla 3.2: Especificaciones FX2N-4AD-TC.....	45
Tabla 3.3: Buffer Memory Location.	46
Tabla 3.4: Buffer Memory BFM#29 Error Status.....	48
Tabla 4.1: Alimentación de los variadores de frecuencia..	57
Tabla 4.2: Bornes de conexión.....	58
Tabla 4.3: Señales de control.....	59
Tabla 4.4: Sinopsis de los parámetros básicos.....	60

Tabla 4.5: Modos de funcionamiento.....	65
Tabla 5.1: Parámetros de ajuste para la red entre el driver y el PLC.....	77
Tabla 5.2: Instrucciones de comunicación con el Driver.....	79
Tabla 5.3: Descripción del código de arranque HFA.	80
Tabla 5.4: Especificaciones de la Red N:N.....	82
Tabla 5.5: Patrones y número de puntos de enlace..	83
Tabla 7.1: Resultados de las pruebas de los equipos.	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación de la Planta..	3
Figura 1.2: Partes de una Torre de Inyección de Poliuretano.	5
Figura 1.3: Módulo Lógico de Control Logo V1..	7
Figura 1.4: Tablero de Control.	9
Figura 1.5: Termostato que se utiliza para la medición de temperatura.	10
Figura 1.6: Pantalla Mitsubishi E300.....	13
Figura 2.1: Estructura de un PLC.....	15
Figura 2.2: Descripción del sistema y de unidades. MELSEC FX1N..	20
Figura 2.3: Encoder Incremental Autonic.....	22
Figura 2.4: Fin carrera Telemecanique.....	22
Figura 2.5: Focélula difusa Autonics.....	22
Figura 2.6: Termocuplas.....	23
Figura 2.7: Motor WEG.....	23
Figura 2. 8: Sensor Inductivo Autonics.....	24
Figura 2.9: Motor SIEMENS.....	25
Figura 2.10: Diagrama de Flujo del Proceso de Inyección.	26
Figura 2.11: Carro de Inyección de Poliuretano.....	29
Figura 2.12: Carro de Inyección de Poliuretano.....	29
Figura 3.1: Ejemplo de medición de temperatura	41
Figura 3.2: Módulo de Temperatura FX2N-4AD-TC.....	43
Figura 3.3: Instrucción TO.....	45
Figura 3.4: Parámetro Source.....	46
Figura 3.5: Instrucción FROM.....	47
Figura 3.6: Instrucción CMP.....	48
Figura 3.7: Instrucción CMP.....	49
Figura 3.8: Instrucciones ADD y SUB.....	50
Figura 3.9: Instrucción FROM, adquisición de temperatura.....	50
Figura 3.10: Instrucción DIV.....	51
Figura 3.11: Instrucción ZCP.....	51
Figura 3.12: Instrucción ZCP.....	51

Figura 4.1: Diagrama de un Sistema VFD.	53
Figura 4.2: Variador de Frecuencia.....	54
Figura 4.3: Tensión vs. Frecuencia de salida.	54
Figura 4.4: Conexión del variador de frecuencia..	58
Figura 4.5: Tensión vs. Frecuencia de Salida.....	61
Figura 4.6: Frecuencias de salida mínima y máxima.....	61
Figura 4.7: Curva característica V/F.	62
Figura 4.8: Ejemplo para la conexión a los bornes RH, RM, RL y REX de un variador de frecuencia.	62
Figura 4.9: Tiempo de aceleración y frenado.....	63
Figura 4.10: Bloque de programación Torre Colombiana 511-006.	66
Figura 4.11: Bloque de programación Torre Nacional 511-003.....	67
Figura 5.1: Human Machine Interface (HMI).....	68
Figura 5.2: Controlador para la conexión con el PLC.	70
Figura 5.3: Controladores para la conexión con el PLC.	71
Figura 5.4: Pantalla Principal Torres 511-005 y 511-006.	71
Figura 5.5: Menú Principal Torre 511-006.	72
Figura 5.6: Operación Automática.....	72
Figura 5.7: Pantalla del Submenú Datos de la Producción.	73
Figura 5.8: Submenú Calibración.....	73
Figura 5.9: Submenú Operación Manual.	74
Figura 5.10: Submenú Temperatura.	74
Figura 5.11: Opción "BARRA" del Submenú Temperatura.....	74
Figura 5.12: Submenú Mantenimiento.	75
Figura 5.13: Diagrama esquemático de la red.	76
Figura 5.14: Diagrama de conexiones	77
Figura 5.15: Instrucción HED para establecer frecuencia.	78
Figura 5.16: Instrucciones para monitorear valores de ciertos parámetros del Driver.....	79
Figura 5.17: Instrucciones para controlar la operación del Driver.	80
Figura 5.18: Red N:N.....	82
Figura 5.19: Tarjeta de red FX-1N-485 BD.....	84
Figura 5.20: Tarjeta de red FX-3G-485 BD.....	84
Figura 5.21: Diagrama de conexiones	85
Figura 5.22: Instrucciones de configuración en red para PLC Maestro.	85

Figura 5.23: Configuración de Estación Esclavo.	86
Figura 5.24: Multiplexación por división de tiempo.	87
Figura 5.25: Ejemplo comunicación en Red entre dos PLC utilizando la pantalla que comparten.	88
Figura 6.1: Arquitectura OPC cliente-servidor..	92
Figura 6.2: Mx OPC Configurator.....	93
Figura 6.3: Configuración Mx Device.	93
Figura 6.4: Propiedades de los dispositivos.....	94
Figura 6.5: Propiedades de Etiquetas de Datos.	95
Figura 6.6: Monitoreo de valores de variables de dispositivo.....	95
Figura 6.7: MC-WORX Arquitectura.....	99
Figura 6.8: Pantalla parámetros de Torre 511–003.	100
Figura 6.9: Pantalla Reportes Históricos de Torre 511–003.....	100
Figura 6.10: Pantalla Alarmas.	101
Figura 7.1: PLC Mitsubishi FX-3G, Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura, Módulo Ethernet.	105
Figura 7.2: PLC Mitsubishi FX-1N, Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura. ...	105
Figura 7.3: Módulos Mitsubishi de expansión de entradas y salidas, Módulos Analógicos de Adquisición de Temperatura.....	105
Figura 7.4: Variador de Frecuencia Mitsubishi.....	106
Figura 7.5: Pantalla HMI Mitsubishi.....	106
Figura 7.6: Tarjetas de red FX3G-485-BD.	107
Figura 7.7: Tarjeta de red FX1N-485-BD.	107
Figura 7.8: Pantalla Sistema SCADA Torre 511-005.....	108
Figura 7.9: Pantalla Sistema SCADA Torre 511-003.....	108
Figura 7.10: Pantalla de Alarmas.	109

Alvarado Neira Johanna Valeria
Gallegos AVECILLAS Jéssica Belén
Trabajo de Graduación
Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea
Enero 2012

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE POLIURETANO PARA LOS GABINETES DE LOS REFRIGERADORES DE LA EMPRESA INDUGLOB S.A.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la empresa Induglob (antes llamada Indurama), cuenta con un sistema de torres de inyección de poliuretano para los gabinetes de los refrigeradores, cuyos parámetros principales, tales como la regulación y medición de la temperatura, se controlan por medio de equipos inadecuados que impiden un desarrollo satisfactorio del mismo. Es necesario implementar un sistema de automatización que brinde soluciones óptimas a estos inconvenientes así como también facilidad y rapidez en el manejo para los operadores que laboran en este departamento; por ello, el objetivo general de esta tesis es “automatizar el proceso de inyección de poliuretano para los gabinetes de los refrigeradores de la empresa Induglob S.A.”.

Antes de desarrollar el sistema de automatización es conveniente realizar un análisis exhaustivo de las condiciones de funcionamiento actuales, por esta razón el Capítulo 1 contiene una descripción general de las Torres de Inyección y las partes que componen a cada una; además de una explicación detallada de las características que rigen el proceso.

Con la realización del análisis y de acuerdo a las necesidades que presenta el proceso de inyección, ya se cuenta con un criterio de selección para el PLC que cumpla con el perfil requerido; el sistema de automatización constará de tres PLC y dos pantallas HMI

con los que se facilitará la calibración de las medidas y permitirá al operador el cambio de parámetros directamente desde el panel frontal y según su nivel de jerarquía. El Capítulo 2 y parte del Capítulo 5 contendrán las propiedades y características tanto de los PLC como de las pantallas HMI que serán programados, así como el diagrama de flujo del proceso.

Igualmente, al instalar los elementos adecuados para el control de las diferentes variables tales como la velocidad de los motores que controlan a la plataforma superior y muros, así como la temperatura a la cual se deben mantener las paredes de cada Torre de Inyección, se conseguirá visualización de datos en tiempo real y de esta manera una disminución considerable del rango de error en las mediciones teniendo como resultado un producto de calidad que cumple ciento por ciento con las normativas de la empresa. Los motores serán controlados mediante variadores de frecuencia o drivers cuyo funcionamiento se explica en el Capítulo 3 y la temperatura, por medio de módulos analógicos de adquisición que serán detallados en el Capítulo 4.

Finalmente, se planea implementar una red de datos que permita almacenar las principales variables del proceso y con ello desarrollar un sistema SCADA que facilite al operador el análisis y revisión de posibles daños ocasionados durante la producción gracias a la visualización de alarmas. La descripción de estos sistemas se puede encontrar en los Capítulos 5 y 6.

CAPÍTULO I

TORRES DE INYECCIÓN DE POLIURETANO

1.1. Descripción General

La empresa Induglob S.A. antes conocida como Indurama S.A., está ubicada en la provincia del Azuay en la parte sur de la ciudad de Cuenca, kilómetro 2½ EL ARENAL Av. Don Bosco SN y Av. De las Américas, tal como se indica en la Figura 1.1:

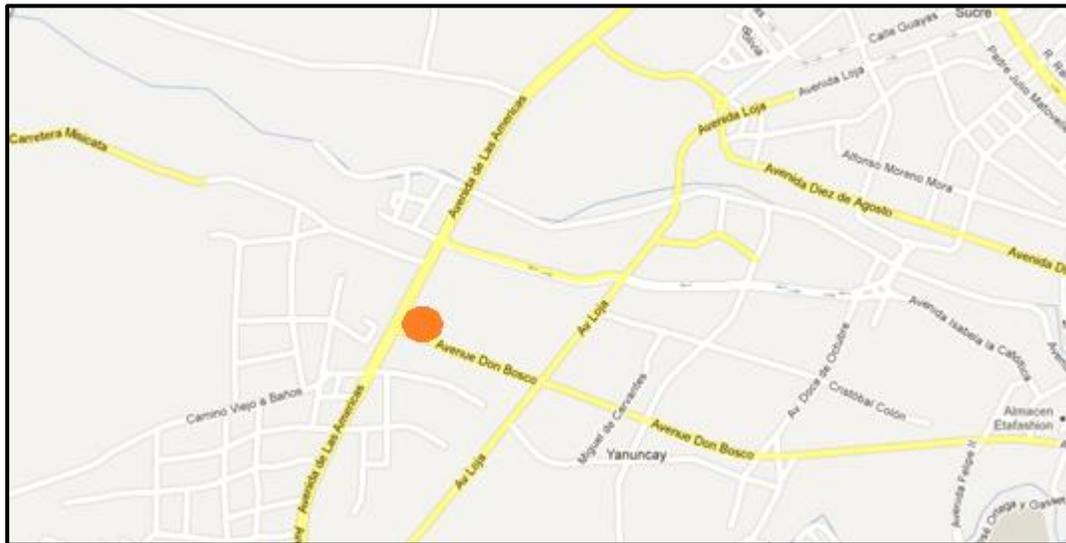


Figura 1.1: Ubicación de la Planta.

Fuente: Google Maps. Avenida de las Américas, Cuenca, Azuay, Ecuador. <maps.google.es>. [Consulta: 3 de octubre de 2011].

La planta se encarga principalmente de la producción de cocinas y refrigeradoras, dentro del área de fabricación de refrigeradoras, específicamente en la sección de gabinetes existe un proceso denominado inyección de poliuretano, mismo que será automatizado en este trabajo de graduación.

1.2. Poliuretano

La espuma de poliuretano es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas que se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un poliol y un isocianato (aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos). Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas. Según el sistema de fabricación, se pueden dividir en dos tipos:

- **Espumas en caliente:** son las espumas que liberan calor durante su reacción, fabricadas en piezas de gran tamaño, destinadas a ser cortadas posteriormente. Generalmente son las más baratas, las más utilizadas y conocidas por el público.
- **Espumas en frío:** son aquellas que apenas liberan calor en la reacción, se utilizan para crear piezas a partir de moldes, como rellenos de otros artículos, como aislantes, etc. Normalmente suelen ser de mayor calidad y duración que las espumas en caliente, aunque su costo es bastante mayor.

El tipo de espuma que se utiliza en este proceso es la espuma en frío, que tal como se explicó anteriormente, es la que se emplea como relleno de otros artículos, en este caso el relleno de las paredes de los gabinetes de las refrigeradoras.

1.3. ¿Qué es una Torre de Inyección de Poliuretano?

Una Torre de Inyección es una máquina diseñada para ajustar el gabinete de la refrigeradora en una posición específica, de manera que quede listo para la inyección; además, sus paredes ejercen presión sobre éste para evitar que sufra deformaciones en el momento de la expansión de la espuma de poliuretano.

1.3.1. Partes de una Torre de Inyección. Descripción.

A continuación se muestra la Figura 1.2 donde se indican las partes de una torre de inyección:

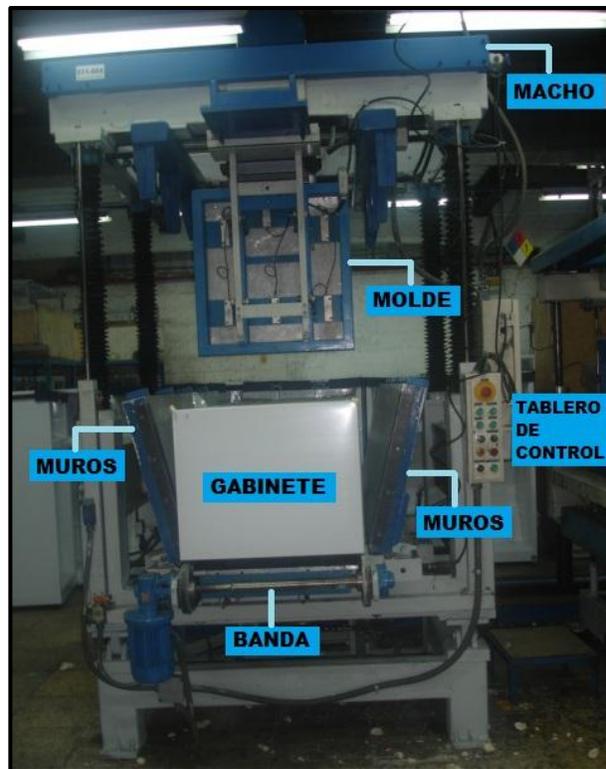


Figura 1.2: Partes de una Torre de Inyección de Poliuretano.

Macho: es la plataforma superior de la torre, contiene al molde del modelo de gabinete al cual se va a inyectar el poliuretano. Las distancias que avanza se controlan por medio de un encoder.

Muros: están ubicados uno a cada lado de la torre, se ajustan de forma mecánica (en el caso de las torres nacionales) y con un motor cuya velocidad se regula mediante un variador de frecuencia (en el caso de las torres colombianas) para sujetar al gabinete en el momento de la inyección y expansión de la espuma de poliuretano.

Banda: se ubica en la parte inferior de la torre, facilita la introducción del gabinete deslizándolo hasta la pared posterior de la misma.

Molde: hecho generalmente en madera y fácilmente desmontable para cambiarlo de acuerdo al modelo del refrigerador; se ajusta al macho de manera que en el momento de su descenso se pueda introducir en el gabinete

que ya está previamente sujetado por los muros para evitar deformaciones en el momento de la expansión de la espuma poliuretano.

Tablero de control: antes de realizar la automatización de las torres, cada una contaba con un tablero de control el cual contenía una serie de pulsantes para activar cada parte del proceso de inyección, así como un pulsante de emergencia.

1.4. Funcionamiento actual de cada Torre de Inyección de Poliuretano

Antes de empezar con la descripción del funcionamiento actual de las cuatro torres de inyección de poliuretano, se debe explicar que dos de ellas son fabricadas en Colombia, por lo que en el desarrollo de este trabajo de graduación se les llamará como *torres colombianas*; y en cambio las dos restantes también son fabricadas en el exterior, pero debido a varios cambios y adaptaciones que se les ha practicado por empleados de Induglob S.A., se les llamará como *torres nacionales*.

Las conexiones y elementos utilizados para cada torre se encuentran distribuidos en armarios diferentes, uno por torre; esto representa una desventaja para la planta por las razones que se enlistan a continuación:

- Se ocupa mucho espacio con cada armario y esto hace que cuando hay un aumento en la producción el área de trabajo se vea reducida.
- Desperdicio de componentes, muchos de ellos cumplen la misma función (braker, relés, contactores) y al tener la posibilidad de juntarlos en un mismo armario se puede ahorrar gran cantidad de elementos, lo que representa una ganancia para la empresa.
- Si en un futuro se desea implementar un sistema de red para los PLC, el estar en armarios separados presentaría dificultades tanto para el cableado entre tarjetas de red como para el monitoreo de posibles fallas.
- Según el análisis del punto anterior sería dificultoso recolectar los datos de las variables de los programas de los PLC para poder desarrollar un Sistema SCADA con el que se pueda monitorear y tener reportes acerca del proceso.

1.4.1. Torres Nacionales

En la actualidad, dos de las cuatro torres de inyección que van a ser automatizadas, están comandadas por un Módulo Lógico de Control LOGO V1 de la marca Siemens, éste se muestra en la Figura 1.3 y sus características se enlistan a continuación:



Figura 1.3: Módulo Lógico de Control Logo V1.

Fuente: I IA AS SM ID; I IA CE ITS PRI. Productos para Totally Integrated Automation y Micro Automation - Catálogo de Novedades ST 70 N 2010. 2010. Pág. 2/2.

Dispone de dos clases de acuerdo a su tensión:

- Clase 1 ≤ 24 V, p. ej. 12 V DC, 24 V DC, 24 V AC
- Clase 2 > 24 V, p. ej. 115...240 V AC/DC

y a su vez cada clase tiene dos versiones:

- Con display: 8 entradas y 4 salidas
- Sin display ("LOGO! Pure"): 8 entradas y 4 salidas

En el caso de necesitar más entradas y/o salidas LOGO! Basic puede hacerlo únicamente con módulos de ampliación de la misma clase de tensión ya que los pines de codificación mecánica de la carcasa impiden la conexión con dispositivos que tengan una clase de tensión diferente.

Además soporta las siguientes conexiones para crear programas, independientemente de la cantidad de módulos conectados:

- Entradas digitales I1 a I24
- Entradas analógicas AI1 a AI8

- Salidas digitales Q1 a Q16
- Salidas analógicas AQ1 y AQ2
- Marcas digitales M1 a M27
- Entradas digitales rápidas: I3, I4, I5 e I6

Como se puede observar en los datos anteriores (que se obtuvieron de los catálogos de Siemens), la disponibilidad de entradas y salidas así como de las marcas y comandos especiales es muy limitado para realizar programas de gran magnitud; por esta razón, se ha decidido cambiar este módulo lógico de control por un PLC de la marca Mitsubishi, el cual ofrece mayores ventajas.

La interacción usuario – máquina se realiza desde un tablero de control ubicado en la parte frontal de cada torre tal como se indica en la figura 2. En este tablero se ubican 7 pulsantes y 2 luces piloto como indicadores, que permiten controlar el funcionamiento de cada parte de la torre, estos pulsantes se detallan a continuación:

- **Pulsante de emergencia.-** encargado de suspender el ciclo de trabajo de la máquina.
- **Sube torre.-** este pulsante permite de elevar la plataforma superior de la torre conocida como macho.
- **Baja torre.-** este pulsante permite que la plataforma macho descienda.
- **Sale banda.-** este pulsante enciende la banda transportadora para deslizar el gabinete hacia afuera.
- **Entra banda.-** de la misma forma que el pulsante sale banda, enciende a la banda transportadora pero para deslizar el gabinete hacia afuera.
- **Automático/Manual.-** es una perilla que permite intercambiar entre el funcionamiento automático y funcionamiento manual del proceso.
- **Calibración.-** es un switch con una llave de seguridad que se utiliza para calibrar las distancias de subida/bajada del macho de la torre, evitando que se inyecte poliuretano mientras dura este proceso.
- **Marcha Automática.-** al presionar este pulsante inicia el proceso automático de la torre.

Para indicar el estado de la perilla de automático/manual, se utilizan las dos luces piloto que se mencionaron anteriormente, una para marcha automática y otra para marcha manual. El tablero de control con sus pulsantes e indicadores, se muestra a continuación en la Figura 1.4.



Figura 1.4: Tablero de Control.

Los cambios de parámetros tal como tiempo de banda, tiempo de espumado, entre otros, se los efectúa desde el interior del armario de conexiones de cada torre, lo cual no es favorable para el proceso ya que si surge algún desperfecto solo un técnico especializado puede abrirlos y realizar los cambios.

En cuanto a la medición de la temperatura, se la realiza por medio de un termostato convencional que se regula a través de una perilla y no permite su visualización en tiempo real, disminuyendo así la exactitud en su medida y corriendo el riesgo de que su valor pueda ser alterado debido a su fácil manipuleo. Al no conocer el valor en tiempo real de la temperatura, no se puede tener un adecuado control para el encendido y apagado de las niquelinas instaladas en la torre y con ello tener una temperatura constante en el proceso y de esta manera evitar que el producto sufra daños o alteraciones. La figura 1.5 muestra el termostato que se utiliza actualmente en cada torre nacional para la medición de temperatura.



Figura 1.5: Termostato que se utiliza para la medición de temperatura.

Al ser un termostato el componente de un sistema de control muy simple que únicamente abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura, el error que provoca en la medición es muy grande siendo contraproducente para la producción ya que puede deformar los gabinetes.

Otro de los parámetros fundamentales para el proceso de inyectado es la posición que tiene la plataforma superior (macho) sobre el gabinete, las torres nacionales no cuentan con un sistema que permita conocer la posición, simplemente utilizan dos fin carrera (uno para el punto muerto superior y otro para el punto muerto inferior) para detener la plataforma a cierta altura; por ello se necesitaría la instalación de un encoder incremental que obtenga la distancia que recorre el macho a través de un conteo de pulsos. Al detener el motor por medio de la señal obtenida con la activación del fin carrera (que abre o cierra un contactor) la plataforma superior puede ubicarse bruscamente sobre el gabinete, para evitar estos movimientos en el ascenso o descenso sería conveniente disponer de un control de velocidad que permita el frenado del macho, esto se puede obtener mediante un variador de frecuencia conectado al motor que controla su movimiento.

1.4.2. Torres Colombianas

Las dos torres colombianas ya cuentan con un sistema básico de automatización que utiliza PLC de la marca Mitsubishi pero funcionan por separado, es decir, no cuentan con un sistema de red que permita monitorear el proceso y sus posibles fallas y esto no admite una posterior implementación de un Sistema Scada.

Su funcionamiento es un poco diferente a las nacionales, por ejemplo, los muros en las torres nacionales se abren y cierran por medio de un sistema mecánico, en cambio en las torres colombianas el proceso es un poco más complejo porque ya cuentan con un motor y un variador de frecuencia (driver) para controlar la velocidad con la que se abren y cierran. Cabe recalcar que se utiliza un variador de frecuencia para los muros por cada torre. Ningún driver está conectado en red, esto implica cablear las salidas del PLC directamente con el driver y en el caso de necesitar algún cambio en frecuencias o tiempos de frenado, con esta conexión se pueden realizarlos únicamente modificando los parámetros del driver desde el interior del armario de conexiones donde se encuentra ubicado.

1.4.3. Tabla comparativa entre Torres Nacionales y Colombianas

A manera de resumen se realizó una tabla en la que se presentan las principales diferencias entre las condiciones de funcionamiento de las Torres Nacionales y las Torres Colombianas que se presenta a continuación:

CARACTERÍSTICAS	NACIONALES	COLOMBIANAS
Módulo Lógico de Control PLC	LOGO	MITSUBISHI
Control del Proceso	Tablero de Pulsantes	Pantalla
Medición de temperatura	Termostato	
Posicionamiento del Macho	Fin carreras	Encoder
Funcionamiento Muros	Sistema mecánico	Motor, variador de frecuencia, encoder

Tabla 1.1: Comparación Torres Nacionales y Colombianas.

1.5. Cambios a realizarse

El departamento de poliuretano de la empresa Induglob S.A. cuenta con varias torres de inyección, en este trabajo de graduación se realizará la automatización únicamente de cuatro de ellas.

Las condiciones actuales del proceso de inyección presentan varias deficiencias que podrían ser mejoradas implementando un sistema de automatización que brinde soluciones óptimas para un desarrollo satisfactorio del mismo.

En primer lugar, se pretende construir un solo Armario de Conexiones que incluya el cableado e implementos necesarios para cada torre. Se realizará el cambio de PLC para controlar el funcionamiento de las cuatro máquinas.

Se instalará un total de cinco variadores, todos de la marca Mitsubishi, uno que será compartido por la torre nacional y la torre colombiana que se encuentran a los extremos, para el funcionamiento del motor de la plataforma superior, uno para cada torre restante (dos en total) también para la plataforma superior y finalmente uno para cada torre colombiana (dos en total) para el movimiento de los muros.

Para el control de temperatura se instalará un Módulo Analógico Mitsubishi al cual se le conectarán las termocuplas tipo J que están instaladas en las paredes de las torres cercanas a las niquelinas que se encargan de calentarlas. La programación de éste módulo obtiene una medición y regulación más exactos, un error máximo de temperatura de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ y su visualización en tiempo real. Con este rango de error se tiene como resultado un espumado que cumple ciento por ciento con los parámetros de inyección. Al cambiar el termostato que funcionaba anteriormente por este nuevo sistema de medición se evita el manipuleo constante por parte del personal que podría alterar la temperatura en la torre de inyección (piso, muros y tapa frontal), lo cual ocasiona un retraso en la producción.

Para complementar el trabajo de los PLC se instalarán pantallas HMI de la marca Mitsubishi, tal como se muestra en la Figura 1.6 con las cuales se pretende obtener los siguientes resultados:

- Cambio de parámetros desde el panel frontal.
- Cambio de parámetros de acuerdo al nivel de usuarios (contraseñas de seguridad).
- Autodiagnóstico de fallo con visualización de alarmas.



Figura 1.6: Pantalla Mitsubishi E300.

Fuente: Essential Automation UK. Beijer & Mitsubishi HMI's.

<<http://www.essentialautomation.co.uk/ea149.html>>. [Consulta: 3 de octubre de 2011].

Se instalarán en total dos pantallas HMI, una de ellas será compartida por las torres colombianas, la cual será conectada con un cable RS232 y un RS422 ó RS485 a cada PLC y la otra se conectará directamente al PLC que comparten las torres nacionales mediante un cable RS422 o RS485.

Con la instalación de los PLC y HMI se facilitará la calibración de las variables y parámetros utilizados en el proceso tales como: temperatura, frecuencia, tiempo, distancia, entre otros. En la pantalla se añadirá un sistema de seguridad con contraseñas para evitar que una persona sin autorización modifique los parámetros del proceso; estas contraseñas variarán según el nivel de jerarquía del empleado permitiendo tener un control en el cambio de las variables más importantes.

Además de las opciones de inicio del proceso, modo automático/manual, visualización de temperaturas, distancias y tiempos que se tienen en la pantalla, existe otra que permite calibrar las distancias del macho y de los muros, evitando una inyección accidental cuando se va a simular un funcionamiento en modo automático como prueba.

La programación de cada PLC se realizará utilizando el software MELSOFT GX Developer que es el programa propio de la casa de los PLC Mitsubishi y para programar cada una de las pantallas HMI se empleará el software E-DESIGNER V.7, también de la misma casa.

Finalmente éstas cuatro torres de inyección serán conectadas en red mediante las tarjetas que se adaptan a los PLC, con ello se podrá establecer una comunicación entre ellas facilitando la implementación de un sistema SCADA. Las diferentes etapas que constituyen este sistema serán programadas utilizando el software MC WORX de Mitsubishi, éste contiene varios componentes útiles para la programación tales como:

- **GRAPH WORX.**- Es la interfaz gráfica entre el usuario y el sistema.
- **ALARM WORX.**- Facilita la programación del sistema de alarmas.
- **TREND WORX.**- Obtiene las variables definidas en el OPC del sistema para la creación de bases de datos, registros históricos y reportes.

Adicionalmente se debe instalar el software MXOPC Server que es un driver OPC para Acceso de Datos (DA) y el servidor de alarmas/eventos (AE) que proporciona la interfaz y el protocolo de comunicaciones entre una amplia gama de hardware Mitsubishi y el software de control de procesos que se vaya a utilizar.

Las torres nacionales funcionaban con un módulo lógico de control LOGO V1, mismo que será sustituido por un PLC Mitsubishi que tiene la posibilidad de expandirse hasta 256 entradas y salidas en total. Se utilizará un solo PLC para las dos torres nacionales, ya que su funcionamiento mecánico es más sencillo que el de las colombianas permitiendo así ahorrar entradas y salidas en el PLC. Para posicionar al macho se utilizará un variador de frecuencia, con él se puede tener un control de velocidad e incluso programar un sistema de frenado para asegurar un movimiento más gradual del mismo.

Cada torre colombiana ya contaba con un PLC Mitsubishi, uno de ellos será sustituido por un modelo de una serie más actual que brinda mayores facilidades para el desarrollo de la red, tanto para el PLC como para el driver, ya que en el mismo PLC se pueden colocar dos tarjetas de red.

CAPÍTULO II

MÓDULO LÓGICO DE CONTROL MITSUBISHI

2.1. ¿Qué es un PLC? Definición.

Antes de analizar las características de cada uno de los PLC que se van a utilizar en el proyecto, se puede definir a un PLC como un sistema basado en un microprocesador. Sus partes principales son la Unidad Central de Proceso (CPU), la Memoria y el Sistema de Entradas y Salidas (E/S). La CPU se encarga de todo el control interno y externo del PLC, además de la interpretación de las instrucciones del programa. En base a las instrucciones almacenadas en la memoria y en los datos que adquiere de las entradas se generan las señales de salidas. La memoria se divide en dos, la memoria de solo lectura (ROM) y la memoria de lectura y escritura (RAM).

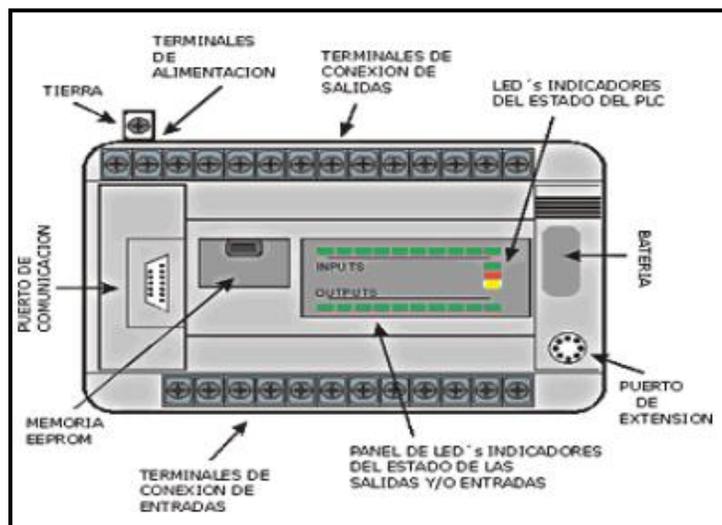


Figura 2.1: Estructura de un PLC.

Fuente: Empresa de Automatización Industrial y Control: PLCs HMI, SCADA, Ahorro de Energía. Qué es un PLC (Avanzado). <http://www.rocatek.com/forum_plc2.php>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

La memoria ROM almacena programas para el funcionamiento del sistema. La memoria RAM está conformada por la memoria de datos, en la cual se almacena la información de las entradas/salidas y de variables internas, y por la memoria de usuario, en la que se almacena el programa que maneja la lógica del PLC.

El sistema de Entradas/Salidas recopila la información del proceso (Entradas) y genera las acciones de control del mismo (salidas). Los dispositivos conectados a las entradas pueden ser pulsantes, interruptores, fin de carrera, termostatos, presostatos, detectores de nivel, detectores de proximidad, contactos auxiliares, entre otros. De la misma manera, los dispositivos de salida son muy variados: pilotos, relés, contactores, drives o variadores de frecuencia, válvulas, etc.

2.2. Generalidades de los PLC Mitsubishi

Para realizar la programación del proceso que se va a automatizar, se emplearán tres módulos lógicos programables PLC, todos ellos de la marca Mitsubishi pero de diferentes series. Se han escogido PLC de esta marca debido a que poseen mayores ventajas frente a otros, tanto en su hardware como en el software de programación. Se utilizarán dos series, el Mitsubishi FX3G y el Mitsubishi FX1N cuyas especificaciones generales se detallan a continuación. Cabe recalcar que en ambos casos la alimentación del PLC es de 100-240 VAC, ya que los de esta clase tienen una fuente interna de 24Vdc a 400mA que permite conectar las entradas del PLC y de ser el caso, conectar también la pantalla HMI o el módulo de temperatura.

2.2.1. Módulo lógico de control Mitsubishi FX3G

El PLC que se utilizará para la torre colombiana que se conecta en red con la primera torre nacional, es el Mitsubishi FX3G cuyas características se muestran en las tablas 2.1 a la 2.5:

FUNCIONES BÁSICAS	
[Hasta 256 puntos de entrada/salida]	El número total de entradas y salidas conectado directamente al PLC son 128. Las entradas y salidas remotas de la CC-Link también son 128, dando un total de 256 puntos.
[La memoria del programa]	El PLC tiene una memoria EEPROM de 32 K-steps.
[Built-in puerto USB]	El PLC ha incorporado un puerto USB para permitir una comunicación de alta velocidad de 12Mbps.
[Built-in RUN / STOP switch]	El PLC puede arrancar y parar con el interruptor incorporado.
[Escribir en RUN]	El software de programación permite modificar el programa mientras el PLC está en marcha.
[Depuración remota del programa]	El uso de software de programación permite transferir el programa a distancia y monitorear el PLC a través de un módem conectado a la tarjeta de expansión RS-232C y al adaptador de comunicación especial RS-232C.

Tabla 2.1: Funciones Básicas Mitsubishi FX3G.

ENTRADAS/SALIDAS DE PROCESAMIENTO DE ALTA VELOCIDAD DE LA UNIDAD PRINCIPAL						
[Alta Velocidad función de contador]	Terminales de entrada de la unidad principal:					
	- Entrada del colector abierto del transistor de salida					
	- Una fase de 60 kHz x 4 puntos + 10 kHz x 2 puntos					
	- 2 fases 30kHz x 2 puntos + 5 kHz x 1 puntos					
[Función de captura de pulso]	Señales con un ancho muy corto ON o ancho muy corto OFF pueden ser capturados sin un programa complicado.					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Input terminal</th> <th>Signal ON/OFF width</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X000, X001, X003, X004</td> <td>10µs</td> </tr> <tr> <td>X002, X005</td> <td>50µs</td> </tr> </tbody> </table>	Input terminal	Signal ON/OFF width	X000, X001, X003, X004	10µs	X002, X005
Input terminal	Signal ON/OFF width					
X000, X001, X003, X004	10µs					
X002, X005	50µs					
[La función de entrada interrupción]	El PLC puede procesar las rutinas de interrupción con mayor prioridad utilizando señales externas que tenga una duración mínima de ON u OFF de 10us (X000, X001, X003 y X004) o 50us (X002 y X005).					

Tabla 2.2: Entradas/Salidas de alta velocidad.

FUNCIONES DE COMUNICACIÓN Y RED	
[Tipos de funciones de comunicación]	• Programación de la comunicación a través de RS-232C, RS-422 y USB
	• N: N Red
	• Conexión en paralelo
	• Enlace por ordenador
	• Comunicación de los inversores
	• Falta de protocolo de comunicación a través de built-in RS-422/RS-232C/RS-485
	• CC-Link
	- Maestro de la estación
	FX2N-16CCL-M
	- Estación de dispositivos inteligentes
	FX3U-64CCL
	- Estación de dispositivo remoto
	FX2N-32CCL
	• CC-Link/LT
	- Estación principal: FX2N-64CL-M
- E / S remotas, la estación de dispositivo remoto	

Tabla 2.3: Funciones de comunicación y red.

FUNCIONES ANALÓGICAS	
[Tipos de funciones analógicas]	• Entrada de tensión/corriente
	• Salida de tensión / corriente
	• Entrada para sensor de temperatura (thermocouple and platinum resistance thermometer sensor)
	• Control de temperatura

Tabla 2.4: Funciones analógicas.

FUNCIONES DE LA PANTALLA (MÓDULO DE PANTALLA)	
[Monitor/función de prueba]	Los dispositivos pueden ser monitoreados y controlados por el operador utilizando los botones en el módulo de visualización.
[Otras funciones]	En el módulo de la pantalla se puede ajustar la hora, el contraste, mostrar la versión del PLC y los códigos de error.

Tabla 2.5: Funciones de la pantalla.

2.2.2. Módulo lógico de control Mitsubishi FX1N

El módulo lógico de control que se utilizará para programar el proceso de las torres nacionales y la torre colombiana restante, es el Mitsubishi FX1N. Las unidades base de la serie FX1N están disponibles con 14, 24, 40 o 60 puntos de entrada/salida; se puede elegir entre el tipo de salida por relé o transistor y presenta las siguientes características especiales:

- Interfaz serie integrada para la comunicación entre el PC y la HMI.
- Interfaz estándar para unidad de programación.
- LEDs para indicar el estado de entrada y salida.
- Bloques de conexiones desmontables.
- Ranura para cassettes de memoria.
- Todos los modelos de CC aceptan tensiones entre 12 y 24 V.
- Reloj integrado de tiempo real.

Estructura del sistema

- Unidad base con plena funcionalidad de PLC.
- Unidad de alimentación integrada.
- CPU.
- Memoria EEPROM sin mantenimiento.
- Entradas y salidas digitales integradas.
- Unidades de ampliación para adaptar el controlador a la funcionalidad y a las gamas de Entradas/Salidas requeridas.
- Configurable como estación esclava en redes punto a punto y 1:N.
- Configurable con módulos de función especial en distintas redes abiertas.
- Sistemas de programación fáciles de usar, incluido el software de programación según normas IEC 1131.3 (EN 61131), HMI y las unidades de programación manuales.
- Amplia gama de accesorios.

Características del equipo

Las unidades de base están disponibles en diversas versiones con distintos requisitos de alimentación y configuraciones de salida. Se puede elegir entre unidades con una alimentación de 100-230VCA o 24VCC y salidas de relé o de transistor. Todas las versiones de las unidades base disponen de la misma CPU básica y de las mismas características de funcionamiento. En la Figura 2.2 se muestra parte del hardware del módulo lógico de control Mitsubishi FX1N.

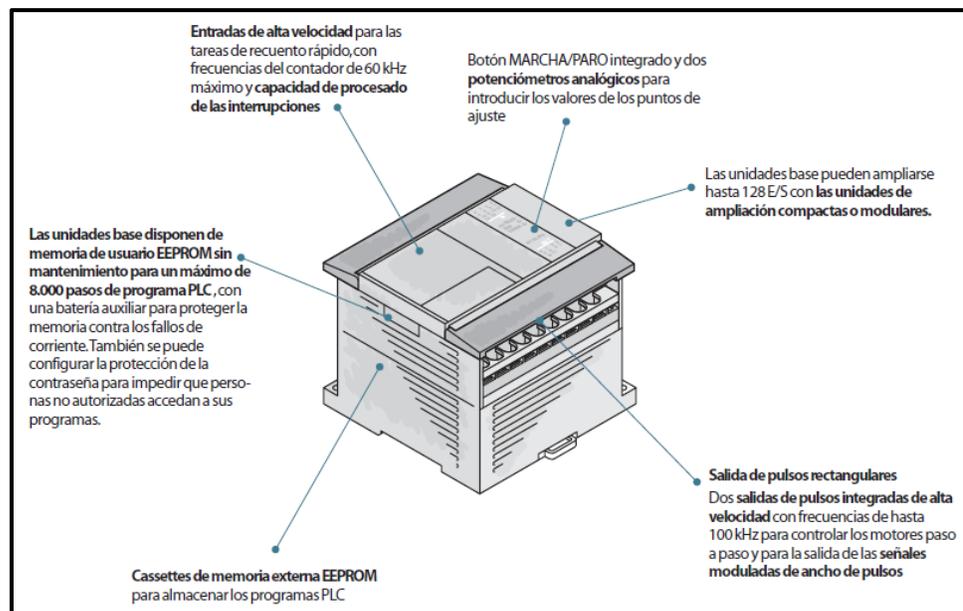


Figura 2.2: Descripción del sistema y de unidades. MELSEC FX1N.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE B.V. Catálogo técnico FX1S-FX1N-FX2N. 2001. Pág. 10.

En la tabla 2.6 se muestra las especificaciones generales del PLC tales como el lenguaje de programación, número de instrucciones, entre otros. En la tabla 2.7 en cambio, se muestran los operandos tales como los relojes de tiempo real que permiten conocer el año, mes, día, hora; los contadores de alta velocidad que pueden ser empleados para registrar los pulsos de encoders; número de relés, temporizadores, registros, punteros, constantes, etc.

Especificaciones del sistema	FX1N
Datos de programas	
Puntos E/S (direcciones)	128
Gama de direcciones	84 entradas máx. X0–X123, 64 salidas máx. Y0–Y77
Memoria de programas	8.000 pasos EEPROM (interna), cassettes EEPROM/ EPROM (opcionales)
Periodo de ciclo	de 0,55 a 1,0 μ s /instrucción lógica
Número de instrucciones	29 instrucciones de secuencia , 2 instrucciones de programación STL, 89 instrucciones aplicadas
Lenguaje de programación	Ladder , lista de instrucciones, SFC
Ejecución de programas	Ejecución cíclica, procesado de modo refresco
Protección de programas	Protección de contraseña con 3 niveles de protección

Tabla 2.6: Especificaciones del sistema FX1N.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE B.V. Catálogo técnico FX1S-FX1N-FX2N. 2001. Pág. 25.

Operandos	
Relés internos	1.536
Relés especiales	256
Pasos ladder para STL	1.000
Temporizadores	256
Valores predeterminados de ampliación por potenciómetro	2
Contadores	235
Contadores de alta velocidad	6 entradas monofase (máx. 60 kHz), 2 entradas de 2 fases (máx. 30 kHz)
Relojes de tiempo real	Año, mes, día, hora, minuto, segundo, día de la semana
Registros de datos	8.000
Registros de archivos	Máx. 7.000 (editable en parámetros), Total de registros = 8.000
Registros de índices	16
Registros especiales	256
Punteros	128
Anidamientos	8
Entradas de interrupciones	6
Constantes	16 bits: K: -32768 to +32767, hex: 0–FFFF 32 bits: K: 2147483648 to +2147483647, hex: 0–FFFF FFFF

Tabla 2.7: Operandos del sistema FX1N.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE B.V. Catálogo técnico FX1S-FX1N-FX2N. 2001. Pág. 25.

2.3. Sensores y actuadores utilizados

Los sensores y actuadores que se utilizarán en cada una de las torres de inyección se enlistan a continuación:

Torres Nacionales 511-003 y 511-004:

- **Sensores:**

- Encoder incremental marca AUTONICS.- Conectado al motor de la plataforma macho para contabilizar los pulsos según su distancia recorrida.



Figura 2.3: Encoder Incremental Autonic.

Fuente: Control Tech, C.A. Catálogo, Encoders.

<<http://www.controltechsite.com/catalogo/encoders/encoder-tipo-incremental-autonics-e50s8-1024-3-t-24-1024-pulsosrevolucion.html>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Fin carrera marca Telemecanique.- Conectados dos en cada torre, uno para el punto muerto superior y otro para el punto muerto inferior.



Figura 2.4: Fin carrera Telemecanique.

Fuente: Comercializadora COND, C.A. Líneas de productos, Telemecanique. <http://www.cond.com/products.php?sub_id=06&lin_id=25>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Focélula difusa NPN marca AUTONICS.- Utilizada para detectar la presencia del gabinete dentro de la torre de inyección. Tiene una sensibilidad de máximo 5cm de distancia.



Figura 2.5: Focélula difusa Autonics.

Fuente: Electriargo S.A. de C.V. Catálogo.

<http://electriargo.com/index.php?manufacturers_id=1&sort=3a&filter_id=30>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Termocuplas tipo J con cubierta de vaina metálica.- Colocadas cerca de los muros, piso y puerta posterior de la torre para medir su temperatura.

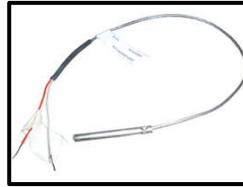


Figura 2.6: Termocuplas.

Fuente: Listado de productos – Promotores Eléctricos S.A. Productos Promelsa. <http://www.promelsa.com.pe/productos_list.asp?id_marca=WATLOW&id_linea=008&id_sublinea=5&id_familia=04&saldos=&pm_list=M>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- **Actuadores:**

- Motor eléctrico marca WEG.- Se utilizan dos por torre, uno para dar movimiento ascendente o descendente a la plataforma macho y otro para el movimiento de las bandas.



Figura 2.7: Motor WEG.

Fuente: Generadores, Motores y Automatización - WEG México. Productos y Servicios, Motores Eléctricos Industriales. <<http://www.weg.net/mx/Productos-y-Servicios/Motores/Motores-Elctricos-Industriales/TEFC-W21-NEMA-Premium-Efficiency>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Resistencias Térmicas (Niquelinas).- Son 5 niquelinas por torre, conectadas una en el piso de la torre y las otras cuatro en paralelo, dos para la tapa y dos para los muros.

Torres Colombianas 511-005 y 511-006:

- **Sensores:**

- Encoder incremental marca AUTONICS.- Se conectan dos encoder para cada torre colombiana, uno de ellos para el motor del macho y el otro para el motor de los muros. Ver Figura 2.3.
- Inductivo 30mm NPN marca AUTONICS.- Se utilizan dos para cada torre: uno conectado en el punto muerto superior del macho y otro en el punto muerto inferior.



Figura 2. 8: Sensor Inductivo Autonic.

Fuente: Control Industrial. Catálogo, Sensores Capacitivos. <<http://www.control-industrial.com/index.php?page=2&start=ODA=&s=&m=&o>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Fococélula difusa NPN marca AUTONICS.- Utilizada con el mismo fin que la torre nacional. Ver Figura 2.5.
 - Termocuplas tipo J con cubierta de vaina metálica.- Para medir la temperatura de los muros, piso y puerta posterior de cada torre. Ver Figura 2.6.
- **Actuadores:**
 - Motor eléctrico marca SIEMENS.- Cada torre colombiana consta de tres motores, uno para la plataforma macho, otro para los muros y el tercero para las bandas.



Figura 2.9: Motor SIEMENS.

Fuente: Bombas Motores y Herramientas S.A. de C.V. Catálogo Motores Eléctricos.
<http://bomhsa.com.mx/cat/index.php?cPath=92_96&osCsid=d94d0823f89eb3ef0774d52e6852ed6b>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Resistencias Térmicas (Niquelinas).- Al igual que en el caso de las torres nacionales se conectan 5 niquelinas por torre: dos para la tapa, dos para los muros y uno para el piso.

Adicionalmente, para conocer la posición del carro con respecto a cada torre, en el carril por donde circula se colocarán varios sensores inductivos NPN de 30 mm, uno por torre. Para las conexiones de los elementos se utilizan cables AWG #18 para lo que corresponde al circuito de mando (relés, contactores, etc), AWG #14 para el circuito de fuerza (elementos que no manejan mucha corriente, electroválvulas, etc) y AWG #10 para motores y niquelinas. Los cables serán distribuidos desde los sensores hasta el armario de conexiones utilizando fundas selladas de $\frac{1}{4}$ ", canaletas metálicas de 5x5 y cajetines de distribución de 40x30.

2.4. Lógica de control de los PLC

La secuencia del proceso que se automatizará se muestra a continuación en el diagrama de flujo de la Figura 2.10:

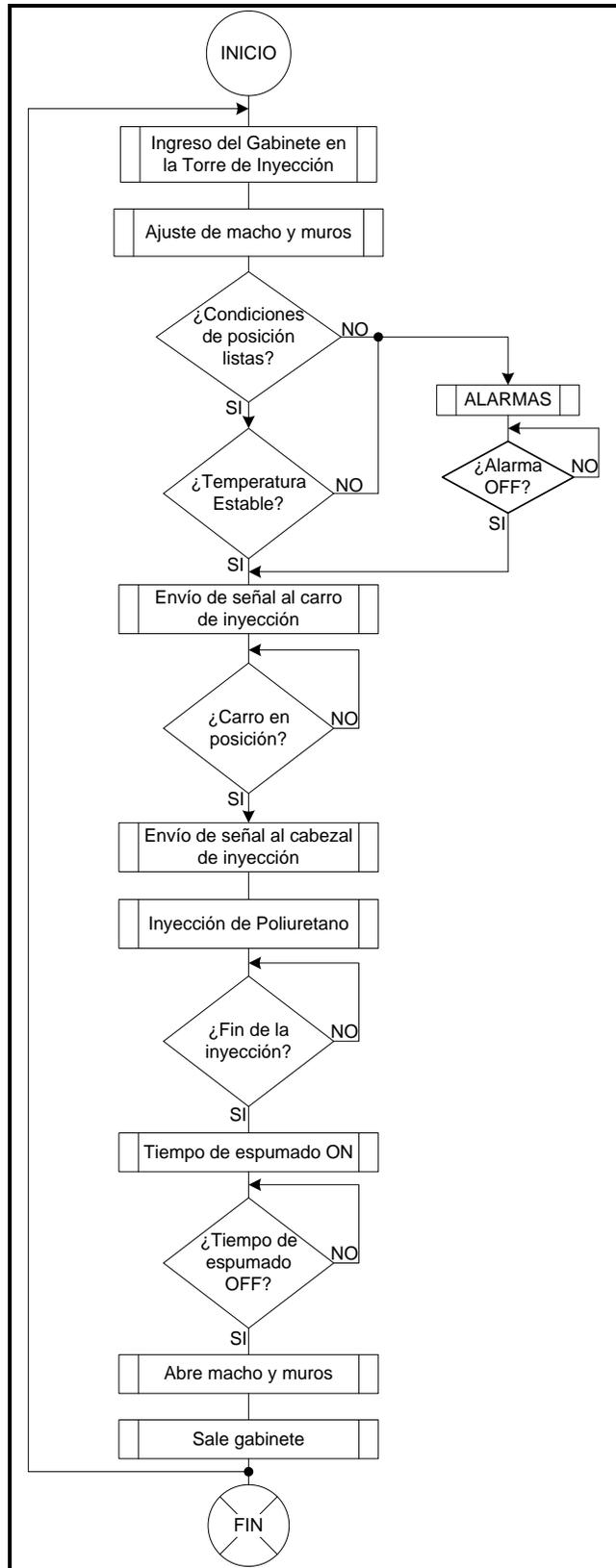


Figura 2.10: Diagrama de Flujo del Proceso de Inyección.

Cada torre de inyección cuenta con dos modos de trabajo: automático y manual. El modo automático mediante el accionamiento de un pulsante da inicio al proceso de inyección programado para cada torre, el modo manual en cambio es utilizado para la calibración de las medidas de posicionamiento de muros o macho y permite su funcionamiento por separado cuando el operador lo necesite.

Para iniciar el proceso de inyección de poliuretano la primera acción que realizan los obreros encargados de éste trabajo es ingresar el gabinete de la refrigeradora en la torre, esto se hace con la ayuda de las bandas transportadoras que se encuentran localizadas en su superficie; para accionar dichas bandas se utilizará uno de los pulsantes de la pantalla programado específicamente para esta tarea.

Una vez que el gabinete se encuentre posicionado dentro de la torre, el siguiente paso es asegurarlo para que al momento de inyectar el poliuretano no se deforme, para esto se utilizarán los muros y la plataforma superior macho. Para el caso del macho el proceso y estructura mecánica es el mismo para las cuatro torres, lleva conectado un motor que lo hará ascender o descender hasta la altura deseada, además un variador de frecuencia para controlar la velocidad y frenado, y por último un encoder que girará junto con el movimiento del motor, para contabilizar el número de pulsos y conocer la distancia que ha recorrido la plataforma.

En el caso de los muros, la parte mecánica y por lo tanto también el proceso, difiere entre las torres colombianas y las torres nacionales. Las torres colombianas tienen un motor adaptado a los muros para moverlos ya sea hacia adentro o hacia afuera de la torre (movimiento horizontal), el cual se conectará a un variador de frecuencia para su control de velocidad y frenado tal como se realizó en el motor del macho, y un encoder para ajustar la distancia según el número de pulsos. Los muros de las torres nacionales, por otro lado, no cuentan con un motor para realizar su movimiento, sino lo hacen a través de su sistema mecánico que los cierra en cuanto el macho empieza su descenso, esto evita la necesidad de incorporar un variador de frecuencia y un encoder.

Una parte esencial del proceso de inyección es el control de la temperatura, puesto que si no se mantiene constante, el gabinete puede deformarse. Para este

sistema de control se utilizarán termocuplas, cuyos valores en tiempo real serán adquiridos por módulos de temperatura de la marca Mitsubishi; con estos datos se puede realizar un control ON/OFF de las niquelinas adaptadas a los muros, macho y puerta posterior de la torre de inyección. Este control se realizará durante todo el proceso.

Antes de realizar la automatización, este proceso ya contaba con un carro que tiene incorporado una inyectora de poliuretano en la parte superior (cabezal de inyección). El carro se desplaza por un carril ubicado en la parte posterior de todas las torres, en este carril se han instalado sensores inductivos que señalan la posición en la que el carro debe frenar para realizar la inyección en cada torre. Tanto el carro como la inyectora están controlados por un PLC cada uno que recibirán las señales provenientes de las torres en el caso del PLC del carro, y la señal del carro en el caso del PLC de la inyectora. Cabe recalcar que tanto el carro de inyección como la inyectora no fueron elaborados ni automatizados en este proyecto, es un implemento ya construido que se utilizaba anteriormente para este proceso. En las Figuras 2.11 y 2.12 se puede apreciar el carro de inyección de poliuretano.

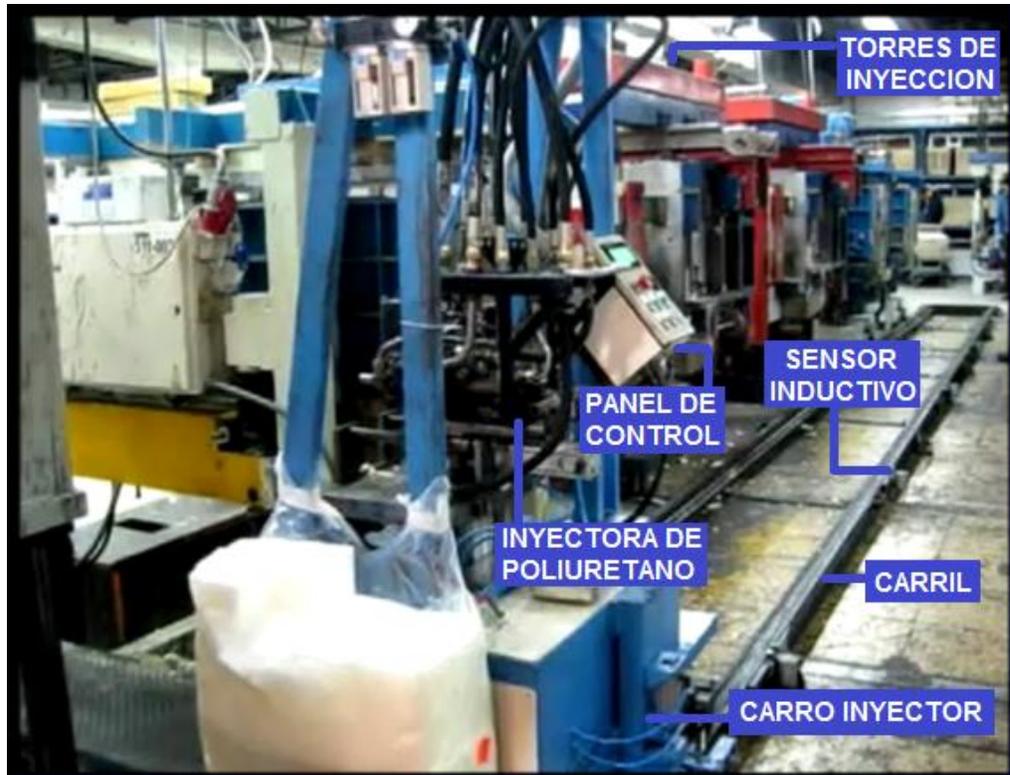


Figura 2.11: Carro de Inyección de Poliuretano.



Figura 2.12: Carro de Inyección de Poliuretano.

Una vez que todas las condiciones explicadas en los párrafos anteriores se cumplan y el gabinete esté correctamente posicionado en la torre, el PLC envía una señal al carro con el cabezal de inyección para que se desplace hacia ella. Cuando el carro se ubica en la parte posterior de la torre, acciona un sensor inductivo que emite una señal al cabezal para que inicie el proceso de inyección de poliuretano en el gabinete. Cuando este proceso termina, se envía una señal al PLC de la torre para que encienda un temporizador que contabilizará el tiempo de espumado de poliuretano. Una vez finalizado este tiempo los muros y el macho de la torre se abren para poder retirar el gabinete utilizando nuevamente las bandas transportadoras, concluyendo así con el proceso en modo automático.

Si hubiese algún tipo de error ya sea en el posicionamiento del gabinete, ajuste de macho y muros, o en la temperatura se emitirá una alarma indicando que tipo de falla se produjo y haciendo que el proceso se interrumpa mientras se soluciona el o los problemas que se hayan suscitado.

Parte del programa desarrollado para automatizar el proceso será adjuntado al final de este trabajo de graduación como anexo número 1. Por otro lado, la distribución de las entradas y salidas, así como los temporizadores, contadores y registros más importantes de los PLC de cada torre se detallan a continuación en las tablas de la 2.8 a la 2.22:

TORRES NACIONALES 511-003 y 511-004 PLC MITSUBISHI FX1N

Entradas del PLC

X000	ENCODER A 003
X001	ENCODER B 003
X002	RESET ENCODER 003
X003	ENCODER A 004
X004	ENCODER B 004
X005	RESET ENCODER 004
X006	FC MACHO EN PMS 003
X007	FC MACHO EN PMI 003
X010	FTC GABINETE INTERIOR TORRE 003

X011	SQL CARRO EN POSICION INYECCION 003
X012	SEÑAL INICIO POLIMERIZACION 003
X013	ALARMA DRIVER 003
X014	PULSANTE EMERGENCIA 003
X015	TERMICOS MOTORES 003
X016	PULSANTE INICIO CICLO 003
X017	PULSANTE SALE BANDA 003
X020	FTC INGRESO GABINETE EN TORRE 003
X024	FC MACHO EN PMS 004
X025	FC MACHO EN PMI 004
X026	FTC GABINETE INTERIOR TORRE 004
X027	SQL CARRO EN POSICION INYECCION 004
X030	SEÑAL INICIO POLIMERIZACION 004
X031	ALARMA DRIVER 004
X032	PULSANTE EMERGENCIA 004
X033	TERMICOS MOTORES 004
X034	PULSANTE INICIO CICLO 004
X035	PULSANTE SALE BANDA 004
X036	FTC INGRESO GABINETE EN TORRE 004

Tabla 2.8: Entradas Torres Nacionales 511-003 y 511-004.

En las entradas X0, X1, X2, X3, X4 y X5 se conectarán los terminales A, B y Z de los encoders de la torre nacional 003 y la 004, la entrada X6 y X7 están reservadas para el fin carrera del punto muerto superior y el fin carrera del punto muerto inferior respectivamente de la torre nacional 003; las entradas X24 y X25 tienen la misma función pero para la torre nacional 004. Por otro lado, las señales de los sensores difusos fotoeléctricos instalados en el interior de la torre 003 y 004 son recibidas por las entradas X10 y X26. Las etiquetas “SQL CARRO EN POSICION INYECCION_003” y “SQL CARRO EN POSICION INYECCION_004” que corresponden a las entradas X11 y X27 representan a la señal proveniente del sensor inductivo que está instalado en la parte inferior del carril que recorre el carro de inyección. Las entradas X12 y X30 reciben la señal de terminado de inyección de la Torre 003 y 004, X13 y X31 reciben la señal de alarma de los drivers que controlan la velocidad de los motores de los machos de ambas torres, y por último X16 y X34 representan el pulso de inicio del proceso de cada torre.

PLC MITSUBISHI FX1N**Salidas del PLC**

Y000	STF MACHO 003
Y001	STR MACHO 003
Y002	RL MACHO 003
Y003	VELOCIDAD BAJA DESMOLDE 003
Y004	BANDA SALE 003
Y005	BANDA ENTRA 003
Y006	RESISTENCIAS PISO 003
Y007	RESISTENCIAS MUROS 003
Y010	RESISTENCIAS PUERTA 003
Y011	TORRE LISTA PARA INYECCION 003
Y014	STF MACHO 004
Y015	STR MACHO 004
Y016	RL MACHO 004
Y017	VELOCIDAD BAJA DESMOLDE 004
Y020	BANDA SALE 004
Y021	BANDA ENTRA 004
Y022	RESISTENCIAS PISO 004
Y023	RESISTENCIAS MUROS 004
Y024	RESISTENCIAS PUERTA 004
Y025	TORRE LISTA PARA INYECCION 004

Tabla 2.9: Salidas Torres Nacionales 511-003 y 511-004.

En las salidas Y0, Y1, Y2 y Y3 (Torre 511-003), Y14, Y15, Y16 y Y17 (Torre 511-004) se tienen las señales que se envían al driver para la dirección de giro de los motores y las velocidades lenta y de desmolde. Las salidas Y4, Y5, Y20 y Y21 envían una señal a las bandas de ambas torres para activarlas con dos sentidos de giro, ya sea para afuera o para adentro. Las señales con las que se prenden las niquelinas de piso, muros y puerta de las torres 003 y 004 provienen de las salidas Y6, Y7, Y10, Y22, Y23 y Y24. Por último, la señal que indica que todas las condiciones se han cumplido y las torres están listas para la inyección, se obtiene de las salidas Y11 y Y25.

Los temporizadores, contadores y registros se muestran a continuación:

PLC MITSUBISHI FX1N**TEMPORIZADORES:**

T0	TIEMPO DE ESPERA ENTRADA BANDA 003
T1	TIEMPO DE ENTRADA BANDA AUTO 003
T2	TIEMPO DE ESPERA BAJADA MACHO 003
T3	TIEMPO DE POLIMERIZACION 003
T4	TIEMPO DE ESPERA SALIDA BANDA 003
T5	TIEMPO DE SALIDA BANDA 003
T10	TIEMPO DE ESPERA ENTRADA BANDA 004
T11	TIEMPO DE ENTRADA BANDA AUTO 004
T12	TIEMPO DE ESPERA BAJADA MACHO 004
T13	TIEMPO DE POLIMERIZACION 004
T14	TIEMPO DE ESPERA SALIDA BANDA 004
T15	TIEMPO DE SALIDA BANDA 004

Tabla 2.10: Temporizadores Torres Nacionales 511-003 y 511-004.

CONTADORES:

C252	CONTADOR TORRE 511-003
C253	CONTADOR TORRE 511-004

Tabla 2.11: Contadores Torres Nacionales 511-003 y 511-004.

REGISTROS:

D35	TEMPERATURA ACTUAL PISO 003
D36	TEMPERATURA MUROS 003
D37	TEMPERATURA PUERTA 003
D45	TEMPERATURA PISO 003
D47	TEMPERATURA MUROS 003
D128	TIEMPO POLIMERIZACION 003
D130	TIEMPO DE BANDA 003
D140	REGISTRO DE MEDICION 003
D145	MEDIDA BAJA MACHO 003
D150	FRENO EN SUBIDA MACHO 003
D190	SET TEMPERATURA PISO 003
D192	LIMITE SUPERIOR TEMPERATURA PISO 003
D194	LIMITE INFERIOR TEMPERATURA PISO 003
D196	SET TEMPERATURA MUROS 003
D198	TEMPERATURA MAXIMA MUROS 003
D200	TEMPERATURA MINIMA MUROS 003
D202	SET TEMPERATURA PUERTA 003
D204	TEMPERATURA MAXIMA PUERTA 003
D206	TEMPERATURA MINIMA PUERTA 003

D335	TEMPERATURA ACTUAL PISO 004
D336	TEMPERATURA MUROS 004
D337	TEMPERATURA PUERTA 004
D345	TEMPERATURA PISO 004
D347	TEMPERATURA MUROS 004
D428	TIEMPO POLIMERIZACION 004
D430	TIEMPO DE BANDA 004
D142	REGISTRO DE MEDICION 004
D445	MEDIDA BAJA MACHO 004
D450	FRENO EN SUBIDA MACHO 004
D490	SET TEMPERATURA PISO 004
D492	LIMITE SUPERIOR TEMPERATURA PISO 004
D494	LIMITE INFERIOR TEMPERATURA PISO 004
D496	SET TEMPERATURA MUROS 004
D498	TEMPERATURA MAXIMA MUROS 004
D500	TEMPERATURA MINIMA MUROS 004
D502	SET TEMPERATURA PUERTA 004
D504	TEMPERATURA MAXIMA PUERTA 004
D506	TEMPERATURA MINIMA PUERTA 004

Tabla 2.12: Registros Torres Nacionales 511-003 y 511-004.

TORRE COLOMBIANA 511-005 PLC MITSUBISHI FX3G

Entradas del PLC

X000	Entrada A Encoder Macho
X001	Entrada B Encoder Macho
X002	Entrada Z Encoder Macho
X003	Entrada A Encoder Muros
X004	Entrada B Encoder Muros
X005	Entrada Z Encoder Muros
X006	PLS PARADA DE EMERGENCIA
X007	PLS NEVERA ADENTRO
X010	PLS NEVERA AFUERA
X012	STF GABINETE EN TORRE
X016	SQL MACHO ARRIBA
X017	SQL MACHO ABAJO
X020	ALARMA VFD 10 HP
X021	ALARMA VFD 5 HP
X022	ALARMA VFD 2 HP

X025	PLS INICIO CICLO
X026	PLS ON NIQUELINAS
X027	SQL POSICION DE TORRE

Tabla 2.13: Entradas Torre Colombiana 511-005.

Al igual que en el PLC de la torres nacionales, en las entradas X0, X1, X2, X3, X4 y X5 se conectarán los terminales A, B y Z de los encoders para el macho y para los muros de la torre colombiana 005, las entradas X6, X7 y X10 reciben un pulso ya sea por parada de emergencia o para indicar que la nevera está dentro o fuera de la torre. La señal del sensor difuso fotoeléctrico instalado en el interior de la torre es recibida por la entrada X12 y la señal proveniente del sensor inductivo que está instalado en la parte inferior del carril que recorre el carro de inyección se encuentra en la entrada X27. Las entradas X16 y X17 reciben la señal de los sensores inductivos que indican si el macho se encuentra en límite inferior o límite superior de su recorrido. Por otro lado X20, X21 y X22 reciben la señal de alarma de los drivers que controlan la velocidad de los motores del macho, muros y banda. X25 y X26 representan los pulsos de inicio del ciclo y prendido de las niquelinas.

PLC MITSUBISHI FX3G

Salidas del PLC

Y000	MAQUINA EN FUNCIONAMIENTO
Y001	CONTACTOR MUROS
Y002	CONTACTOR ON
Y003	BANDA ARRIBA
Y004	STF MUROS ADENTRO
Y005	STR MUROS AFUERA
Y006	RM MUROS LENTO
Y007	STF BAJA MACHO
Y010	STR SUBE MACHO
Y011	MACHO LENTO
Y012	STF ENTRA BANDA
Y013	STR SALE BANDA
Y014	RESISTENCIA MUROS
Y015	RESISTENCIA PISO
Y016	RESISTENCIA TAPA
Y017	MEMORIA TORRE LISTA PARA INYECCION

Tabla 2.14: Entradas Torre Colombiana 511-005.

La salida Y0 indica que la máquina está en funcionamiento. Y1 y Y2 permite activar el contactor que prende el motor de los muros y macho de la torre. Las salidas Y4, Y5, y Y6 proveen la señal para activar el driver que controla la dirección de giro y velocidad del motor de los muros. Y7, Y10 y Y11 cumplen la misma función pero con el driver del motor del macho, y, Y3, Y12 y Y13 también tienen esta función pero con el driver del motor de las bandas transportadoras. Las señales con las que se prenden las niquelinas de piso, muros y puerta de la torre provienen de las salidas Y14, Y15 y Y16. Por último, la señal que indica que todas las condiciones se han cumplido y la torre esta lista para la inyección, se obtiene de la salida Y17.

Los temporizadores, contadores y registros se muestran a continuación:

PLC MITSUBISHI FX3G

TEMPORIZADORES:

T10	TEMPORIZADO PRINCIPAL
T21	RETARDO APERTURA
T22	RETARDO APERTURA
T26	RETARDO JOG 1
T27	RETARDO JOG 2
T30	TIEMPO SALIDA NEVERA

Tabla 2.15: Temporizadores Torre Colombiana 511-005.

CONTADORES:

C252	ENCODER 1 MACHO
C253	ENCODER 2 MUROS

Tabla 2.16: Contadores Torre Colombiana 511-005.

REGISTROS:

D20	TEMPERATURA RED PISO 003
D21	TEMPERATURA RED MUROS 003
D22	TEMPERATURA RED PUERTA 003
D23	TEMPERATURA RED PISO 004
D24	TEMPERATURA RED MUROS 004
D25	TEMPERATURA RED PUERTA 004
D27	TIEMPO RED CURADO 003
D28	TIEMPO RED CURADO 004
D29	TIEMPO RED BANDA 003

D30	TIEMPO RED BANDA 004
D41	TEMPERATURA REAL MURO
D42	TEMPERATURA REAL PISO
D43	TEMPERATURA REAL TAPA

Tabla 2.17: Registros Torre Colombiana 511-005.

TORRE COLOMBIANA 511-006 PLC MITSUBISHI FX1N

Entradas del PLC

X000	Entrada A Encoder Macho
X001	Entrada B Encoder Macho
X002	Entrada Z Encoder Macho
X003	Entrada A Encoder Muros
X004	Entrada B Encoder Muros
X005	Entrada Z Encoder Muros
X006	PARADA DE EMERGENCIA
X007	PLS NEVERA ADENTRO
X010	NEVERA AFUERA
X012	STF GABINETE EN TORRE
X014	FIN DE ESPUMADO
X015	CARRO LIBRE
X016	MICROSWITCH ARRIBA
X017	MICROSWITCH ABAJO
X020	ALARMA VFD 10 HP
X021	ALARMA VFD 5HP
X022	ALARMA VFD 2HP
X023	MICROSWITCH ADENTRO
X024	MICROSWITCH AFUERA
X025	NEVERA LISTA
X026	PULSANTE ARRANCA
X027	SQL POSICION TORRE

Tabla 2.18: Entradas Torre Colombiana 511-006.

Al igual que el PLC de la torre colombiana 005, en las entradas X0, X1, X2, X3, X4 y X5 se conectarán los terminales A, B y Z de los encoders para el macho y para los muros de la torre colombiana 006, las entradas X6, X7 y X10 reciben un pulso ya sea por parada de emergencia o para indicar que la nevera está dentro o fuera de la torre. La señal del sensor difuso fotoeléctrico instalado en el interior de la torre es recibida por la entrada X12 y la señal proveniente del sensor inductivo que

está instalado en la parte inferior del carril que recorre el carro de inyección se encuentra en la entrada X27. Las entradas X16 y X17 reciben la señal de los sensores inductivos que indican si el macho se encuentra en límite inferior o límite superior de su recorrido. Por otro lado X20, X21 y X22 reciben la señal de alarma de los drivers que controlan la velocidad de los motores del macho, muros y banda. X26 representa el pulso de inicio del ciclo.

PLC MITSUBISHI FX3G

Salidas del PLC

Y000	MAQUINA EN FUNCIONAMIENTO
Y001	BANDA ARRIBA
Y002	CONTACTOR MACHO 006
Y003	CONTACTOR MUROS 006
Y004	STF MUROS ADENTRO
Y005	STR MUROS AFUERA
Y006	RM MUROS LENTO
Y007	MACHO BAJA
Y010	MACHO SUBE
Y011	MACHO LENTO
Y012	STF ENTRA BANDAS
Y013	STR SALE BANDAS
Y014	RESISTENCIA 1
Y015	RESISTENCIA 2
Y016	RESISTENCIA 3
Y017	RESISTENCIA 4

Tabla 2.19: Salidas Torre Colombiana 511-006.

La salida Y0 indica que la máquina está en funcionamiento. Y2 y Y3 permite activar el contactor que prende el motor del macho y de los muros de la torre. Las salidas Y4, Y5, y Y6 proporcionan la señal para activar el driver que controla la dirección de giro y velocidad del motor de los muros. Y7, Y10 y Y11 cumplen la misma función pero con el driver del motor del macho, y, Y1, Y12 y Y13 también tienen esta función pero con el driver del motor de las bandas transportadoras. Las señales con las que se prenden las niquelinas de piso, muros y puerta de la torre provienen de las salidas Y14, Y15 y Y16.

Los temporizadores, contadores y registros se muestran a continuación:

PLC MITSUBISHI FX3G**TEMPORIZADORES:**

T10	TEMPORIZADO PRINCIPAL
T21	RETARDO APERTURA
T22	RETARDO APERTURA
T26	RETARDO JOG 1
T27	RETARDO JOG 2
T30	TIEMPO SALIDA NEVERA

Tabla 2.20: Temporizadores Torre Colombiana 511-006.

CONTADORES:

C252	ENCODER 1 MACHO
C253	ENCODER 2 MUROS

Tabla 2.21: Contadores Torre Colombiana 511-006.

REGISTROS:

D51	TEMPERATURA MUROS
D52	TEMPERATURA PISO
D53	TEMPERATURA TAPA
D128	TIEMPO POLIMERIZACION
D132	TIEMPO A REPOSO
D140	SET MACHO HMI
D142	CALIBRACION MURO
D152	VELOCIDAD LENTA MACHO
D154	VELOCIDAD RAPIDA
D158	VELOCIDAD LENTA MACHO
D162	VELOCIDAD LENTA MUROS
D164	PARADA MUROS
D180	STOP ABRE MURO
D190	SET TEMPERATURA DE MURO

Tabla 2.22: Registros Torre Colombiana 511-006.

CAPÍTULO III

MÓDULO ANALÓGICO MITSUBISHI FX2N-4AD-TC

3.1. Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura.

Para la automatización de un proceso a menudo resulta necesario medir, controlar o regular magnitudes analógicas, tales como temperaturas, presiones o niveles. Una unidad base (un PLC) de la familia MELSEC FX sólo puede procesar señales digitales de entrada o de salida (informaciones IN/OUT), por ello, para registrar y generar señales analógicas se requieren módulos analógicos especiales. Es posible diferenciar entre:

- Módulos Analógicos de entrada y
- Módulos Analógicos de salida

Los módulos analógicos de entrada pueden registrar corrientes, tensiones o temperaturas. Los módulos analógicos de salida sirven para la entrega de corrientes o tensiones. Además de ello hay también módulos combinados que pueden registrar y generar señales analógicas.

Para el registro de la temperatura se emplean termómetros de resistencia Pt100 o termoelementos.

- **Termómetros de resistencia**

Con ellos se mide la resistencia de un elemento de platino, la cual aumenta cuanto mayor es la temperatura. Con 0°C el elemento de platino presenta una resistencia de 100Ω (de allí la denominación PT100). El rango de medición de los termómetros de resistencia Pt100 va de -200°C a 600°C, pero también depende del módulo de registro de temperatura empleado.

- **Termoelementos**

Este método aprovecha el hecho de que al unir diferentes metales se genera una tensión mediante temperatura, por lo tanto se basa en una medición de tensión. Hay diferentes tipos de termoelementos, todos ellos se diferencian entre sí por la tensión térmica y por los rangos de temperatura registrables. Hay varias clases de termoelementos pero los más conocidos son los de tipo J y K. Los de tipo K se componen de una combinación de material de NiCr-Ni. Para la fabricación de termoelementos tipo J en cambio, se combina hierro (Fe) con una aleación de cobre/níquel (CuNi). Además de por la estructura, los termoelementos se diferencian entre sí por el rango de temperatura que pueden registrar. Con termoelementos es posible medir temperaturas entre -200°C y 1200°C.

Ejemplo de una medición de temperatura:

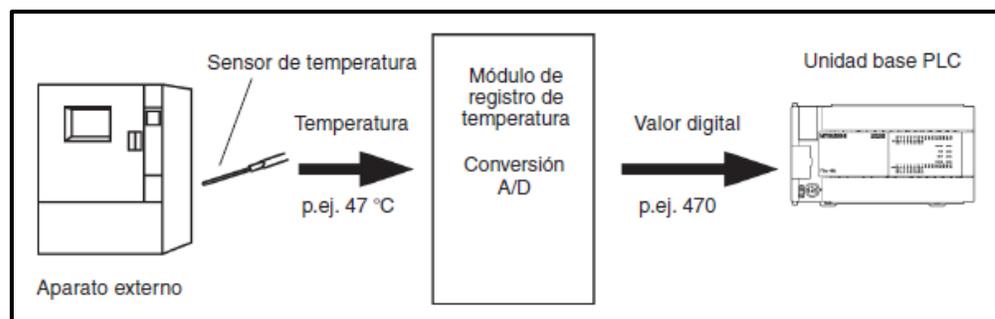


Figura 3.1: Ejemplo de medición de temperatura.

Fuente: Carl-Friedrich-Gauß-Str. 54, Kamp-Lintfort, Alemania, FX SERIES. Manual de Introducción, 2007, Pág. 7-2.

3.1.1. Criterios de selección para módulos analógicos.

La familia FX de MELSEC ofrece una amplia gama de módulos analógicos, por ello, para la solución de una tarea de automatización los criterios principales a la hora de tomar una decisión son los siguientes:

- **Compatibilidad con la unidad base PLC**

El módulo de salida tiene que poder combinarse con la unidad base PLC empleada. Por ejemplo, no es posible conectar los módulos analógicos de la serie FX3U a una unidad base de la serie FX1N.

- **Resolución**

La “resolución” indica que valor físico mínimo puede ser registrado o generado por un módulo analógico. En el caso de módulos analógicos de entrada se entiende por resolución la magnitud del cambio de la tensión, de la corriente o de la temperatura en la entrada que da como resultado un aumento o disminución en “1” del valor digital de salida. La resolución viene predeterminada por la estructura interna de los módulos analógicos y depende de cuántos bits se requieren para la memorización del valor digital. Si por ejemplo se registra una tensión de 10V con un convertidor A/D de 12 bits, la tensión se subdivide en 4096 pasos ($2^{12} = 4096$). De este modo resulta una resolución de $10V/4096 = 2,5mV$.

- **Número de entradas y salidas analógicas**

Las entradas o salidas de un módulo analógico se denominan también canales, en correspondencia con el número de canales requeridos, es posible seleccionar módulos de entrada analógicos con 2, 4 ó 8 canales. Se debe tener muy en cuenta el número de módulos especiales que pueden conectarse a una unidad base PLC, ya que este número es limitado; por ello es más conveniente, si hay que instalar también otros módulos especiales, emplear un módulo analógico con cuatro canales en lugar de dos módulos analógicos con dos canales cada uno.

3.1.2. Módulos especiales.

A la derecha de una unidad base de la familia FX de MELSEC es posible conectar hasta ocho módulos especiales. Además de los módulos analógicos, entre los módulos especiales se cuentan también por ejemplo los módulos de comunicación y de posicionamiento. Cada módulo especial ocupa ocho entradas y ocho salidas en la unidad base.

Un módulo especial tiene programado un área de memoria en la que se pueden guardar temporalmente los valores de medida analógicos. Por esta función, esta área de la memoria se denomina “memoria buffer”. La unidad

base tiene acceso a la memoria buffer y puede leer los valores de medida y grabar datos, que luego serán procesados por el módulo especial.

Una memoria buffer puede comprender hasta 32767 direcciones, cada una de ellas puede guardar 16 bits de información y su función depende del tipo del módulo especial. La comunicación entre este módulo y la unidad base PLC se lleva a cabo a través de la memoria buffer por medio de instrucciones FROM y TO.

3.2. Módulo analógico de adquisición de temperatura Mitsubishi FX_{2N}-4AD-TC

Luego de analizar la compatibilidad de estos módulos con los PLC que se van a utilizar para la automatización y que ya fueron descritos anteriormente en el Capítulo II, se llegó a la conclusión de que el módulo que mejor se adapta a las características requeridas es el FX_{2N}-4AD-TC.

“El módulo analógico de entrada para termopares FX_{2N}-4AD-TC se emplea para procesar temperaturas. Tiene 4 entradas independientes para detectar señales de termopares de tipo J y K. El tipo de termopares puede elegirse independientemente para cada uno de los puntos.”¹ Este módulo se muestra en la Figura 3.2 y algunas de sus características en la Tabla 3.1.

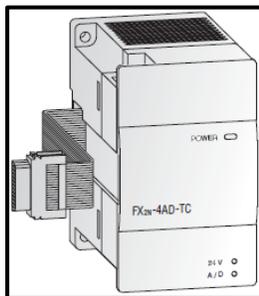


Figura 3.2: Módulo de Temperatura FX_{2N}-4AD-TC.
Fuente: Kamp-Lintfort, Familia FX PLC MELSEC, 2004, Pág. 31.

¹ Kamp-Lintfort, Familia FX PLC MELSEC, 2004, Pág. 31

Datos técnicos	FX2N-4AD-TC	
	Medición de temperatura en la unidad "grados Celsius" (°C)	Medición de temperatura en la unidad "grados Fahrenheit" (°F)
Número de los canales de entrada	4	
Sensor de temperatura conectable	Termopares del tipo K o J	
Rango de medición	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: -100 °C a +1200 °C ● Tipo J: -100 °C a +600 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: -148 °F a +2192 °F ● Tipo J: -148 °F a +1112 °F
Valor digital de salida	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: -1000 a +12000 ● Tipo J: -1000 a +6000 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: -1480 a +21920 ● Tipo J: -1480 a +11120
Resolución	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: 0,4 °C ● Tipo J: 0,3 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo K: 0,72 °F ● Tipo J: 0,54 °F
Precisión	±(0,5 % en todo el rango de medición + 1 °C)	
Tiempo de conversión analógica/ digital	(240 ms ± 2 %)/canal	
Característica de entrada		
Aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> ● Mediante un optoacoplador entre la parte analógica y la digital. ● Mediante el convertidor de corriente continua entre las entradas analógicas y la tensión de alimentación. ● No hay aislamiento entre los canales analógicos. 	
Número de las salidas y entradas ocupadas en la unidad base	8 (entradas o salidas alternativamente)	

Tabla 3.1: Datos Técnicos FX2N-4AD-TC.

Fuente: Kamp-Lintfort, Serie MELSEC FX3U. Controladores lógicos programables. Manual de instrucciones, 2008-2009, Pág 2-19.

Una ventaja de este módulo es que puede alimentarse directamente con la fuente de la unidad base PLC ya que el voltaje que requiere es de 5 ó 24Vdc, ésta y otras especificaciones generales se muestran a continuación en la Tabla 3.2.

Especificaciones		FX2N-4AD-TC
Fuente de alimentación	5 V DC	40 mA (desde la unidad base)
	24 V DC	60 mA
Puntos de E/S ocupados		8
Peso	kg	0,3
Dimensiones (AnxAlxLa)	mm	55 x 90 x 87

Tabla 3.2: Especificaciones FX2N-4AD-TC.
Fuente: Kamp-Lintfort, Familia FX PLC MELSEC, 2004, Pág. 31.

3.2.1. Instrucciones principales y líneas de programación del módulo de adquisición de temperatura Mitsubishi FX_{2N}-4AD-TC.

Una de las funciones más importantes que se va a utilizar en la programación del módulo de temperatura es la instrucción TO, la cual envía la información al módulo indicando el tipo de termocupla, el buffer de memoria, el número de módulo conectado y la cantidad de datos a escribir.

Su lógica de programación, tal como se muestra en la Figura 3.3, se detalla a continuación:

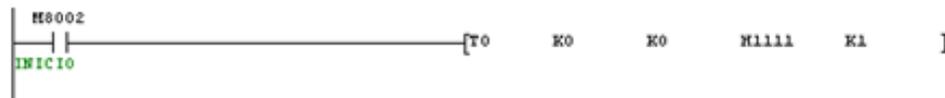


Figura 3.3: Instrucción TO.

- La primera constante que le acompaña a TO es el denominado “Block Number”, es decir, es el número del módulo conectado al PLC el cual empieza a numerarse desde 0; en este caso está puesto K0, ya que es el primer módulo conectado.
- La siguiente constante es el BFM, cuyas siglas son la representación de: Buffer Memory Location y su valor viene dado según la siguiente tabla:

BFM	CONTENTS
#0	Modo de selección de Termocupla tipo J o K.
#1 - #4	CH1 - CH4: contiene el número de muestras a ser usadas para un resultado promediado de temperatura.

#5 - #8	CH1 - CH4: contiene el promedio en grados Celsius de los valores de entrada para el número de muestras ingresadas para el canal en el buffer de memoria del #1 al #4 respectivamente.
#9 - #12	CH1 - CH4: contiene el valor actual en grados Celsius que está siendo leído por cada canal de entrada.
#13 - #16	CH1 - CH4: contiene el promedio en grados Fahrenheit de los valores de entrada para el número de muestras ingresadas para el canal en el buffer de memoria del #1 al #4 respectivamente.
#17 - #20	CH1 - CH4: contiene el valor actual en grados Fahrenheit que está siendo leído por cada canal de entrada.
#21 - #27	Reservado.
#28	Rango de error digital.
#29	Estado de error.
#30	Código de identificación K2030*
#31	Reservado.

*Cada módulo sensor está equipado con un código de identificación de cuatro dígitos. El número de la FX2N-4AD-TC es K2030.

Tabla 3.3: Buffer Memory Location.

- El tercer parámetro es la fuente (source), consta de una H y cuatro dígitos, uno para cada canal empezando por el canal 4 al lado izquierdo y el canal 1 al final del lado derecho como se indica en la Figura 3.4, estos dígitos pueden ser:
 - 0 = Termocupla tipo K
 - 1 = Termocupla tipo J
 - 3 = No utilizado

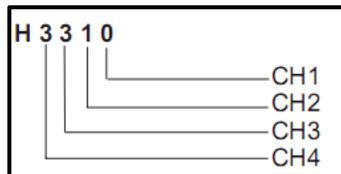


Figura 3.4: Parámetro Source.

En el caso del programa de la Figura 3.3 se han conectado termocuplas tipo J en todos los canales.

- El último parámetro es el “Number of words written”, es decir el número de registros que van a ser leídos desde el módulo de temperatura, generalmente es uno.

La marca M8002 que se encuentra al inicio de la línea de instrucción TO funciona como un contacto cerrado únicamente en la primera marcha del PLC.

Otra de las instrucciones a utilizarse en la programación del módulo de temperatura es la función FROM la cual recibe los datos provenientes del módulo y los envía al PLC para que éste pueda analizarlos y procesarlos. Esta instrucción puede tener diferentes parámetros de acuerdo al uso que se le vaya a dar, tal como se puede visualizar en la Figura 3.5.

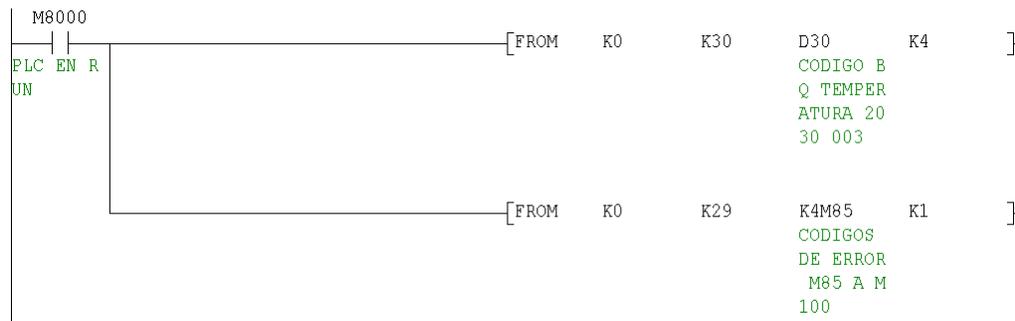


Figura 3.5: Instrucción FROM.

En la primera línea de programación, la instrucción FROM se utiliza para leer los datos provenientes del módulo de temperatura. Esto requiere de cuatro parámetros importantes, los cuales serán detallados a continuación:

- El primer parámetro K0 indica el número del módulo de temperatura del cual se están obteniendo los datos. Puede numerarse del 0 al 7.
- K30 representa el valor de BFM, el cual puede oscilar entre 0 y 31 tal como se mostró en la Tabla 3.3. En este caso indica el código del módulo que se encuentra conectado al PLC (K2030).
- D30 especifica el registro de destino en el que se almacena el resultado.
- K1 al igual que en la instrucción TO, es el número de palabras que van a ser leídas desde el módulo de temperatura.

En la siguiente línea de programación, la función FROM se emplea para reconocer errores y al igual que en el punto anterior, requiere de cuatro parámetros que se detallan a continuación:

- El primer parámetro K0 indica el número del módulo de temperatura del cual se están obteniendo los datos. Puede numerarse del 0 al 7.
- K29 representa el valor de BFM, el cual puede oscilar entre 0 y 31 tal como se mostró en la Tabla 3.3. En este caso indica el estado de error.
- K4M450 representa el bit de estado de error, cada uno encenderá una marca a partir del M450 al M465 según el error que se haya suscitado desde el bit 0 al bit 15 respectivamente. Estos errores se muestran en la siguiente tabla:

Bit devices of BFM #29	ON	OFF
b0 : Error	When either b2 or b3 is ON A/D conversion is stopped for the error channel	No error
b1 : Not used	—	—
b2 : Power source	24VDC power supply failure	power supply normal
b3 : Hardware error	A/D converter or other hardware failure	Hardware Normal
b4 to b9 : Not used	—	—
b10 : Digital range error	Digital output/analog input value is outside the specified range.	Digital output value is normal.
b11 : Averaging number error	Selected number of averaged results is outside the available range -see BFM #1 to #4	Averaging is normal. (between 1 to 256)
b12 to b15 : Not used	—	—

Tabla 3.4: Buffer Memory BFM#29 Error Status.

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation, FX2N-4AD-TC SPECIAL FUNCTION BLOCK USER'S GUIDE, 1997, Sección 3.5.

- K1 "Number of words written" es el número de palabras que van a ser leídas desde el módulo de temperatura.

Siguiendo con el programa de adquisición de temperatura a continuación se muestra la Figura 3.6 en donde se utiliza la instrucción CMP:

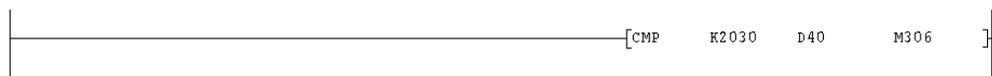


Figura 3.6: Instrucción CMP.

En la línea de programación se realiza una comparación utilizando el comando CMP entre la constante K2030 y el registro D40 (en el cual está almacenado el valor del código proveniente del BFM #30), para asegurarse de que el módulo conectado al PLC es el FX2N-4AD-TC. La instrucción CMP requiere de tres parámetros: los dos primeros son los valores a ser comparados que pueden ser constantes o registros (S1 y S2) y el tercer parámetro es la bobina o marca que se encenderá dependiendo del resultado de la comparación, tal como se puede ver en la Figura 3.7:

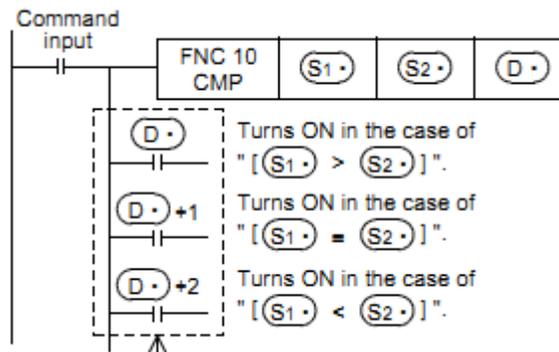


Figura 3.7: Instrucción CMP.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, FX3G/FX3U/FX3UC Series Programmable Controllers. Programming Manual - Basic & Applied Instruction, 2009, Pág. 241.

En el ejemplo si S1 es mayor a S2 ($S1 > S2$) se encenderá la marca o bobina D, en cambio si $S1 = S2$ se encenderá D+1 que representa a la siguiente marca o bobina en orden ascendente y por último si S1 es menor a S2 ($S1 < S2$) se encenderá D+2.

En el siguiente bloque de instrucciones, mostrado en la Figura 3.8, se obtiene un rango que indica un estado normal para cada una de las temperaturas que van a ser controladas en la Torre de Inyección, si las temperaturas están fuera de este rango se encenderán o apagarán las niquelinas según sea el caso. Para esto se utilizan los comandos ADD (adición) el cual sirve para sumar un valor a otro y el comando SUB (substracción) para restar un valor de otro; cada uno consta de tres parámetros: el primer parámetro en este programa es el valor inicial de temperatura ingresado por el usuario desde la pantalla (D190, D196 y D202), el segundo parámetro, en el caso de la instrucción ADD es el valor a ser sumado al valor inicial de temperatura (K2) y en el caso de la

instrucción SUB es el valor que se va a restar del valor inicial de temperatura (K2). El tercer parámetro es el registro en donde se va a almacenar el resultado de estas operaciones.

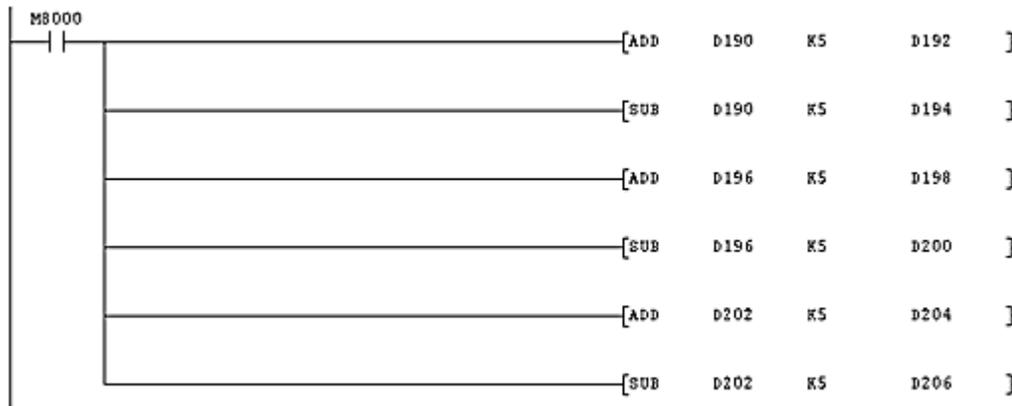


Figura 3.8: Instrucciones ADD y SUB.

Ya con el módulo configurado correctamente y con los rangos establecidos se procede a adquirir los valores promedios reales de temperatura utilizando nuevamente la instrucción FROM. En este caso se está adquiriendo desde el módulo de la posición cero (K0) los valores de los BFM #5, #6 y #7 almacenando en los registros D35, D36 y D37 respectivamente, ya que el valor de “Number of words written” es igual a K3. Esto se puede visualizar en la Figura 3.9.

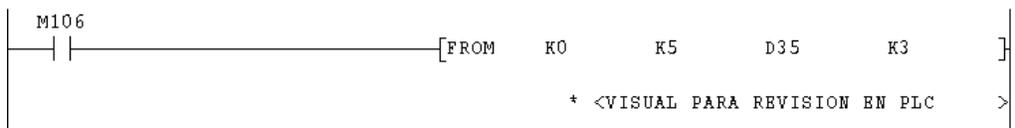


Figura 3.9: Instrucción FROM, adquisición de temperatura.

En la Figura 3.10 se dividen los datos recopilados en los registros D35 al D37 para diez (K10) mediante la instrucción DIV y se los almacena en los registros D45 al D47 respectivamente, ya que en la línea de programación anterior los datos adquiridos se guardan con un cero adicional al valor real.

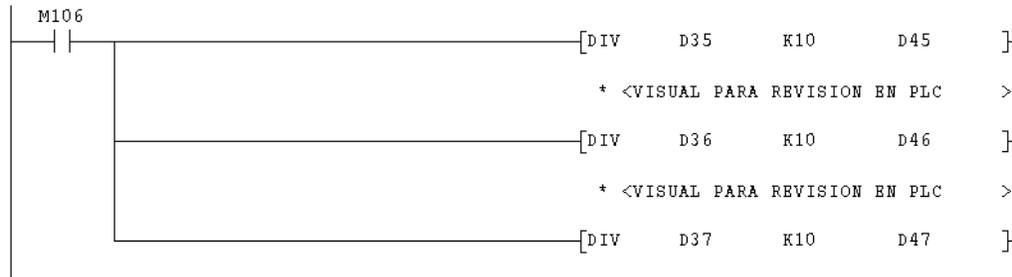


Figura 3.10: Instrucción DIV.

Por último, se comparan los valores de los registros D35 al D37 con el valor mínimo y máximo de temperatura que ya se establecieron anteriormente con las instrucciones ADD y SUB tal como se muestra en la Figura 3.11.

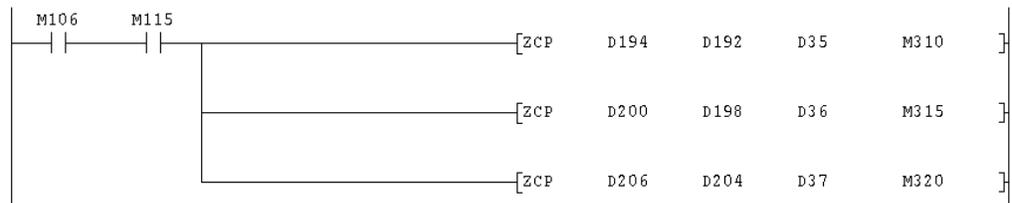


Figura 3.11: Instrucción ZCP.

Para esta comparación se ha utilizado el comando ZCP en el que se utilizan cuatro parámetros. S1 y S2 representan los valores mínimo y máximo del rango de comparación, S es el valor que se comparará con S1 y S2 y D es la marca o bobina que se encenderá según la comparación que se explica a continuación mediante la Figura 3.12.

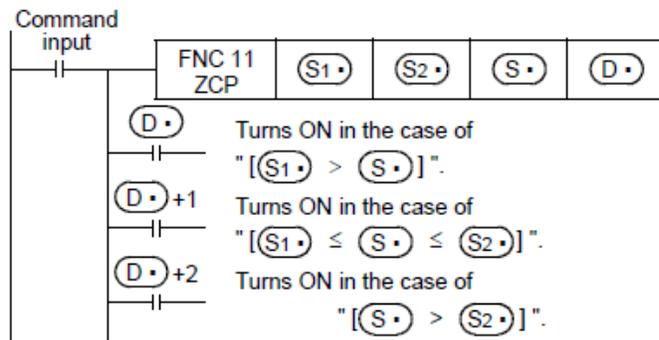


Figura 3.12: Instrucción ZCP.

Si S1 que es el valor mínimo es menor a S, entonces se encenderá la marca o bobina D, si S está dentro del rango comprendido entre S1 y S2 se encenderá

la marca o bobina D+1 (al igual que en el comando CMP D+1 representa la siguiente marca o bobina en orden ascendente) y finalmente si S es mayor a S2 (valor máximo) se encenderá la marca o bobina D+2.

CAPÍTULO IV

VARIADOR DE FRECUENCIA

4.1. Variadores de Frecuencia. Definición.

Un variador de frecuencia (siglas VFD: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Es un caso especial de un variador de velocidad y son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

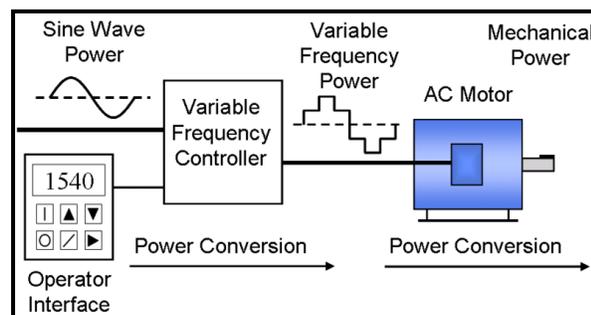


Figura 4.1: Diagrama de un Sistema VFD.

Fuente: Wikipedia. Variador de Frecuencia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia>. [Consulta: 24 de octubre de 2011].

Gracias a su construcción sencilla, segura y económica, los motores asíncronos trifásicos son los más frecuentemente empleados en la industria. Las revoluciones de un motor asíncrono trifásico vienen determinados por:

- Frecuencia de la corriente trifásica
- El tipo de bobina (número de polos o pares de polos).

Dado que por regla general la frecuencia del suministro de tensión es constante con 60Hz (en el caso de nuestro país), una adaptación a una máquina sólo puede tener lugar por medio de una bobina.

Un variador de frecuencia se conecta entre la red y el motor, su tarea consiste en transformar una tensión fija con frecuencia constante en una tensión variable con frecuencia variable; de este modo es posible cambiar de forma continua la velocidad de un motor asíncrono. Si se adapta a un motor estándar con una bobina, se puede obtener un sistema de accionamiento de velocidad variable.

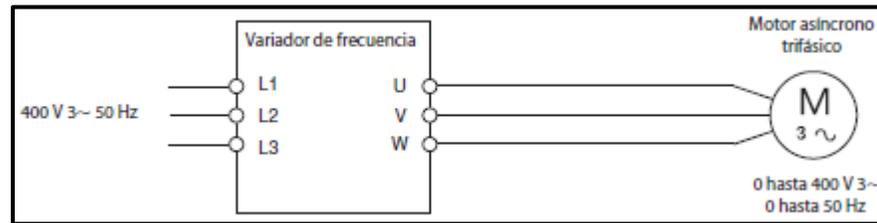


Figura 4.2: Variador de Frecuencia.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 1-1.

Modificando la tensión y la frecuencia de salida de un variador, es posible regular de forma continua las revoluciones del motor conectado.

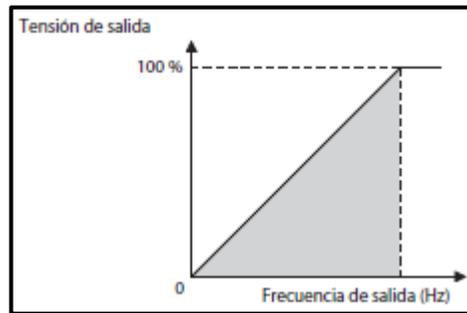


Figura 4.3: Tensión vs. Frecuencia de salida.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 1-1.

Además, un variador de frecuencia ofrece también otras ventajas, entre ellas tiempos de aceleración y de retardo ajustables, elevación de par de giro, protección electrónica contra sobre-corriente o una regulación PID integradas.

4.1.1. Características generales de los variadores de frecuencia Mitsubishi.

Se ha escogido un variador de frecuencia de la marca Mitsubishi debido a que presenta varias ventajas con respecto a otras marcas de la competencia;

estas ventajas y algunas de las características principales de los drivers Mitsubishi se presentan a continuación:

- Observancia de las normativas, estándares y certificaciones globales.
- Plataforma de trabajo abierta y flexible.
- Amplia paleta de productos, acorde con las necesidades del mercado.
- Parametrización simple.
- Fácil de interconectar.
- Desconexión controlada en caso de microcorte de alimentación.
- Reinicio automático después de un corte de tensión.

Además de ello, amplias funciones tecnológicas como:

- SLV-Vector Control y V/f Control (libremente programable)
- Excelente estabilidad de revoluciones mediante "Online Autotuning" y compensación automática de deslizamiento.
- Marcha silenciosa del motor gracias a la función "Soft-PWM".
- Alto ahorro de energía gracias a la "tecnología OEC"
- Limitación activa de corriente (Triplex Operation).
- Nueva puesta en marcha automática tras un fallo de red.
- Unidades flexibles de control y parametrización intuitiva.
- Función integrada de parada de emergencia.
- Regulación vectorial sin sensores.
- Alta capacidad de sobrecarga de 200%.

Todos los variadores de frecuencia se caracterizan por un manejo y puesta en funcionamiento muy sencillos, así como por una gestión optimizada de control y de datos. Las terminales de control integradas, el "Digital Dial" y la unidad de control con varios idiomas proporcionan información fácilmente comprensible acerca del estado de accionamiento y de los posibles avisos de error que pudieran presentarse.

Es posible realizar redes abiertas con sistemas estandarizados de bus industriales tales como: Profibus/DP, DeviceNet, CC-Link y CANopen o también LonWorks. Otras interfaces RS422 y RS485, así como el puerto USB opcional, permiten aplicaciones multipunto (hasta para 32 estaciones) y el enlace a los sistemas de PC y de visualización más modernos.

Mitsubishi ha desarrollado la función OEC (Optimum Excitation Control) que contribuye a una mayor optimización del consumo de corriente y de potencia permitiendo una reducción adicional de la energía requerida en comparación con variadores convencionales. En punta, los accionamientos llegan a reducir el gasto energético hasta un 60 % frente a un accionamiento de red estándar, minimizando así los costos de servicio de la instalación.

La serie FR-D700 de variadores de frecuencia Mitsubishi, ofrece varias funciones avanzadas tales como: autodiagnóstico para prevenir los fallos (supervisa activamente sus propias funciones), largo período de vida útil ya que han sido diseñados para durar 10 años, función de seguridad "parada segura" STO que significa "Safe TorqueOff" y evita una nueva puesta en marcha inesperada del motor mediante la desconexión de la alimentación de energía del mismo, por último dispone de innovadoras funciones que le permiten responder de forma altamente sensible a diversos eventos externos.

4.2. Conceptos Importantes.

4.2.1. Sentido de giro de un motor.

El sentido de giro de un motor eléctrico se determina mirando al extremo del eje; en caso de que haya dos extremos, mirando al extremo del eje del accionamiento principal (extremo del eje que se encuentra frente al ventilador o al freno). Se consideran dos sentidos de giro:

- **Giro a la derecha:** se considera el giro en el sentido de las agujas del reloj.
- **Giro a la izquierda:** se considera el giro en el sentido opuesto a las agujas del reloj.

4.2.2. Parameter Unit (PU).

En el funcionamiento PU, se puede controlar al variador de frecuencia manualmente por medio de una unidad de mando opcional integrada o conectada. En este caso se ilumina el LED "PU".

En el interface PU de un variador de frecuencia se puede conectar una unidad de mando; dado que esta conexión se corresponde con el estándar RS485, a través de este interface algunos variadores pueden comunicarse con aparatos externos.

4.2.3. Conexión del circuito de potencia.

Los variadores de frecuencia de las series FR-D700 y FR-E700/E700SC pueden tener una alimentación de acuerdo a la siguiente tabla:

Conexión de red	FR-D720S y FR-E720S/E720SSC	FR-D740 y FR-E740/E740SC
Tensión	Monofásica, 200–240 V AC, –15 %/+10 %	Trifásica, 380–480 V AC, –15 %/+10 %
Rango permitido de tensión	170–264 V AC	323–528 V AC
Frecuencia de red	50/60 Hz ± 5 %	50/60 Hz ± 5 %

Tabla 4.1: Alimentación de los variadores de frecuencia.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 3-1.

Según información del catálogo de Mitsubishi, en los variadores de frecuencia alimentados por una tensión alterna monofásica de entre 200 y 240V es posible conectar un motor trifásico en la salida, la cual abarca un rango de 0V hasta la tensión de entrada.

La tensión de red de la entrada se conecta monofásica a los bornes L1 y N o trifásica a los bornes L1, L2 y L3. El motor en cambio se conecta a los bornes U, V y W. Adicionalmente, el variador de frecuencia tiene que ser puesto a tierra. Se debe tener en cuenta que la tensión de red no debe conectarse jamás a los bornes de salida U, V o W ya que podrían producirse daños permanentes en el variador de frecuencia, así como una puesta en peligro

inmediata del operador. La Figura 4.4 muestra esquemáticamente la conexión de entrada y de salida de un variador de frecuencia.

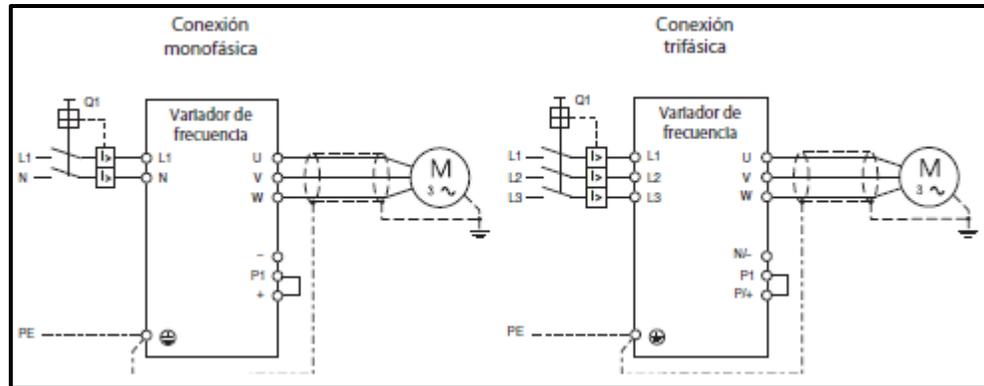


Figura 4.4: Conexión del variador de frecuencia.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 3-2.

En la Tabla 4.2 se enlistan las etiquetas con el significado de cada borne de conexión de los variadores de frecuencia Mitsubishi:

Bornes	Significado	Descripción
L1, N	Conexión de tensión de red (monofásica)	Fuente de alimentación del variador de frecuencia
L1, L2, L3	Conexión de tensión de red (trifásica)	
U, V, W	Conexión del motor	Salida de tensión del variador de frecuencia (3 ~ 0 V hasta tensión de conexión 0,2 o 0,5 hasta 400 Hz)
L11, L21	Conexión de la tensión de control	Sólo con FR-F700 y FR-A700
+, PR	Conexión para una resistencia de frenado externa opcional	No presente en FR-A700
P/+, PR		
+,-	Conexión para unidad de frenado externa	A estos bornes es posible conectar una unidad de frenado externa.
P/+, N/-		
+, P1	Conexión para bobina de circuito intermedia	A estos bornes se conecta una bobina de circuito intermedia. Antes de conectar una bobina hay que retirar el puente.
P/+, P1		
PR, PX	Sólo con FR-F700 y FR-A700. Estos bornes no se deben emplear y no se debe retirar el puente	
	PE	Conexión de conductor protector del variador de frecuencia

Tabla 4.2: Bornes de conexión.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 3-2.

4.2.4. Señales de control.

Además de las conexiones de la unidad de alimentación para la tensión de la red y del motor, un variador de frecuencia tiene otras conexiones con las cuales pueden ser controlado. Las conexiones de señales de control más importantes se muestran en la Tabla 4.3.

Señal	Borne	Denominación	Descripción		
Entradas de señal	Conexiones de control	STF	Señal de inicio para la marcha a la derecha	El motor gira hacia la derecha cuando hay una señal en el borne STF.	El motor se para cuando se conectan a la vez las señales STF y STR.
		STR	Señal de inicio para marcha a la izquierda	El motor gira hacia la izquierda cuando hay una señal en el borne STR.	
		RH, RM, RL	Preselección de la velocidad	Preselección de hasta 15 frecuencias de salida diferentes	
		MRS	Bloqueo de regulación	Cuando esta entrada de control se conecta durante más de 20 ms se desconecta la salida del variador de frecuencia.	
		RES	Entrada de RESET	Después de que haya respondido una función de protección es posible resetear el variador mediante la conexión de esta entrada, borrando así el aviso de alarma. (La entrada RES tiene que estar conectada como mínimo durante 0,1 seg.).	
	P. de referencia	SD ^①	Punto de referencia conjunto para entradas de señales en lógica negativa		
		PC ^①	Salida de 24 V DC y punto de referencia común para entradas de control en lógica positiva		
Análogica	Determinación de valor nominal	10	Salida de tensión para potenciómetro de valor nominal	Tensión de salida de 5 V DC. La corriente de salida máx. es de 10 mA. Potenciómetro recomendado: 1 k Ω , 2 W lineal, (potenciómetro de velocidades múltiples)	
		2	Entrada para señal de valor nominal de frecuencia (0 a 5 o bien 10 V DC)	En este borne se aplica una señal de valor nominal de 0 a 5 o bien 10 V. El rango de tensión está preajustado a 0-5 V. La resistencia de entrada es de 10 k Ω ; la tensión máxima permitida 20 V.	
		5	Punto de referencia para la señal de valor nominal de frecuencia	El borne 5 es el punto de referencia para los valores analógicos conectados a los bornes 2 y 4. El borne 5 está aislado y por razones de resistencia a interferencias no debe ser puesto a tierra.	
		4	Entrada para señal de valor nominal de frecuencia (4 a 20 mA DC)	Si se va a emplear una corriente (0 o bien 4 hasta 20 mA DC) como señal de valor nominal, la conexión se lleva a cabo en este borne. La resistencia de entrada es de 250 Ω , la corriente máxima permitida es de 30 mA. La entrada está configurada de fábrica para 0 Hz con 4 mA y 50 Hz con 20 mA. Por favor observe que para la activación tiene que estar conectada al mismo tiempo la entrada de control AU.	

^① No se deben conectar entre sí los bornes PC y SD. El borne PC sirve de punto de referencia común para las entradas de control en lógica positiva de conexión (ajuste de fábrica), y en lógica negativa de conexión el borne SD.

Tabla 4.3: Señales de control.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 3-3.

4.3. Parámetros.

A los ajustes necesarios que requiere un variador de frecuencia se les denomina parámetros, estos se guardan en su memoria impidiendo que se pierdan cuando se desconecta la fuente de alimentación, de manera que sólo es necesario ajustarlos una vez. Todos los parámetros están preajustados de manera que el aparato está listo para ser puesto en funcionamiento.

Los parámetros pueden subdividirse en básicos y extendidos. Los parámetros básicos tienen que ser ajustados necesariamente, en cambio los extendidos, únicamente para el caso de aplicaciones especiales o más complejas. Estos parámetros se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Significado	FR-D700		FR-E700/E700SC	
		Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
0	Elevación del par de giro (manual)	0–30 %	3 %/4 %/6 % ^①	0–30 %	2 %/3 %/ 4 %/6 % ^①
1	Frecuencia máxima de salida	0–120 Hz	50 Hz	0–120 Hz	120 Hz
2	Frecuencia de salida mínima	0–120 Hz	0 Hz	0–120 Hz	0 Hz
3	Curva característica V/f (frecuencia básica)	0–400 Hz	50 Hz	0–400 Hz	50 Hz
4	1. Preselección de revoluciones/velocidad - RH	0–400 Hz	50 Hz	0–400 Hz	50 Hz
5	2. Preselección de revoluciones/velocidad - RM	0–400 Hz	30 Hz	0–400 Hz	30 Hz
6	3. Preselección de revoluciones/velocidad - RH	0–400 Hz	10 Hz	0–400 Hz	10 Hz
7	Tiempo de aceleración	0–3600 s	5 s/10 s ^①	0–3600 s	5 s/10 s/15 s ^①
8	Tiempo de frenado	0–3600 s	5 s/10 s	0–360 s 0–3600 s	5 s/10 s/15 s ^①
9	Ajuste de corriente para la protección electrónica del motor	0–500 A	Corriente nominal	0–500 A	Corriente nominal
19	Tensión máxima de salida	0–1000 V 8888 ^② 9999 ^③	8888	0–1000 V 8888 ^② 9999 ^③	8888
20	Frecuencia de referencia para tiempo de aceleración y de frenado	1–400 Hz	50 Hz	1–400 Hz	50 Hz
79	Selección de modos de funcionamiento	0–4/6/7	0	0–4/6–8	0

① Dependiente de la clase de potencia del variador de frecuencia

② Con el valor "8888", la tensión de salida máxima es del 95 % de la tensión de entrada

③ Con el valor "9999" la tensión de salida máx. se corresponde con la tensión de entrada

Tabla 4.4: Sinopsis de los parámetros básicos.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-1.

4.3.1. Elevación del par de giro (parámetro 0)

Con el parámetro 0 es posible incrementar la tensión de salida con frecuencias reducidas y elevar así el par de giro. Se debe emplear este parámetro cuando haga falta un alto par de arranque o un alto par de giro a bajas revoluciones. En la Figura 4.5 se muestra la curva de Tensión vs. Frecuencia de salida.

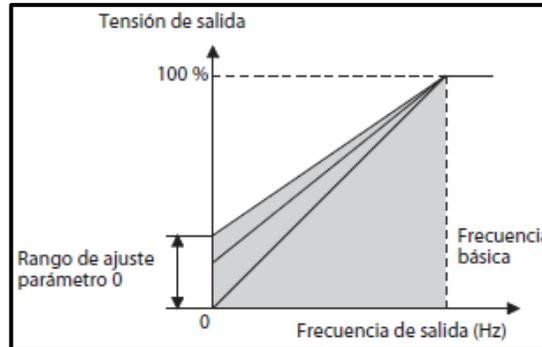


Figura 4.5: Tensión vs. Frecuencia de Salida.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-3.

4.3.2. Frecuencias de salida mínima y máxima (parámetros 1 y 2)

Al ajustar los parámetros 1 y 2 es posible adaptar el rango del valor nominal de frecuencia a las características mecánicas de la máquina. Es necesario limitar la frecuencia máxima de salida para no sobrecargar a la máquina mecánicamente o para no exceder una determinada velocidad máxima. En la siguiente figura se muestra las limitaciones de frecuencias máxima y mínima.

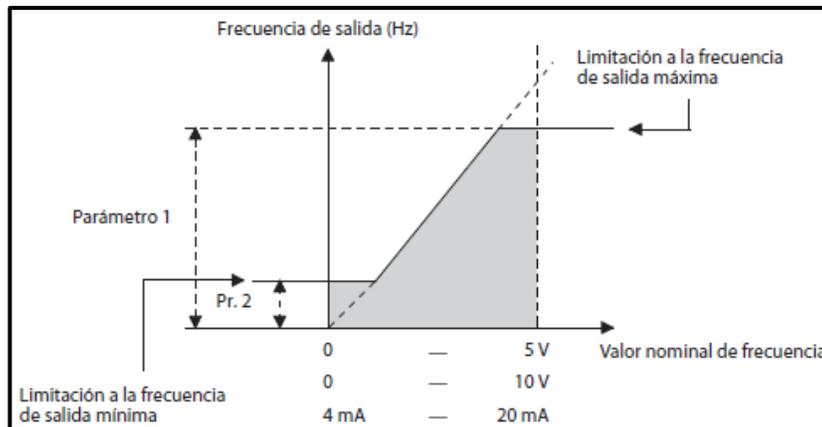


Figura 4.6: Frecuencias de salida mínima y máxima.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-3.

4.3.3. Curva característica V/f (parámetro 3)

El parámetro 3 ajusta la frecuencia nominal del motor, la misma que se indica en la placa de características del motor. Un ajuste erróneo puede dar lugar a una sobrecarga y a una desconexión del variador de frecuencia. Este parámetro determina la relación entre la tensión de salida y la frecuencia de salida (curva característica V/f) tal como se muestra en la Figura 6.4.

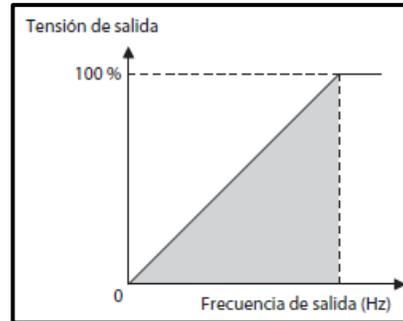


Figura 4.7: Curva característica V/F.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-4.

4.3.4. Determinación del valor nominal de la frecuencia mediante señales externas (parámetros 4 a 6)

En los variadores de frecuencia es posible seleccionar hasta 15 valores nominales de frecuencia a través de los bornes RH, RM, RL ó REX; para ello, éstos deben encontrarse en el modo de funcionamiento externo. Los primeros tres valores nominales de frecuencia se registran en los parámetros del 4 al 6 y las revoluciones fijas (4 hasta 15) pueden guardarse en otros parámetros.

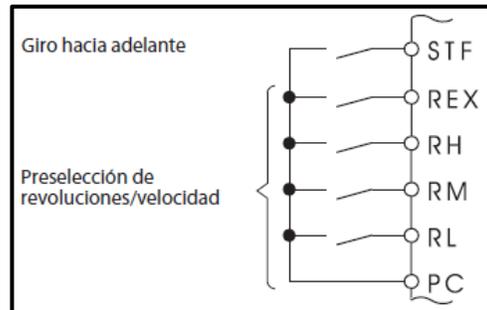


Figura 4.8: Ejemplo para la conexión a los bornes RH, RM, RL y REX de un variador de frecuencia.
Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-4.

4.3.5. Tiempo de aceleración y frenado (parámetros 7 y 8)

Una gran ventaja de los variadores es permitir a un motor acelerarse y frenarse con suavidad. Los parámetros 7 y 8 sirven para determinar los tiempos de aceleración/frenado. La Figura 4.9 muestra la rampa de aceleración y la de frenado.

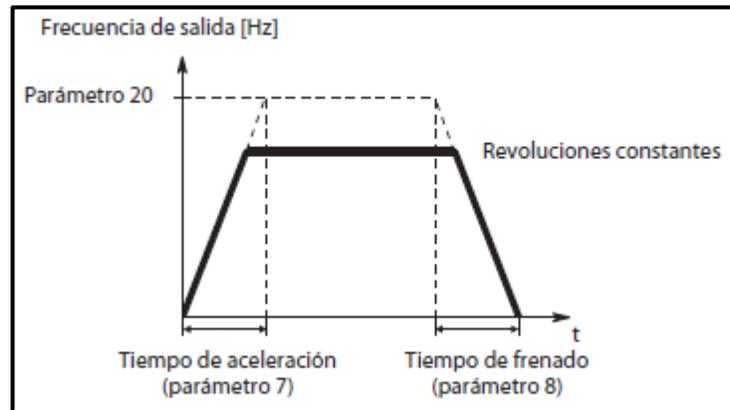


Figura 4.9: Tiempo de aceleración y frenado.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-6.

Con el parámetro 7 se ajusta el tiempo de aceleración para el accionamiento, el cual describe el espacio de tiempo en segundos requerido para acelerar desde 0 Hz hasta la frecuencia determinada en el parámetro 20.

El tiempo de frenado, es decir el espacio de tiempo en segundos en el que el accionamiento es frenado desde la frecuencia fijada en el parámetro 20 hasta 0 Hz, es determinado por el parámetro 8.

4.3.6. Protección electrónica del motor (parámetro 9)

Los variadores de frecuencia están equipados con una función electrónica interna para la protección del motor que registra su frecuencia y corriente (la corriente nominal se registra en el parámetro 9). En función de estos dos factores más la corriente nominal, el motor activa las funciones de protección en caso de sobrecarga o calentamiento no permitido cuando se opera con revoluciones parciales y con un par de giro muy alto. Para desactivar esta

opción se pone "0" al parámetro 9, sin embargo se mantiene activa la protección contra sobrecarga de los transistores del variador de frecuencia.

4.3.7. Selección del modo de funcionamiento (parámetro 79)

El parámetro 79 determina el modo de funcionamiento en que trabajará el variador de frecuencia. Existen tres tipos de funcionamiento, mediante señales externas, unidad de mando, una combinación de unidad de mando y señales externas, o mediante red. Se debe elegir:

- El control externo cuando el variador de frecuencia vaya a ser operado mediante potenciómetro, interruptor o un PLC a través de los bornes de control.
- La unidad de mando cuando la orden de inicio y la consigna de velocidad vayan a provenir de la unidad de mando.
- El modo de red (modo NET) para el funcionamiento mediante comunicación serie RS485 o mediante una opción de comunicación.

Los modos de funcionamiento se muestran en la Tabla 4.5.

Parámetro 79	Función		
0	Al conectar la fuente de alimentación está seleccionado el control externo. Es posible cambiar entre el funcionamiento a través de la unidad de mando y el control externo por medio de las teclas de la unidad de mando. Las propiedades de estos modos de funcionamiento se describen en esta tabla bajo los valores de parámetro "1" y "2".		
1	Modo de funcionamiento	Determinación de la frecuencia de salida	Determinación de la señal de inicio
	Unidad de mando	Mediante unidad de mando	Mediante las teclas RUN (FWD, REV) de la unidad de mando
2	Control externo	Determinación externa de valor nominal (p.ej. bornes 2 (4)-5, preselección de velocidad/revoluciones)	Señal externa de inicio mediante bornes STF ó STR
3	Modo de funcionamiento combinado 1	Mediante unidad de mando o mediante señal externa (p. ej. mediante preselección de velocidad/revoluciones etc.)	Señal externa de inicio mediante bornes STF ó STR
4	Modo de funcionamiento combinado 2	Determinación externa de valor nominal (p. ej. bornes 2 (4)-5, preselección de velocidad/revoluciones)	Mediante las teclas RUN (FWD, REV) de la unidad de mando
6	Funcionamiento de cambio Durante el funcionamiento es posible el cambio entre unidad de mando, control externo y control mediante red. Se mantiene el estado de funcionamiento.		
7	Control externo (liberar/bloquear cambio a funcionamiento mediante unidad de mando)		
	Señal X12 ON:	Es posible el cambio al funcionamiento mediante unidad de mando (desconexión de la salida del variador con control externo)	
	Señal X12 OFF:	Está bloqueado el cambio al funcionamiento mediante unidad de mando	

Tabla 4.5: Modos de funcionamiento.

Fuente: Kamp-Lintfort, "FR-D700/E700/E700SC/F700/A700, Manual introductorio", 2011, Pág. 6-7.

4.4. Líneas de programación.

Debido a que la Torre Colombiana 511-005 y la Torre Nacional 511-004 se encuentran conectadas en red, las líneas de programación para el variador de frecuencia serán explicadas en el siguiente capítulo.

4.4.1. Torre Colombiana 511-006

Como ya se explicó anteriormente, para dar marcha ya sea hacia adelante o en reversa al motor se deben activar las entradas STF o STR del variador de frecuencia al igual que para las velocidades baja, media o alta, RL, RM y RH respectivamente. Los pulsos que requiere el variador para activar cada una de estas entradas provienen de las salidas (bobinas) del PLC.

En la Figura 4.10 se muestra un bloque de programa de una de las torres colombianas, en el cual se activan las salidas para dar movimiento o frenar al

motor de la plataforma macho. El motor está conectado a un contactor que se activará cada vez que se proceda a mover ascendente o descendente el macho, para esto se acciona la bobina Y002 del PLC utilizando los contactos normalmente abiertos M55 (descendente) y M45 (ascendente). Una vez activado el contactor se puede encender la bobina Y007 que se encuentra conectada a la entrada STR del variador de frecuencia para que el macho descienda, o encender la bobina Y010, conectada a la entrada STF del variador, para que el macho pueda ascender.

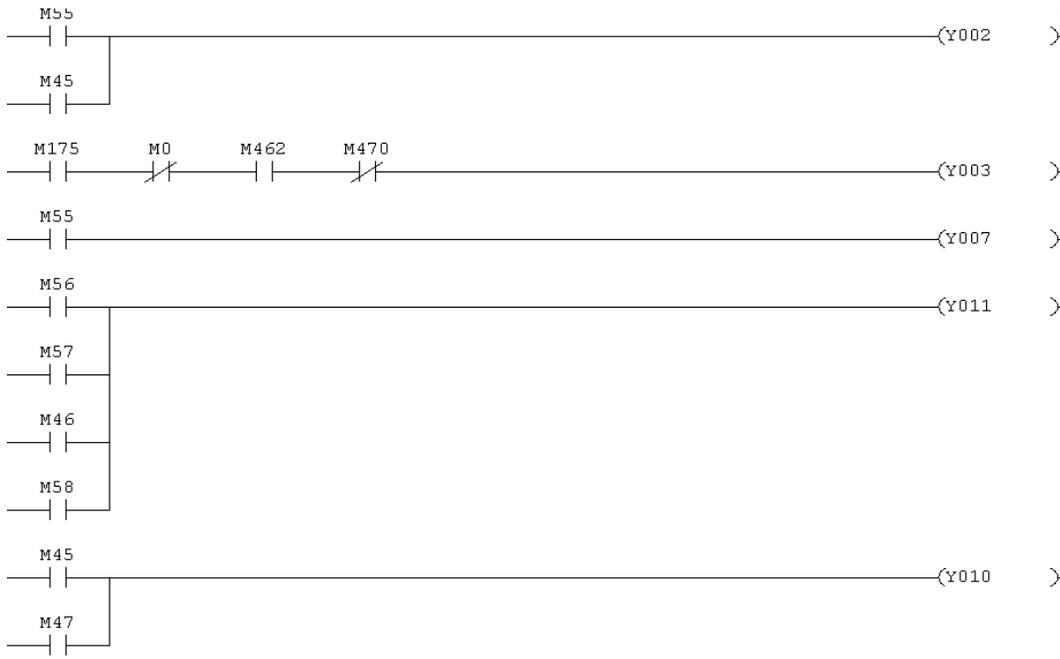


Figura 4.10: Bloque de programación Torre Colombiana 511-006.

El motor girará con la frecuencia base configurada en los parámetros del variador. Con el fin de lograr un frenado más eficaz y evitar movimientos bruscos en el momento de detener la plataforma macho se reduce la velocidad del motor cuando la plataforma está cerca de llegar a la distancia establecida por el operador. Para conseguir este frenado, una vez activada la bobina Y007 o Y010, mediante los contactos M56, M57, M58 o M46 (que representan las marcas que se encienden cuando los pulsos del encoder han llegado al número establecido como distancia de frenado) se activa la bobina Y011 la cual se conecta a la entrada RL del variador de frecuencia.

4.4.2. Torre Nacional 511-003

Al igual que en la torre colombiana para realizar los movimientos ascendente, descendente y frenado del motor de la plataforma superior macho se utilizarán tres bobinas Y000, Y001 y Y002, tal como se muestra en la Figura 4.11, estas bobinas se conectan a las entradas STF, STR y RL del variador de frecuencia respectivamente.

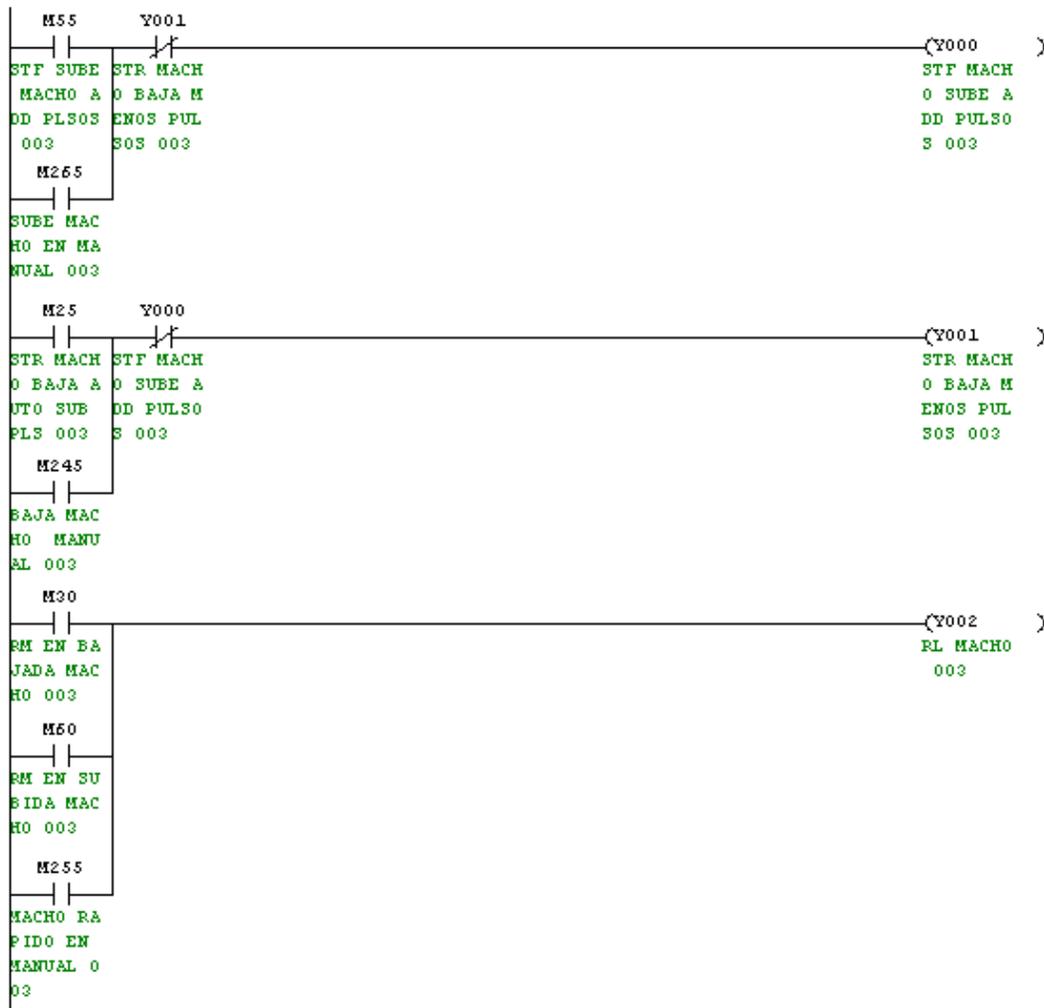


Figura 4.11: Bloque de programación Torre Nacional 511-003.

CAPÍTULO V

PANTALLA HMI Y DISEÑO DE LA RED

5.1. Pantalla HMI.

Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso. Se puede definirlos como una "ventana de un proceso", esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitorización y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVER's (Variadores de velocidad de motores), tal como se indica en la Figura 5.1. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

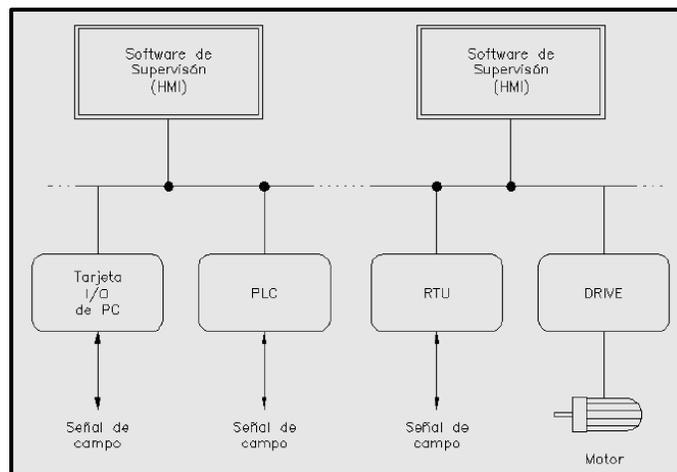


Figura 5.1: Human Machine Interface (HMI).

Fuente: HMI/Introducción HMI.pdf. Introducción a HMI.

<<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>>. [Consulta: 20 de mayo de 2011].

5.1.1.HMI Mitsubishi E300.

Para complementar el trabajo de los PLC y tener un control personalizado de las diferentes etapas del proceso se instalarán y programarán dos pantallas HMI de la marca Mitsubishi, una que compartirán las dos Torres Nacionales y otra las dos Torres Colombianas. Se ha escogido esta marca debido a que presenta mayores ventajas frente a otras existentes en el mercado, las cuales se presentan a continuación:

- Todos los modelos de la Serie E soportan dentro del software de programación aplicaciones multilingües.
- Los terminales de operador de la serie E (excepto MAC E50) pueden comunicarse con *dos componentes de diferentes fabricantes* y al mismo tiempo servir como convertidor de protocolo o como gateway de información.
- La variedad de comunicaciones es posible gracias a las interfaces estándar integradas RS232C y RS422 y a las interfaces adicionales para Profibus/DP y Ethernet.

5.1.2. Software de Programación de las Pantallas HMI Mitsubishi.

El software de programación para todos los terminales de operador de la serie E es el E-Designer el cual dispone de varias características que simplifican el proceso de trabajo, como por ejemplo el gestor de bloque que representa la aplicación gráficamente de forma esquemática simplificando y acortando la elaboración y comprobación. Sus principales características se muestran a continuación:

- Soporta en el escritorio los siguientes idiomas: alemán, inglés, español, italiano, francés y sueco.
- Pleno soporte de las funciones de edición de Windows (ejemplo: cortar, copiar, pegar, etc.).

- Numerosas funciones de documentación y almacenamiento.
- Pueden editarse simultáneamente proyectos diferentes.
- Soporte multilingüe con hasta 10 idiomas en la aplicación.

5.1.3. Pantalla HMI Torres Nacionales.

Como ya se explicó anteriormente, las Torres Nacionales (511-003 y 511-004) compartirán tanto un PLC como una pantalla HMI Mitsubishi E300, por lo que la conexión entre ellos se lo hará a través de un cable RS422 que pertenece al controlador 1 (COM 1) de la pantalla HMI tal como se muestra en la Figura 5.3.



Figura 5.2: Controlador para la conexión con el PLC.

5.1.4. Pantalla HMI Torres Colombianas.

Las Torres Colombianas (511-005 y 511-006) al igual que las Torres Nacionales compartirán una pantalla HMI Mitsubishi, pero al tener un PLC independiente para cada una, la conexión entre ellos será mediante un cable RS422 que pertenece al controlador 1 (COM 1) de la pantalla HMI que a su vez controlará las funciones de la Torre 511-005, y un cable RS232 del controlador 2 (COM 2) que controlará las funciones de la Torre 511-006, tal como se muestra en la Figura 5.4.

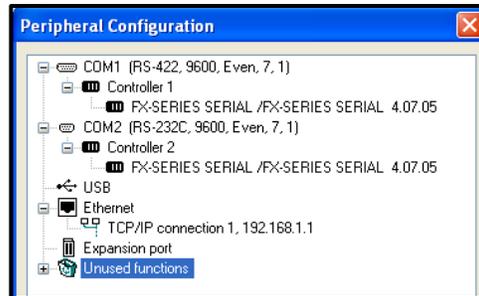


Figura 5.3: Controladores para la conexión con el PLC.

El proceso que cumplen las cuatro torres de inyección es muy similar, lo que permite tener pantallas iguales para cada una; por esta razón, solo se explicará la programación de las pantallas de la Torre 511-006.

Habrán un total de treinta y un pantallas, una pantalla principal, trece secundarias para cada torre y tres de alarmas para las dos torres. Como se puede observar en la Figura 5.5 la pantalla principal únicamente contiene dos recuadros donde se indica el nombre de cada Torre; utilizando las teclas ← y → de la pantalla HMI Mitsubishi se puede seleccionar una de las dos opciones y dirigirse hacia sus pantallas secundarias.

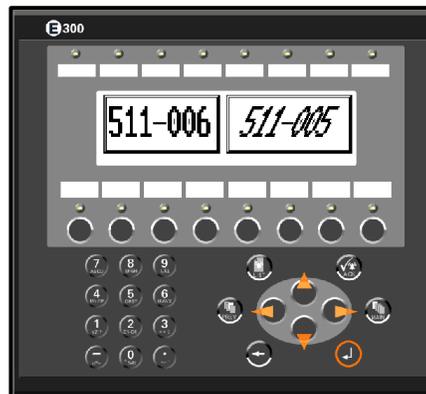


Figura 5.4: Pantalla Principal Torres 511-005 y 511-006.

La primera pantalla secundaria que se observa es la del Menú Principal de la Torre elegida, esta pantalla a su vez tiene cinco submenús: Automático (OPERAC AUTOMA), Datos de la producción (DATOS PRODUC), Calibración (CALIBR SISTEM), Manual (OPERC MANUAL) y Mantenimiento (MANTTO SISTEM), que se muestra en la Figura 5.6.



Figura 5.5: Menú Principal Torre 511-006.

5.1.4.1. Submenú Automático (OPERAC AUTOMA).

En esta pantalla se puede modificar el tiempo de espumado en el cuadro de texto correspondiente:

“El Tiempo de Espumado o de Curado” es el tiempo que necesita el poliuretano luego de ser inyectado en el gabinete del refrigerador para que pueda solidificarse.

Adicionalmente se tienen las opciones CALENTAMIEN (Calentamiento), BANDA ENTRA y BANDA SALE tal como se puede observar en la Figura 5.7.



Figura 5.6: Operación Automática.

Con las opciones BANDA ENTRA y BANDA SALE se introduce o retira el gabinete de la torre respectivamente mediante el movimiento de la banda, CALENTAMIEN en cambio activa una marca en el programa del PLC que inicia el proceso de censado de temperatura de los módulos analógicos.

5.1.4.2. Submenú Datos de la Producción (DATOS PRODUC).

En este submenú se pueden apreciar diferentes cuadros de texto en los que se indican los datos de producción por turno, producción

diaria, mensual y actual, tal como se muestra en la Figura 5.8; además existen las opciones RESET TURNO, RESET DIARIO, RESET MENSUAL y RESET TOTAL para “poner a cero” los contadores de todos estos registros.



Figura 5.7: Pantalla del Submenú Datos de la Producción.

5.1.4.3. Submenú Calibración (CALIBR SISTEM).

El submenú Calibración permite mediante cuadros de texto ingresar los límites “superior” e “inferior” de la plataforma superior macho y los límites de “adentro” y “afuera” de los muros (las Torres Nacionales no cuentan con esta opción); para que estos elementos puedan llegar a los valores establecidos por el operador en estos cuadros de texto existen las opciones IR A MEDIDA de cada uno. La Figura 5.9 muestra además las opciones MANUAL/AUTO para cambiar el modo de operación (automático o manual) y ABRE MAQUIN (abre máquina) que lleva a la “posición cero” a los elementos de la torre para iniciar nuevamente el proceso.



Figura 5.8: Submenú Calibración.

5.1.4.4. Submenú Manual (OPERC MANUAL).

Banda Manual (BANDA MANUAL), Molde Manual (MOLDE MANUAL), Manual Automático (MANUAL AUTOMA) y Temperatura (TEMPERATURA) son las opciones que presenta el submenú manual, Figura 5.10. Al elegir Banda Manual se tiene una nueva

pantalla en la cual existen opciones para activar a la banda en cualquiera de los dos sentidos de giro. Con Molde Manual se dirige al submenú en el que se cuenta con tres opciones: SUBE, LENTO y BAJA con las que se da movimiento a la plataforma superior ya sea hacia arriba o hacia abajo con velocidad normal o lenta. La opción Manual/Automático como ya se explicó anteriormente, permite cambiar el modo de operación de la Torre de Inyección.



Figura 5.9: Submenú Operación Manual.

Por último, Temperatura es otro submenú que tal como se muestra en la Figura 5.11 permite visualizar los valores de temperatura que presentan los sensores instalados en los muros, piso y tapa de la torre de inyección. Además, gracias a los cuadros de texto situados al lado derecho de cada valor actual medido se pueden modificar los nuevos valores límite de temperatura de cada elemento.



Figura 5.10: Submenú Temperatura.

En la Figura 5.12 se puede apreciar una de las opciones del submenú TEMPERATURA que consiste en unas barras que indican el valor actual de la temperatura de cada sensor.

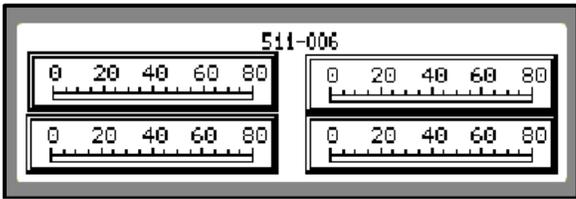


Figura 5.11: Opción "BARRA" del Submenú Temperatura.

5.1.4.5. Submenú Mantenimiento (MANTTO SISTEM).

La pantalla Mantenimiento presenta tres opciones: SEGURIDAD, CALIBR SISTEM (Calibración del sistema) y PANTALLA. Al seleccionar la opción Seguridad se muestra un submenú con las opciones ENTRA CLAVE, SALE CLAVE y CAMBIA CLAVE, con las que se pueden ingresar las claves necesarias según el nivel de jerarquía del operador para modificar ciertos parámetros del proceso, salir del nivel de seguridad y cambiar las claves respectivamente. La opción Pantalla permite modificar el contraste, así como el encendido y apagado de la luz de fondo y la opción Calibración del sistema, se explicó anteriormente en el punto 5.1.4.3.

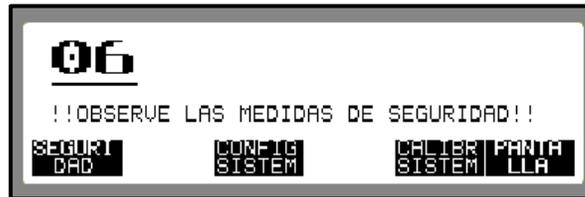


Figura 5.12: Submenú Mantenimiento.

5.2. Diseño de la Red.

En este trabajo de graduación se realizará una red de datos entre los controladores lógicos programables, HMI y drivers o variadores de frecuencia, para posteriormente con los datos de las diferentes variables obtenidas del proceso automatizado, montar un sistema SCADA. Para realizar el diagrama esquemático de la red, se tomó como referencia la normativa americana ANSI/ISA 5.3 para los símbolos de control, instrumentación y sistemas computarizados.

En la Figura 5.13 se puede visualizar el diagrama de la red realizada, el PLC de la Torre Colombiana 511-005 representa la estación Esclavo y tendrá en red al variador de frecuencia que controla la velocidad y sentido de giro del motor de la plataforma superior “macho” tanto de ésta como de la Torre Nacional 511-004, que representa a la estación Máster; por otro lado, el PLC perteneciente a las Torres Nacionales se conectará en red al PLC que corresponde a la Torre Colombiana 511-005 y a través de él enviará los datos al driver que ya se encuentra en red con

esta Torre. Para obtener los datos de las variables de la Torre Colombiana restante (511-006) se utilizará la pantalla HMI, la cual mediante una programación apropiada podrá enlazar a las Torres Colombianas y almacenar las marcas y registros de la Torre 511-006 en el PLC de la Torre 511-005.

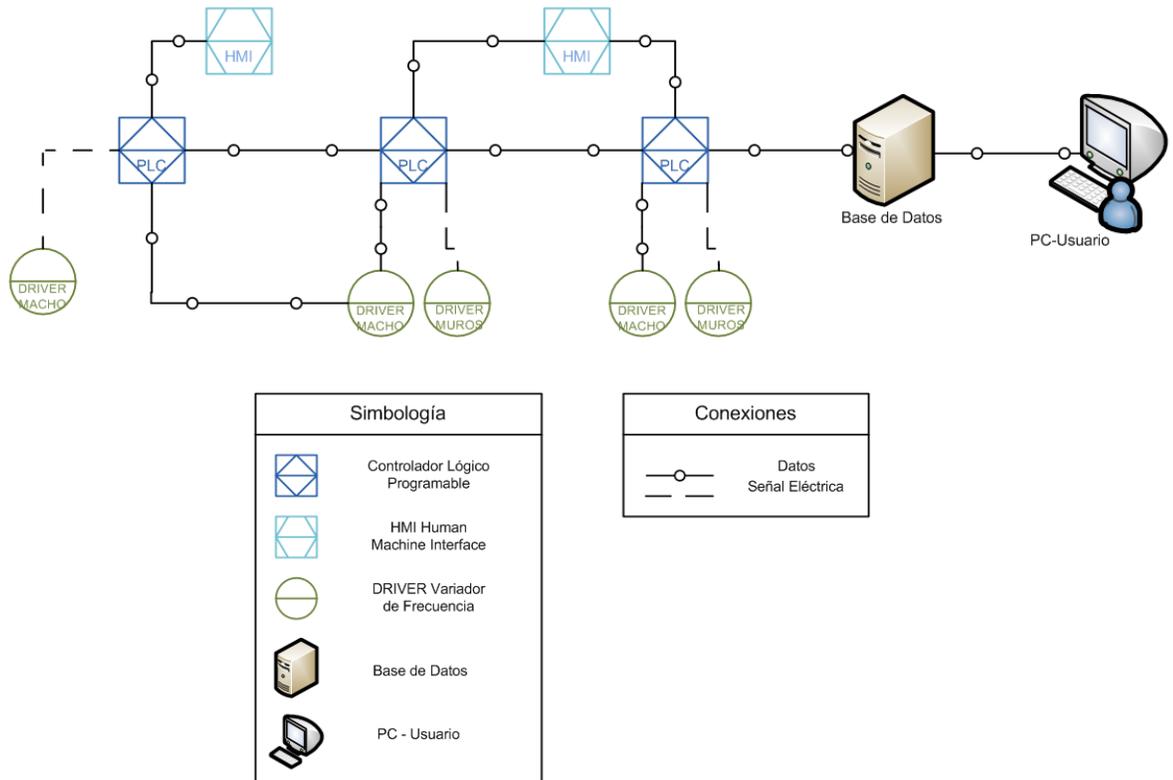


Figura 5.13: Diagrama esquemático de la red.

El driver del motor del macho de la Torre Nacional 511-003 estará conectado eléctricamente de forma directa sin red al PLC, al igual que los dos drivers de los motores de los muros de cada Torre Colombiana. Finalmente, todas las variables obtenidas de la red serán almacenadas en una base de datos y podrán ser visualizadas en una PC por el usuario.

5.2.1.Red PLC-Driver

Antes de realizar las líneas de programa para conectar en red a un PLC con un variador de frecuencia Mitsubishi, y dependiendo del modelo y serie

empleados, se deben ajustar los siguientes parámetros directamente en el variador de frecuencia (Tabla 5.1):

Parámetro	Ajustar a
79	0
117	Depende del número de estación del driver o PLC (0, 1, 2...)
118	192
119	1
120	2
121	1
122	0,2
123	9999
124	1
340	1
502	0
540	0
549	0

Tabla 5.1: Parámetros de ajuste para la red entre el driver y el PLC.

Posteriormente se debe cablear la tarjeta de red utilizada en el PLC con los terminales del driver tal como se indica en la Figura 5.14, para el modelo de driver empleado en este trabajo de graduación, se necesita un conector RJ45.

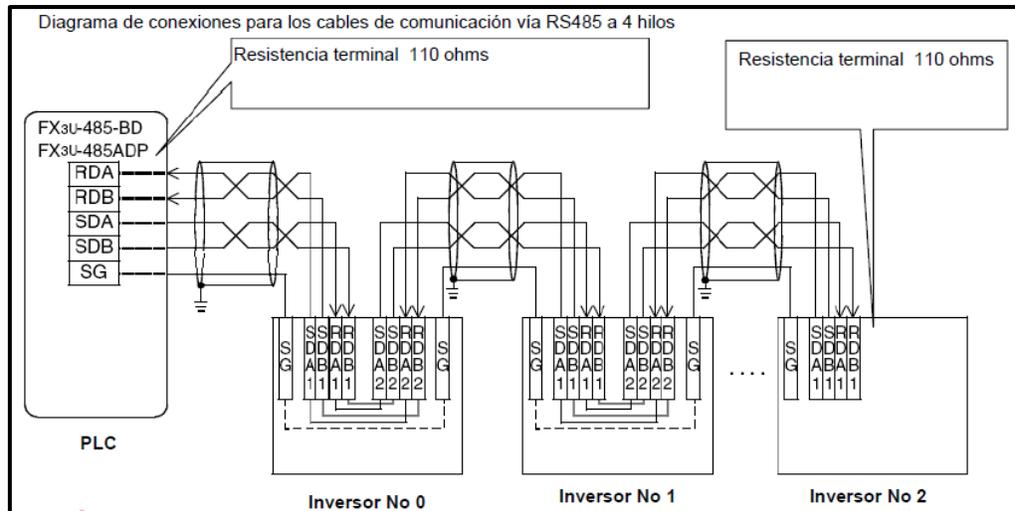


Figura 5.14: Diagrama de conexiones.

Fuente: Mitsubishi Electric Automation Systems, Red RS-485, 2011, Pág 2.

5.2.1.1. Líneas de programación

Al estar conectados en red el PLC de la Torre Nacional 004 y el de la Torre Colombiana 005 para utilizar un mismo driver, se requerirá enviar a éste el valor de frecuencia que utilizará cada motor, puesto que el funcionamiento mecánico y las características de los motores de las torres son diferentes. Para ello se requiere de una línea de código en donde el primer parámetro será la instrucción de control del driver, en este caso IVDR (Control de operación de un Inverter), luego se indicará por medio de una constante el número de la dirección del driver, después el código de instrucción el cual será HED para establecer un valor de frecuencia al driver, el valor de frecuencia que se le asignará y finalmente el número del canal en uso. Esto se puede ver en la Figura 5.15:



Figura 5.15: Instrucción HED para establecer frecuencia.

Por medio de otro grupo de instrucciones se pueden obtener los valores de frecuencia, corriente y voltaje que están en el driver en un instante determinado. Estas instrucciones tienen un formato similar a la que se usa para establecer frecuencia, pero en este caso el parámetro de control de driver será ICVK (Monitorear la operación de un driver), el código de instrucción: H6F para leer la frecuencia, H70 para corriente y H71 para voltaje, y el cuarto parámetro será el

registro en donde se almacenarán estos valores, tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura 5.16: Instrucciones para monitorear valores de ciertos parámetros del Driver.

Las diferentes funciones que puede tener el parámetro de control de driver se muestran en la siguiente tabla:

Función	FX3G
Monitorear la operación de un driver	ICVK
Control de operación de un driver	IVDR
Leer los parámetros de un driver	IVRD
Escribir parámetros en un driver	IVWR
Escribir parámetros en un driver a la vez	IVBWR

Tabla 5.2: Instrucciones de comunicación con el Driver.

Con las frecuencias ya establecidas se procede a controlar la operación del driver, es decir ponerlo en marcha con velocidad normal, media, baja o detener su funcionamiento, esto se realiza utilizando la instrucción IVDR y el comando HFA (ejecutar el comando de escritura) como se muestra en la Figura 5.17:



Figura 5.17: Instrucciones para controlar la operación del Driver.

El cuarto parámetro en esta instrucción será una constante que indica el tipo de funcionamiento que tendrá el driver y la cual está dada por una cadena de ocho bits que tendrá que ser convertida a un número decimal. Cada bit representa un comando diferente como se muestra en la Tabla 5.3:

Bit	Descripción
b0	AU Paro de la operación
b1	Rotación hacia adelante
b2	Rotación en reversa
b3	RL (Operación en velocidad baja)
b4	RM (Operación en velocidad media)
b5	RH (Operación en velocidad alta)
b6	RT (Selección de la segunda función)
b7	MRS (Salida de Stop)

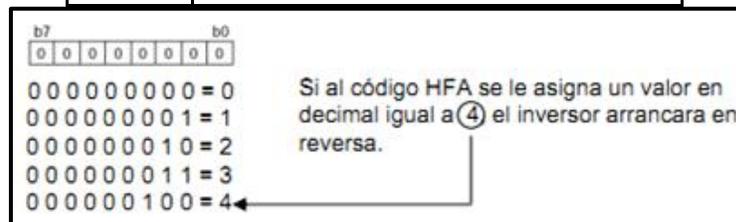


Tabla 5.3: Descripción del código de arranque HFA.

De esta forma si se quiere que el driver funcione con rotación hacia adelante a velocidad lenta se debe dar un valor de uno tanto al bit b1 como al b3 quedando como resultado la cadena binaria:

$$00001010_2 = 10_{10}$$

En este caso se debería colocar la constante k10 en el cuarto parámetro.

5.2.2.Red PLC-PLC

El tipo de red que se empleará para los PLC es el N: N que permite la conexión de hasta ocho PLC FX a través de dispositivos vinculados entre sí mediante comunicación RS-485.

- Uno de los tres modelos se puede seleccionar en función del número de dispositivos que se van a conectar (con excepción de FX1S y FX0N PLC).
- El enlace de datos se actualiza automáticamente entre un máximo de ocho PLC FX.
- La distancia de extensión total es de 500m (1640 '5 ") como máximo.

La Figura 5.18 muestra una síntesis de la conexión en red tipo N:N de los PLC de la serie FX, se puede observar un PLC Máster y las Estaciones Esclavo #1 y #2, la distancia máxima que puede soportar la conexión de esta red (500m) y la lista de marcas y registros que permiten llevar información de un PLC a otro con la dirección de envío.

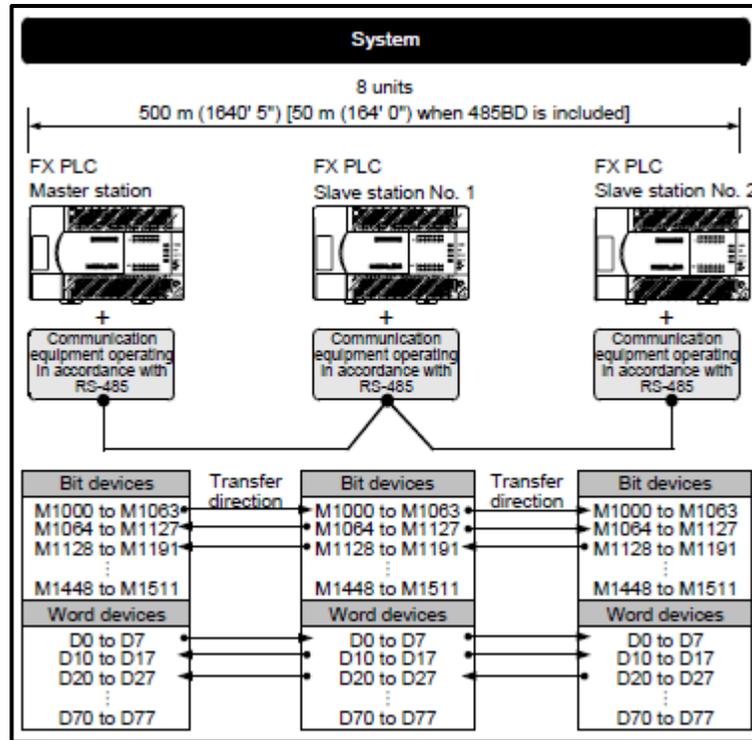


Figura 5.18: Red N:N.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS USER'S MANUAL - Data Communication Edition, 2009, Pág B-3.

5.2.2.1. Especificaciones

La comunicación se realiza de acuerdo a las especificaciones que se muestra en la siguiente tabla, cabe recalcar que elementos tales como la velocidad de transmisión no se pueden cambiar.

Item	Especificaciones	Comentarios
Número de unidades conectables	8 máximo	
Estándar de transmisión	Estándar RS-485	
Distancia total máxima	500 m (1640 '5 ") o menos [50 m (164 '0 ") o menos cuando 485BD está incluido en el sistema]	La distancia varía en función del tipo de equipo de comunicación
Tipo de protocolo	N:N Network	
Método de comunicación	Half-dúplex, comunicación bidireccional	
Tasa de baudios	38400 bps	

Tabla 5.4: Especificaciones de la Red N:N.

5.2.2.2. Patrones y número de puntos de enlace

El número de puntos de enlace ocupados varía en función del número de estaciones esclavos utilizados. Por ejemplo, cuando tres estaciones esclavo están conectados en "Pattern 1", las marcas M1000 a la M1223 y los registros D0 al D33 están ocupados, los desocupados pueden ser utilizados como dispositivos generales de control.

Los dispositivos de enlace para las estaciones esclavo sin conexión se pueden utilizar como dispositivos generales para el control, pero se recomienda dejarlas desocupadas para estaciones esclavo que puedan ser añadidas posteriormente. La lista de marcas y registros de acuerdo al número de "Pattern" y a la estación master o esclavo se muestra en la siguiente tabla:

Station No.		Pattern 0		Pattern 1		Pattern 2	
		Bit device (M)	Word device (D)	Bit device (M)	Word device (D)	Bit device (M)	Word device (D)
		0	4 in each station	32 in each station	4 in each station	64 in each station	8 in each station
Master station	Station No. 0	—	D 0 to D 3	M1000 to M1031	D 0 to D 3	M1000 to M1063	D 0 to D 7
	Station No. 1	—	D10 to D13	M1064 to M1095	D10 to D13	M1064 to M1127	D10 to D17
	Station No. 2	—	D20 to D23	M1128 to M1159	D20 to D23	M1128 to M1191	D20 to D27
	Station No. 3	—	D30 to D33	M1192 to M1223	D30 to D33	M1192 to M1255	D30 to D37
	Station No. 4	—	D40 to D43	M1256 to M1287	D40 to D43	M1256 to M1319	D40 to D47
	Station No. 5	—	D50 to D53	M1320 to M1351	D50 to D53	M1320 to M1383	D50 to D57
	Station No. 6	—	D60 to D63	M1384 to M1415	D60 to D63	M1384 to M1447	D60 to D67
	Station No. 7	—	D70 to D73	M1448 to M1479	D70 to D73	M1448 to M1511	D70 to D77

Tabla 5.5: Patrones y número de puntos de enlace.

Fuente: MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, FX SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS USER'S MANUAL - Data Communication Edition, 2009, Pág B-10.

5.2.2.3. Diagrama de conexiones

Para poder montar la red entre los PLC se deben utilizar dos tipos de tarjetas de red propias de Mitsubishi, en el caso del PLC FX1N que se utilizará para las Torres Nacionales 511-003 y 511-004 se empleará la tarjeta FX-1N-485 BD que se muestra en la Figura 5.19.



Figura 5.19: Tarjeta de red FX-1N-485 BD.

Para el PLC FX3G de la Torre Colombiana 511-005 se utilizará la tarjeta de red FX-3G-485 BD que se muestra en la Figura 5.20.



Figura 5.20: Tarjeta de red FX-3G-485 BD.

Fuente: eibmarkt. PLC communication module - FX3G-485-BD.

<<http://www.eibmarkt.com/dwen/products/NS6101728.html>>. [Consulta: 8 de enero de 2012].

Estas tarjetas de red se insertan en la parte superior de cada PLC y se deben cablear entre sí según el diagrama de la Figura 5.21:

valor, es decir, la constante k0 (cero) y se envía al registro D8176. La instrucción que sigue es la que indicará el número de esclavos que tendrá la red enviando una constante al registro D8177, que para este caso será dos. También se debe escoger el tipo de patrón deseado para el dispositivo tal como se vio en la Tabla 5.5. Se asignará también un número de intentos y un tiempo de comunicación (en unidades de 10ms) enviando constantes a los registros D8179 y D8180 respectivamente.

Para la configuración de los PLC que funcionarán como Esclavos se necesita únicamente de una línea de instrucción en la cual, por medio de una constante, se asigna un número de estación al registro D8176, como se puede observar en la figura que sigue:



Figura 5.23: Configuración de Estación Esclavo.

En este caso se tendrá una sola estación Esclavo que será el PLC de la Torre Colombiana 511-005.

Cuando la estación Maestro y la Esclavo se hayan configurado correctamente se utilizarán las marcas y registros disponibles para enviar y recibir información entre un PLC y otro. Por ejemplo si se enciende una bobina en el PLC Maestro, ésta abrirá o cerrará un contactor en la estación Esclavo. De la misma forma ocurre con los registros, si se asigna un valor a un registro determinado en una estación, el mismo registro en la otra estación tomará el valor asignado.

Puesto que no hay muchos registros destinados para la red y se requieren enviar varios valores de variables como temperaturas y tiempos, se puede hacer una multiplexación para enviar varios datos

utilizando únicamente dos registros y un temporizador. Para ello se le asigna un tiempo específico al temporizador de acuerdo del número de datos que se vayan a enviar, por ejemplo si se envían seis datos, el temporizador puede contar hasta 18, es decir en el tiempo cero se enviará el primer dato, 3 décimas de segundo después se enviará el segundo y así sucesivamente hasta enviar todo el grupo de datos deseado. Esto se puede ver en la Figura 5.24:

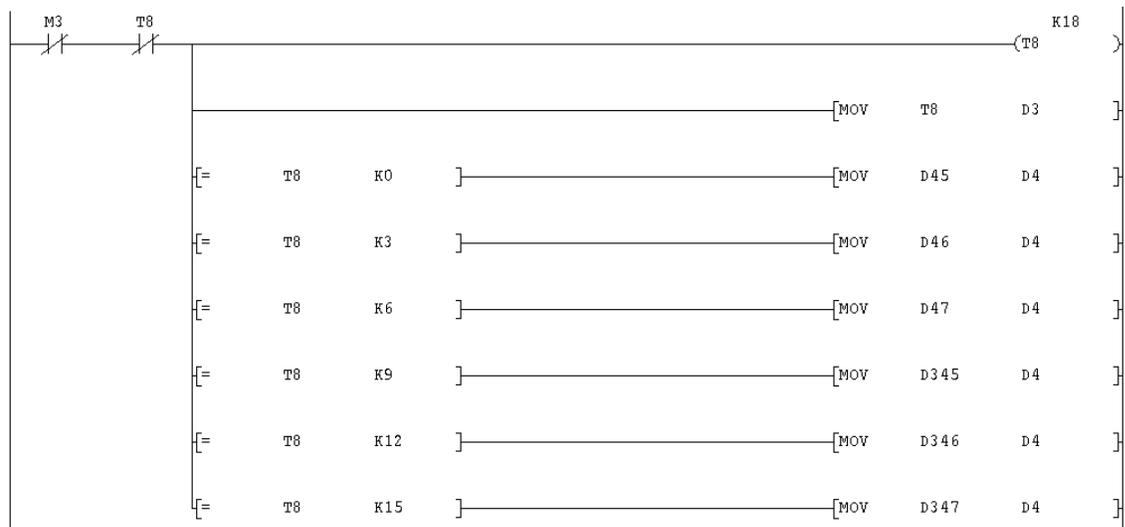


Figura 5.24: Multiplexación por división de tiempo.

Para recibir los datos en la otra estación se realiza el mismo procedimiento, pero esta vez moviendo los registros de la red a registros propios del programa.

5.2.3.Red entre las Torres 511-006 y 511-005 a través del HMI

Debido a que la Torre Colombiana 511-006 no se puede comunicar en red por medio de la tarjeta BD485 con la Torre 511-005, la red entre estas dos torres se la realizará a través de la pantalla que comparten para enviar los datos de temperaturas, tiempos, distancias y ciertas marcas.

La red se realizará utilizando la ventana Controller Data Exchange del menú Functions, en donde se tienen una serie de parámetros a ser llenados; el

primer parámetro es el Área, es decir, la marca o registro desde donde se comenzará a enviar datos indicando el controlador al cual está siendo conectado el PLC y la marca o registro desde el cual se recibirán el o los datos. En la parte de la derecha se indicará el modo de variable, Digital o Analógica, y el número de datos que se enviarán a partir del dato ingresado en la sección Área.

Lo siguiente será indicar si los datos se enviarán durante un intervalo de tiempo determinado o cada vez que se encienda una señal, además se debe indicar el valor de este intervalo de tiempo y/o la señal de aviso para que se envíe un nuevo dato. Se puede seleccionar si se enviará desde el PLC1 al PLC2 o viceversa, finalmente la opción Update guarda los cambios. En la Figura 5.25 se puede observar un claro ejemplo de esta red, en donde se han enviado cuatro registros analógicos a partir de D51 hasta D54 y serán recibidos en los registros D61, D62, D63 y D64, ya que su envío se lo realizará cada segundo desde el PLC conectado al controlador 2 hacia el PLC conectado al controlador 1 de la pantalla.

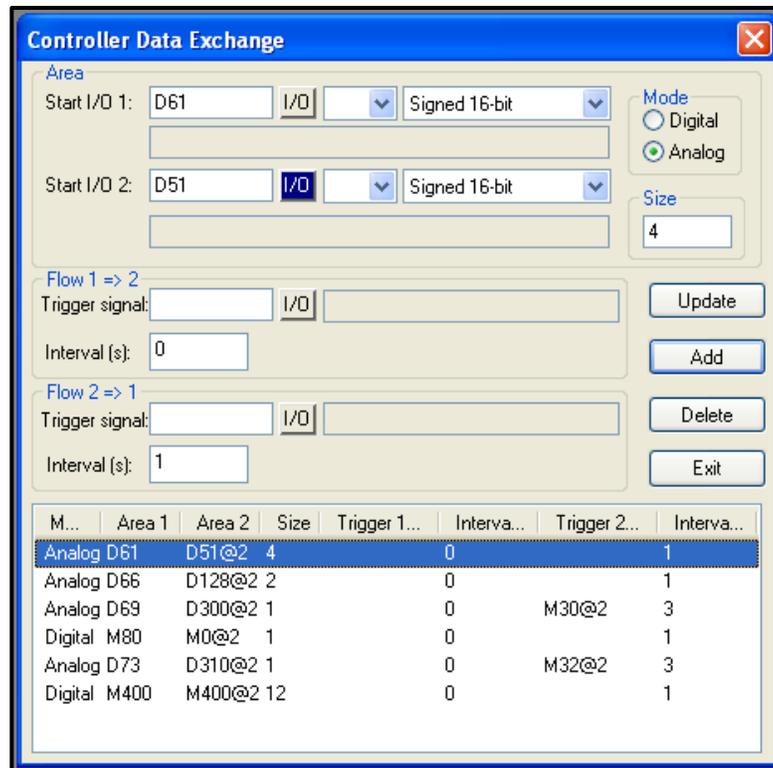


Figura 5.25: Ejemplo comunicación en Red entre dos PLC utilizando la pantalla que comparten.

CAPÍTULO VI

SISTEMA SCADA

6.1. Sistemas SCADA. Definición.

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos. No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior.

Consisten en una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems de SCADA involucra muchos subsistemas. Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se

ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

6.1.1. Funciones principales del sistema

- *Supervisión remota de instalaciones y equipos:* permite al operador conocer el estado de las instalaciones y equipos ubicados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- *Procesamiento de datos:* la información del conjunto de datos adquiridos es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

- *Visualización gráfica dinámica:* gráficos que pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- *Generación de reportes:* el sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- *Representación de señales de alarma:* señales visuales o sonoras con las que se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable.
- *Almacenamiento de información histórica:* se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
- *Programación de eventos:* se refiere a la posibilidad de programar opciones que brinden reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

6.1.2. Características

Existen cuatro características principales que permiten que la instalación de un Sistema Scada sea perfectamente aprovechada:

- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas (Active X para ampliación de prestaciones, OPC para comunicaciones con terceros, OLE-DB para comunicación con bases de datos, lenguaje estándar integrado como VB o C, acceso a funciones y datos mediante API).
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Ser independiente del sector y la tecnología.

- La topología de un Sistema Scada (su distribución física) variará adecuándose a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionarán bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo; otros necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso, etc.

6.2. MX OPC Server

Para la elaboración del Sistema SCADA de este trabajo de graduación se utilizará el software Mitsubishi MC-WorX, el cual permite elaborar una base de datos con las variables provenientes de cada PLC instalado en las Torres de Inyección y con ella visualizar las alarmas y los parámetros importantes en pantallas propias del software. Adicionalmente se necesita de un servidor que conecte al PLC con el computador para obtener los valores de las variables, en este caso se usará el Mx OPC Server propio de Mitsubishi, tal como se puede apreciar en la Figura 6.1.

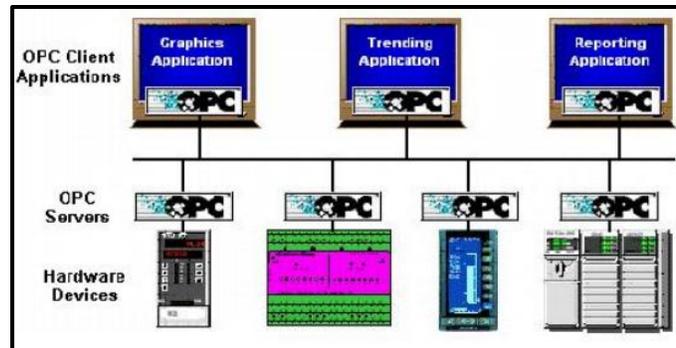


Figura 6.1: Arquitectura OPC cliente-servidor.
Fuente: Mitsubishi, "Mx OPC Configurator", 2009, Pág. 9.

Para la adquisición de datos, utilizando el OPC Server, se debe recurrir al programa MX OPC Configurator ubicado en el menú inicio, una vez en el programa, se creará una nueva configuración de base de datos, para esto se debe seleccionar Nuevo (New) en el menú Archivo (File), se escoge una ubicación, un nombre y se escoge guardar. Con la base de datos guardada se procede a configurar el Address Space, el cual se ubica en la parte izquierda de la ventana y se muestra en forma de árbol. El Address Space contiene los dispositivos "Mx

Device” (que representan a cada PLC) que se conectan a un puerto diferente del computador (COM) y contienen las variables con los valores del PLC. Esto se puede observar en la Figura 6.2:

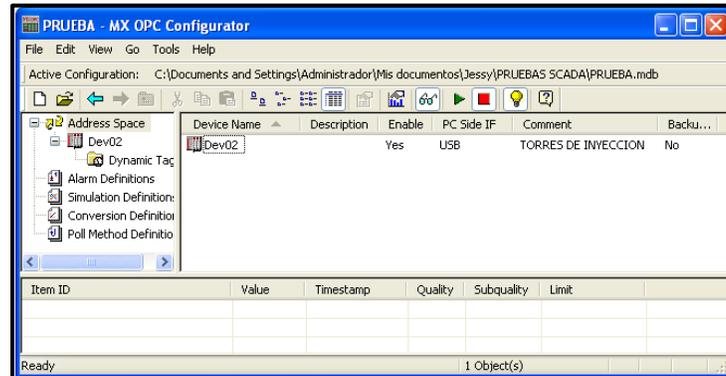


Figura 6.2: Mx OPC Configurator.

Para crear un nuevo “Mx Device” se hace click derecho en Address Space y se selecciona la opción New Mx Device con la cual se despliega una ventana de configuración del dispositivo donde se escoge el nombre, tipo de comunicación, puerto, velocidad de transmisión, entre otros; como se puede observar en la Figura 6.3.

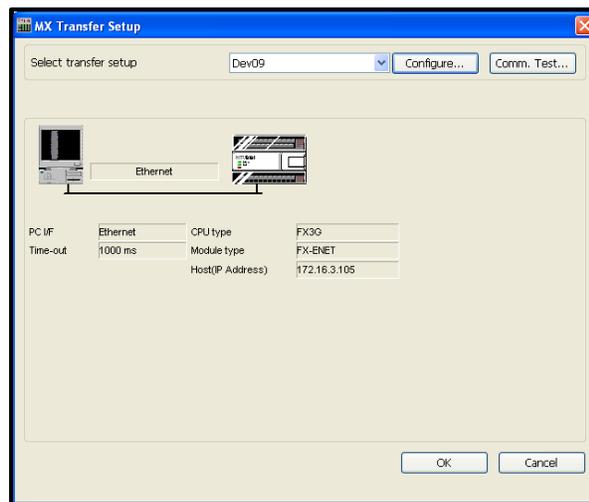


Figura 6.3: Configuración Mx Device.

Cuando el dispositivo esté completamente configurado aparecerá una ventana de propiedades básicas, en donde se permite modificar el nombre del dispositivo, el tipo y puerto (COM) de conexión física, la descripción y un comentario (opcional)

acerca del dispositivo. Seleccionando la pestaña Avanzado se muestran otras opciones de configuración como por ejemplo “Habilitar el dispositivo” o “Simulación”, tiempo y número de intentos para la conexión con el PLC, entre otros. Una vez configuradas todas las opciones se selecciona Guardar (Save) para que el nuevo dispositivo aparezca dentro del árbol de control de Address Space. Esto se muestra en la Figura 6.4:



Figura 6.4: Propiedades de los dispositivos.

Una vez configurado el nuevo dispositivo se crean las etiquetas de datos (Data Tags) las cuales representan un registro o rango de registros del dispositivo, además tienen un nombre y una descripción que los caracteriza y con los cuales son llamados por el cliente. Para crear un nuevo Data Tag se hace click derecho en el dispositivo creado dentro del árbol de control y se selecciona New Data Tag con lo cual se desplegará una ventana de propiedades en donde se le asigna un nombre y descripción a la etiqueta de datos además de los parámetros de las variables adquiridas del PLC: I/O Address, Derechos de acceso (Read, Read/Write, Write) y el tipo de dato, tal como se observa en la Figura 6.5.

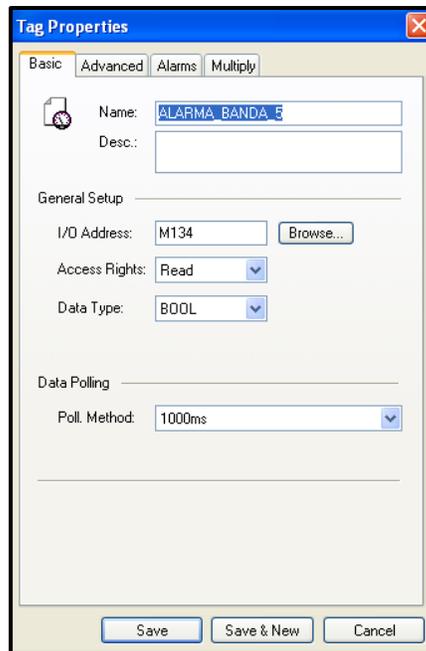


Figura 6.5: Propiedades de Etiquetas de Datos.

Finalmente para activar la base de datos se selecciona la opción Make Active del menú Estándar (ícono de la bombilla) y se procede a visualizar los valores de las variables seleccionando la opción Start (Triángulo verde) y Monitor View, de esta manera se pueden monitorear los datos de los PLC conectados a cada Torre de Inyección como se puede ver en la Figura 6.6.

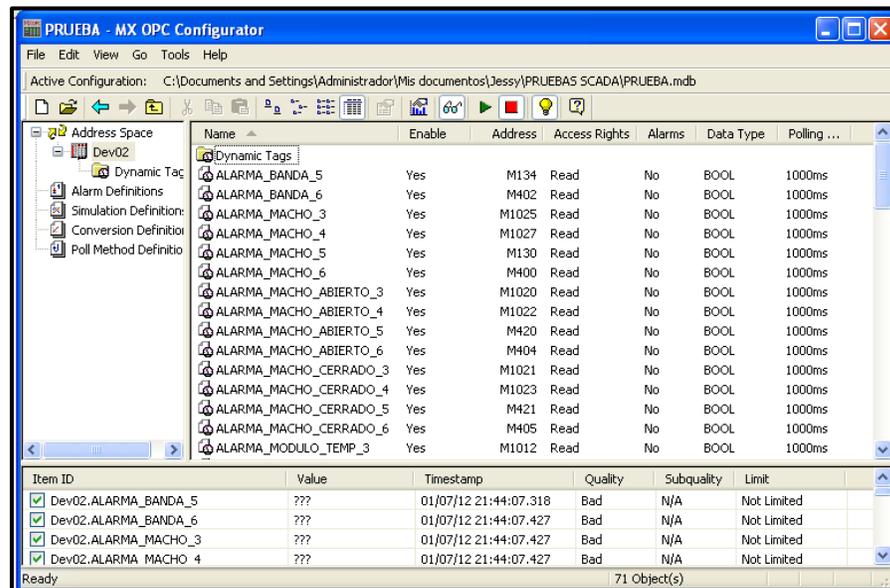


Figura 6.6: Monitoreo de valores de variables de dispositivo.

6.3. MC-WorX

Se programará el Sistema SCADA utilizando el Software Melsoft MC-WorX, propio de la casa Mitsubishi. MC-WorX es una aplicación para Sistemas de Control y Adquisición de Datos (SCADA) basado en las distintas especificaciones de OPC que comprende el acceso a datos en tiempo real, datos históricos, visualización y monitoreo, manejo de alarmas y eventos, generación de tendencias y registro de datos de procesos sencillos o complejos.

La arquitectura de MC-WORX permite utilizar directamente la base de datos (etiqueta) ya creado dentro del servidor OPC sin tener que volver a crear una base de datos de etiqueta dentro de las aplicaciones cliente. MC-WORX tiene tres aplicaciones principales, cada uno diseñado para una tarea particular:

- GraphWorX™
- TrendWorX™
- AlarmWorX™

6.3.1. GraphWorX™

GraphWorX es una interfaz de visualización gráfica que proporciona capacidades avanzadas de animación, utiliza OPC Data Access para obtener datos en tiempo real desde los servidores OPC que impulsan la dinámica y las animaciones en la pantalla. La programación está orientada a objetos.

Puede funcionar como un contenedor ActiveX, es decir, los controles ActiveX se pueden insertar en él; y como un control ActiveX, es decir, se pueden insertar en otras aplicaciones. Hace uso de las tecnologías de documento ActiveX, por lo que se puede ejecutar de forma nativa en otras aplicaciones (por ejemplo Internet Explorer), pero también puede funcionar al revés, lo que permite insertar a otras aplicaciones en una pantalla GraphWorX.

GraphWorX implementa tres lenguajes de programación, dando al usuario una rica selección de lenguajes de scripting conocido. Los idiomas soportados son VBA (Visual Basic para aplicaciones), VBScript y JScript.

6.3.2. TrendWorX™

TrendWorX es un completo sistema de registro de datos de componentes, utiliza OPC Data Access para obtener datos en tiempo real desde los servidores OPC, y utiliza OPC Historical Data Access para proporcionar datos a las aplicaciones cliente. Los principales componentes de TrendWorX son el Data Logger, Trend Viewer, y las herramientas de información.

TrendWorX SQL Data Logger es una aplicación cliente OPC Data Access que almacena los datos proporcionados por el servidor OPC en diferentes sistemas de bases de datos (Access, SQL Server / MSDE y Oracle) usando tecnologías tales como OLE-DB/ADO. Los datos almacenados se pueden proveer a diferentes clientes, tales como Trend Viewer y las herramientas de información, utilizando OPC Historical Data Access como capa de comunicación.

Trend Viewer es a la vez un OPC Data Access y OPC Historical Data Access client, que se conecta a cualquier tipo de servidor por separado o simultáneamente. Puede visualizar los datos en diferentes tipos de gráficos, y ya sea en tiempo real o datos históricos.

TrendWorX Reporting Tools conecta a la base de datos en la que el SQL Data Logger los tiene almacenados y solicita los datos necesarios y un formato de salida, tal como Excel, HTML, texto plano, o enviarlo a la base de datos ODBC accesible.

6.3.3. AlarmWorX™

AlarmWorX es una colección de alarmas OPC y eventos de componentes, los principales son:

- Alarm Server.- es un cliente OPC Data Access que genera alarmas basadas en los datos proporcionados por el servidor OPC Data Access.
- Alarm Viewer.- es un ActiveX que se puede insertar en GraphWorX (por ejemplo) y mostrar el estado actual de todas las alarmas configuradas. Además, proporciona capacidades de filtrado que permiten mostrar a las alarmas en función de la pantalla actual.
- Alarm Logger.- es una alarma OPC y eventos de cliente que toma la información proporcionada por un número de clientes OPC Data Access y los registros de esa información en una serie de base de datos.
- Alarm Reporter.- es un ActiveX que se puede insertar en GraphWorX (por ejemplo) y mostrar alarmas y eventos que han sido registrados por el Alarm Logger.

6.3.4. Otros componentes

Además de las tres aplicaciones principales, existen otras creadas por Mitsubishi, que pueden ser utilizadas como una parte integral de MC-WORX.

- DataWorX™ ofrece una gran variedad de funciones basadas en OPC, tales como redundancia OPC Data Access, registros globales, agregación de datos, etc.
- ScriptWorX™ es un entorno de programación global que puede proporcionar SCADA/HMI a nivel de aplicación de secuencias de comandos. Es la aplicación para la creación y manejo de aplicaciones desarrolladas en Visual Basic.

6.3.5. Descripción Esquemática

Una visión esquemática de los principales componentes de MC-WORX se muestra a continuación en la Figura 6.7.

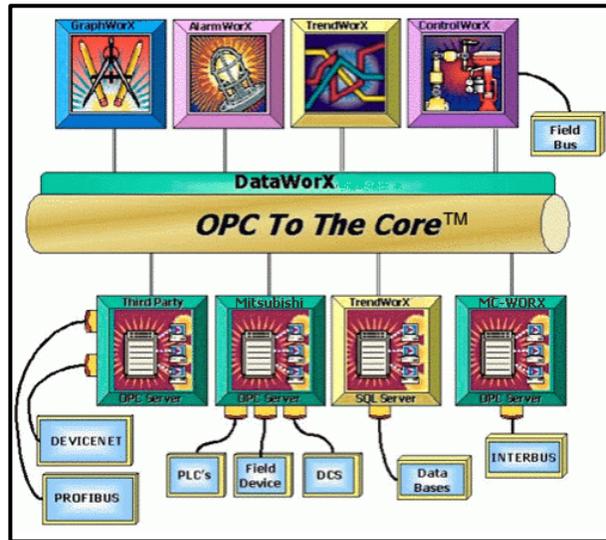


Figura 6.7: MC-WORX Arquitectura.

Fuente: Brendan K. McInerney, Mitsubishi MC-WORX Standard Training Manual, 2005, 1-5.

6.4. Interface Gráfica Sistema SCADA

Luego de definir a todas las variables con el OPC Server, crear la base de datos y realizar el sistema de alarmas, se crearán las pantallas, utilizando el software MC-WorX (explicado en el punto anterior), que servirán de interfaz con el usuario. Se visualizará una pantalla principal con seis botones en la parte inferior, uno para mostrar los parámetros de cada una de las cuatro torres, un botón de Inicio y otro de Alarmas. En caso de activarse alguna alarma se mostrará en la parte superior el código de la torre que produjo la alarma.

Al presionar una de las cuatro opciones de las Torres de Inyección se dirigirá a una nueva pantalla en donde se mostrarán los parámetros de la torre seleccionada, tales como la posición de la plataforma superior Macho, tiempos de polimerización (Curado) y de banda, temperaturas de Puerta, Piso y Muros, funcionamiento de la máquina, Selección Automático o Manual, Inyección de Poliuretano y las causas de una posible alarma. La pantalla de la Torre 511-003 se muestra en la siguiente figura:



Figura 6.8: Pantalla parámetros de Torre 511-003.

La pantalla de cada torre contiene un ícono que al presionarlo desplegará una nueva pantalla en donde se pueden observar los Reportes Históricos de la Torre de Inyección seleccionada, un botón para regresar a la pantalla anterior y otro que permite al usuario abrir un registro de Excel con los datos históricos almacenados hasta el momento. Esta pantalla se muestra en la figura que sigue:



Figura 6.9: Pantalla Reportes Históricos de Torre 511-003.

CAPÍTULO VII

PRUEBAS Y RESULTADOS

7.1. Pruebas

En este capítulo se indicarán todas las pruebas que se realizaron para verificar el funcionamiento del sistema de automatización de inyección de poliuretano en la empresa Induglob S.A. De ser favorables los resultados obtenidos se puede garantizar la eficiencia del sistema o en caso contrario, proceder a las rectificaciones necesarias.

7.1.1. Pruebas de Equipos

Son pruebas básicas que se efectuaron a los diferentes elementos que conforman el sistema de automatización para verificar su funcionamiento antes de montarlos en la línea de producción.

En el caso de los PLC, en primer lugar se revisó el correcto funcionamiento de cada una de sus entradas y salidas con la realización de líneas simples de programa, posteriormente se desarrollaron pruebas con brakers, contactores, motores, etc., independientes a los de las torres, cuidando que se cumplan todos los requerimientos programados en el PLC de cada torre de inyección.

Por otro lado se verificó el estado de todos los sensores instalados, por ejemplo, se realizaron varias pruebas con los sensores inductivos de presencia del gabinete en la torre para establecer las distancias a las cuales debe posicionarse el gabinete dentro de ella para que el sensor no tenga problemas en detectarlo. En el caso de los sensores de temperatura (termocuplas tipo J) se revisaron las conexiones al módulo analógico de

adquisición para evitar lecturas erróneas. Los encoders juegan un papel muy importante en la calibración de las distancias que recorre la plataforma superior de cada torre, por lo que se realizaron varias pruebas de funcionamiento tanto en el programa de los PLC como en la lectura de los pulsos de revolución. Y por último se verificó en las líneas de programa, la activación de los fin carrera que representan al punto muerto inferior y al punto muerto superior.

Se cargaron los programas en cada pantalla HMI y se comprobó la correspondencia de marcas y registros con el programa del PLC. Se revisó también la correcta instalación del software del Sistema SCADA en las computadoras en las que se desee monitorearlo.

7.1.2. Pruebas de Conexión

Para el correcto funcionamiento de la red de datos del sistema se realizaron pruebas de cortocircuito en las líneas de comunicación entre los terminales SD y RD para comprobar el envío y recepción de datos.

En el caso de los módulos de expansión de salidas y entradas, módulos analógicos de adquisición de temperatura, sensores como los encoders y las pantallas HMI que utilizan la fuente interna de cada PLC, se verificó la correcta conexión de polaridades antes de energizar el tablero general de conexiones.

Una vez energizado el tablero de conexiones se revisó que cada PLC esté encendido, que las entradas sean activadas de acuerdo al funcionamiento de cada sensor y que las tarjetas de red instaladas en ellos transmitan y reciban datos. También se verificó que las pantallas muestren los valores que se encuentran en el mapa de memorias del programa de cada torre, tales como temperaturas, tiempo de curado o espumado, distancia recorrida por la plataforma superior, entre otras.

Mediante la conexión en red entre los PLC y el software OPC server se realizó la adquisición de los datos las variables del proceso y se los vinculó al sistema de monitoreo.

Se debe recalcar que las pruebas para la red de datos entre el PLC y Variador de Frecuencia se realizaron con elementos independientes a los instalados en las torres de inyección.

7.1.3. Pruebas del Sistema SCADA

En el sistema de monitoreo se verificó la adquisición de los datos en tiempo real, su almacenamiento en la base de datos a través de la presentación de reportes históricos y reportes de alarmas de cada torre ya sea por la activación del pulsante de emergencia o fallas en el funcionamiento de los equipos tales como el variador de frecuencia.

7.2. Resultados

La tabla 7.1 muestra los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron a los diferentes equipos del sistema de automatización:

PLC			
Entradas	Salidas	Alimentación	Software
OK	OK	OK	OK
SENSORES			
Lectura encoder	Termocuplas	Fin carreras	Inductivo presencia del gabinete
OK	OK	OK	OK
PANTALLA HMI			
Comunicación con el PLC	Alimentación	Datos del proceso	Correspondencia de marcas y registros
OK	OK	OK	OK

Tabla 7.1: Resultados de las pruebas de los equipos.

El cableado de los sensores, la instalación de PLC y drivers en el armario general de conexiones y las pruebas de funcionamiento de las torres, tomó un tiempo aproximado de una semana cada una. Los resultados se muestran en las

siguientes figuras, los led verdes indican que los equipos están encendidos mientras que los rojos indican las entradas y/o salidas activadas.



Figura 7.1: PLC Mitsubishi FX-3G, Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura, Módulo Ethernet.



Figura 7.2: PLC Mitsubishi FX-1N, Módulo Analógico de Adquisición de Temperatura.



Figura 7.3: Módulos Mitsubishi de expansión de entradas y salidas, Módulos Analógicos de Adquisición de Temperatura.

En el caso del driver o variador de frecuencia (Figura 7.4) los led rojos indican el modo de funcionamiento y en los display se muestra la frecuencia, voltaje o corriente a la cual trabaja el motor.



Figura 7.4: Variador de Frecuencia Mitsubishi.

La pantalla HMI que se observa en la Figura 7.5, corresponde a las Torres Nacionales 511-003 y 511-004, aquí los led indican el modo de funcionamiento manual o automático, el encendido de niquelinas, modo de calibración y si las temperaturas llegaron al límite establecido por el operador.



Figura 7.5: Pantalla HMI Mitsubishi.

La Torre Nacional 511-004 presentó varios problemas relacionados con el encoder una vez que se terminaron las conexiones. Las distancias de calibración que establecían los operadores mediante la pantalla HMI fallaban con algunos milímetros, sobretodo luego del desmolde posterior a la primera inyección. Luego de varios procedimientos que se efectuaron para tratar de solucionar el problema, se descubrió que las cadenas adaptadas al motor de la plataforma superior estaban flojas y causaban un desequilibrio en la estructura que sostenía al encoder; con la ayuda del personal de mantenimiento de la empresa se pudo ajustar estas cadenas y en las inyecciones posteriores se pudo ver claramente la

mejora en la lectura del encoder y con ello el recorrido de la plataforma en las distancias programadas por los operadores sin ninguna falla.

Los resultados de las pruebas de red obtenidos fueron satisfactorios ya que se logró establecer comunicación entre todos los elementos y por último, las pruebas realizadas en el sistema SCADA también fueron favorables y sin mayores detalles por corregir. En las Figuras 7.6 y 7.7 se pueden observar los led rojos correspondientes a SD y RD de las tarjetas de red que indican la transmisión y recepción de datos.

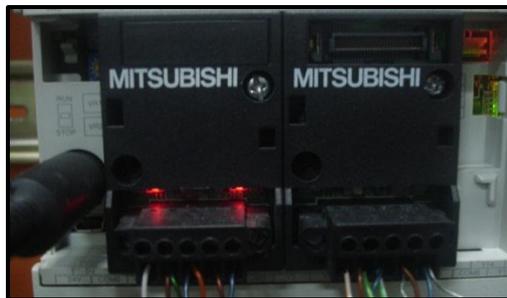


Figura 7.6: Tarjetas de red FX3G-485-BD.

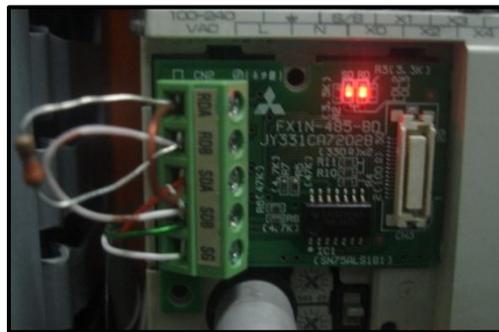


Figura 7.7: Tarjeta de red FX1N-485-BD.

Las Figuras 7.8 y 7.9 muestran las pantallas del Sistema SCADA del monitoreo de dos de las Torres de Inyección, contienen los valores de los pulsos del encoder tanto de macho como muros (en el caso de las Torres Colombianas), tiempos de curado y de salida de la banda, indicadores gráficos y numéricos de las temperaturas de muros, piso y tapa, led que indican máquina en funcionamiento e inyección de poliuretano (rojo apagado, verde encendido), texto con información

del modo de funcionamiento: automático o manual, y por último un acceso directo a los reportes históricos.

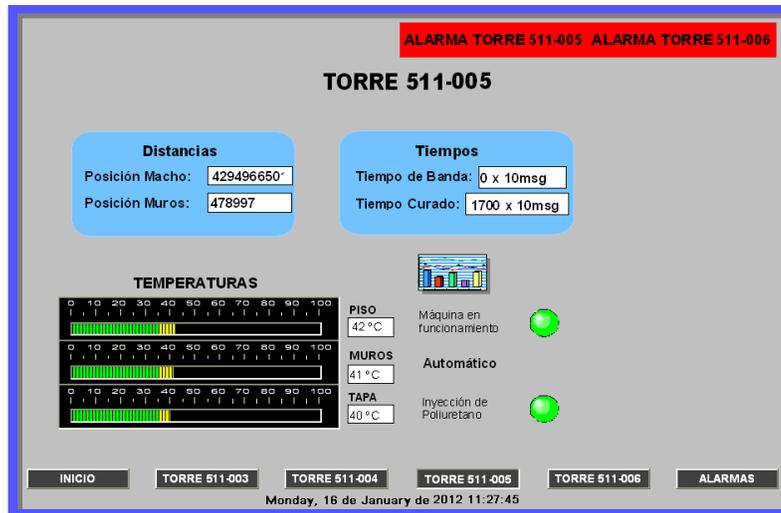


Figura 7.8: Pantalla Sistema SCADA Torre 511-005.

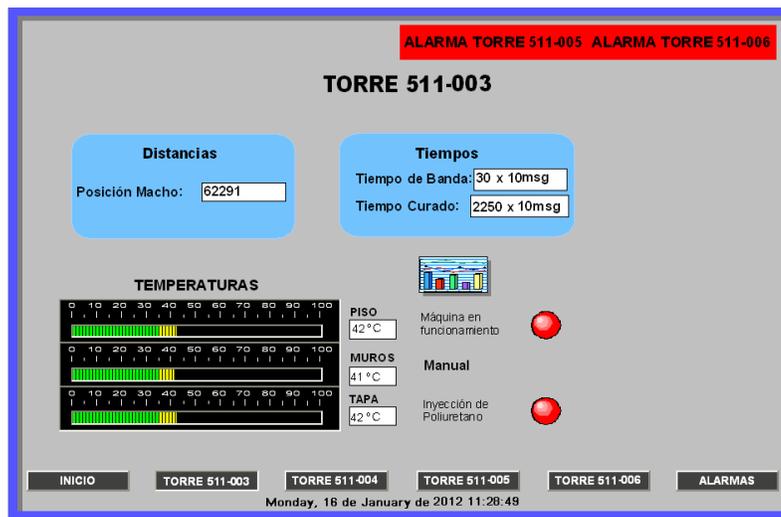


Figura 7.9: Pantalla Sistema SCADA Torre 511-003.

Se cuenta también con un sistema de alarmas en el que se almacenan registros del tipo de alarma con fecha y hora, tal como se muestra en la Figura 7.10:

Event Time	Description	Tag	Value
11:31:45 AM 1/16/2012	Macho 511-004 Macho cerrado	Alarma Macho	1
11:31:45 AM 1/16/2012	Muros 511-005 Muros abiertos	Alarma Muros	1
11:31:45 AM 1/16/2012	Muros cerrados Muros cerrados	Alarma Muros	1

Monday, 16 de January de 2012 11:31:50

Figura 7.10: Pantalla de Alarmas.

CONCLUSIONES

La instalación de los equipos y componentes de las cuatro torres de inyección se efectuaron en un solo armario de conexiones, tal como se especificó en el diseño de tesis, ganando así espacio en el área de trabajo; los variadores de frecuencia de Mitsubishi fueron instalados de tal manera que cumplan con todas las normas y estándares de la directiva de baja tensión UE 73/23/CEE y la de máquinas 98/37/CE, además todos los aparatos llevan el distintivo CE y tienen certificación UL, Cul y GOST.

Se retiraron los pulsantes con los que se controlaba a la torre y se colocó en lugar de ellos una pantalla HMI para la modificación de parámetros y funcionamiento de la máquina en general, dejando únicamente tres pulsantes principales: Paro de Emergencia, Inicio de Proceso en Automático y Sale Banda. En el caso de los Módulos lógicos de control LOGO V1 que comandaban inicialmente a las torres de inyección, fueron sustituidos por PLC Mitsubishi de la serie FX. El cableado y conexión de equipos de las torres de inyección se realizó por separado en aproximadamente una semana cada una, debido a que no se puede detener la producción que la empresa realiza con las cuatro torres al mismo tiempo; al terminar cada torre se realizaron las pruebas necesarias para comprobar su correcto funcionamiento y poder calibrar la máquina de acuerdo a las especificaciones dadas por los operadores. En este punto se descubrieron varios errores tanto en la parte mecánica como en el programa de cada PLC, los cuales fueron corregidos hasta lograr que la máquina funcione perfectamente.

En las Torres Nacionales se instaló un encoder adaptado al motor de la plataforma macho permitiendo contabilizar el número de pulsos que se necesitan para elevar o descender esta plataforma; a estos pulsos se los transformó en milímetros para que los operadores puedan establecer una medida específica desde la pantalla y calibrar de una manera más exacta la posición del macho, ayudados por las frecuencias de frenado y desmolde programadas en el variador de frecuencia.

El termostato que controlaba las temperaturas de cada torre fue reemplazado por Termocuplas tipo J y un Módulo Analógico Mitsubishi FX2N-4AD-TC para la medición

de temperatura, el control de la misma se realizó utilizando cada PLC mediante las líneas correspondientes de programación, asegurando de esta forma un rango de error muy corto. Otra ventaja que tiene este sistema de control, es que el operador puede ingresar desde las pantallas instaladas para las torres, el valor exacto de temperatura necesario para el proceso de inyección y polimerización del poliuretano en el gabinete de las refrigeradoras.

La conexión en red de los PLC se efectuó mediante las tarjetas de comunicación BD485 para comunicar a la torre nacional 511-004 con la torre colombiana 511-005 comprobando la correcta recepción y envío de datos en cada caso. Para esta red se designó a la torre 511-004 como PLC Maestro y a la 511-005 como PLC Esclavo mediante las líneas de programa correspondientes, pudiendo expandirse hasta un total de siete PLC esclavos. Las torres colombianas 511-005 y 511-006, en cambio, se comunican entre sí por medio de la pantalla, es decir, utilizan comandos propios de la pantalla Mitsubishi para enviar los datos entre ellas.

Se diseñó e implementó un Sistema SCADA para el monitoreo tanto de los datos de las torres de inyección como las alarmas producidas por posibles fallos ya sea en la torre o en sus componentes. Se debe mencionar que este sistema SCADA no se realizó con el software WinCC como se planteó en un inicio, ya que por políticas del departamento de Automatización de la empresa se acordó que sería mejor hacerlo con un software de la misma casa de Mitsubishi como es el Mc WorX. Mediante este software se logró adquirir y visualizar los datos de cada una de las cuatro torres de inyección en pantallas de interfaz con el usuario, además realizar una base de datos de los parámetros importantes y de sus respectivas alarmas para después mostrarlos en registros históricos.

Finalmente, debido a que la producción de las torres de inyección no podía ser suspendida nuevamente y por la falta de autorización de parte del departamento de poliuretano, no se pudo instalar la red entre PLC – Driver que ya fue programada y probada con anterioridad; sin embargo, es posible utilizar los programas realizados si en un futuro se desea implementarla.

A pesar de la situación aclarada en el párrafo anterior, con todos estos cambios se logró una mejora en la producción del departamento de poliuretano de la empresa Induglob S.A., ya que se logró una notable disminución de errores en lo que se refiere a medición y control de temperaturas, recorrido de distancias y períodos de tiempo para el espumado del poliuretano.

RECOMENDACIONES

Debido a los problemas que se presentaron en la torre nacional 511-004 por un desajuste de las cadenas que se adaptan al motor de la plataforma superior, se debe realizar un mantenimiento constante de la parte mecánica de cada una de las cuatro torres de inyección, ya que el desgaste de sus componentes puede ocasionar fallas en las mediciones y posicionamiento de las plataformas que ajustan a los gabinetes dentro de las torres.

Antes de emplear un encoder se debe tomar en cuenta la frecuencia máxima de conteo de pulsos de cada PLC, pues se corre el riesgo de que el programa no los reconozca y se produzcan variaciones indeseadas en las medidas, tanto de la distancia de la plataforma macho como la de los muros. En cambio, al colocar un encoder de un menor número de pulsos al establecido, se pueden producir mayores errores en la medida debido a la fuerza de fricción que éste realiza.

En cuanto a los variadores de frecuencia, en caso de realizar mantenimiento, deben ser operados únicamente por un técnico calificado debido a que si accidentalmente se modifican los parámetros que fueron programados en ellos se pueden producir graves daños en el motor (exceso de corriente, tensión o esfuerzo), así como también en el posicionamiento de las plataformas; por ejemplo, una frecuencia muy alta para el rango de frenado ocasionaría choques bruscos con el piso de la torre y una frecuencia muy baja, además de sobre-esforzar al motor, causa variaciones en la lectura de pulsos del encoder instalado.

De forma general se debe tener especial cuidado en la conexión de la alimentación de los PLC, módulos analógicos de adquisición de temperatura, encoder, pantalla HMI, sensores, ya que un cambio en la polaridad de cualquiera de ellos podría echarlos a perder. Igualmente, como medida de seguridad y con el fin de evitar ruidos y errores en la comunicación, se recomienda la conexión a tierra directa e individual de cada uno de estos equipos.

En cuanto a la conexión de los equipos para la implementación de la red, hay que tomar en cuenta los valores de las resistencias que se colocan a los extremos, debido a que en el caso del PLC FX-1N se necesita una resistencia de 110Ω y en cambio en el PLC FX-3G, una de 330Ω .

Por último, se debe tener un especial cuidado con el computador en el cual se instaló el sistema SCADA, protegiéndolo con un buen antivirus para evitar que se produzcan daños en el programa; además de contar con las licencias originales del software empleado para disponer de todas las funciones que provee.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RODRIGUEZ PENIN, Aquilino. Sistemas SCADA. España. Marcombo, Ediciones Técnicas. 2007. 448 páginas. Segunda Edición.
- I IA AS SM ID; I IA CE ITS PRI. Productos para Totally Integrated Automation y Micro Automation - Catálogo de Novedades ST 70 N 2010. 2010.
- KAMP-LINTFORT, Alemania. FX SERIES. Manual de Introducción. 2007.
- KAMP-LINTFORT. Familia FX PLC MELSEC. 2004.
- KAMP-LINTFORT. FR-D700/E700/E700SC/F700/A700. Manual introductorio. 2011.
- KAMP-LINTFORT. Serie MELSEC FX3U. Controladores lógicos programables. Manual de instrucciones. 2008-2009.
- MCINERNEY Brendan K. Mitsubishi MC-WORX Standard Training Manual. 2005.
- MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION SYSTEMS. Red RS-485. 2011.
- MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. FX2N-4AD-TC Special function block user's guide. 1997.
- MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. FX Series programmable controllers user's manual - Data Communication Edition. 2009.
- MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, FX3G/FX3U/FX3UC Series Programmable Controllers. Programming Manual - Basic & Applied Instruction. 2009.
- MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS USER'S MANUAL - Data Communication Edition. 2009.

- MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE B.V. Catálogo técnico FX1S-FX1N-FX2N. 2001.
- MITSUBISHI. Mx OPC Configurator. 2009.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Bombas Motores y Herramientas S.A. de C.V. Catálogo Motores Eléctricos. <http://bomhsa.com.mx/cat/index.php?cPath=92_96&osCsid=d94d0823f89eb3ef0774d52e6852ed6b>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- Comercializadora COND, C.A. Líneas de productos, Telemecanique. <http://www.con-d.com/products.php?sub_id=06&lin_id=25>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- Control Industrial. Catálogo, Sensores Capacitivos. <<http://www.control-industrial.com/index.php?page=2&start=ODA=&s=&m=&o>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- Control Tech, C.A. Catálogo, Encoders. <<http://www.controltechsite.com/catalogo/encoders/encoder-tipo-incremental-autonics-e50s8-1024-3-t-24-1024-pulsosrevolucion.html>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- eibmarkt. PLC communication module - FX3G-485-BD. <<http://www.eibmarkt.com/dwen/products/NS6101728.html>>. [Consulta: 8 de enero de 2012].
- Electriargo S.A. de C.V. Catálogo. <http://electriargo.com/index.php?manufacturers_id=1&sort=3a&filter_id=30>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- Empresa de Automatización Industrial y Control: PLCs HMI, SCADA, Ahorro de Energía. Qué es un PLC (Avanzado). <http://www.rocatek.com/forum_plc2.php>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

- Essential Automation UK. Beijer & Mitsubishi HMI's. <<http://www.essentialautomation.co.uk/ea149.html>>. [Consulta: 3 de octubre de 2011].
- Generadores, Motores y Automatización - WEG México. Productos y Servicios, Motores Eléctricos Industriales. <<http://www.weg.net/mx/Productos-y-Servicios/Motores/Motores-Elctricos-Industriales/TEFC-W21-NEMA-Premium-Efficiency>>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
- Google Maps. Avenida de las Américas, Cuenca, Azuay, Ecuador. <maps.google.es>. [Consulta: 3 de octubre de 2011].
- HMI/Introducción HMI.pdf. Introducción a HMI. <<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>>. [Consulta: 20 de mayo de 2011].
- Listado de productos – Promotores Eléctricos S.A. Productos Promelsa. <http://www.promelsa.com.pe/productos_list.asp?id_marca=WATLOW&id_linea=008&id_sublinea=5&id_familia=04&saldos=&pm_list=M>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].

ANEXOS

ANEXO 1: Programas de los PLC.

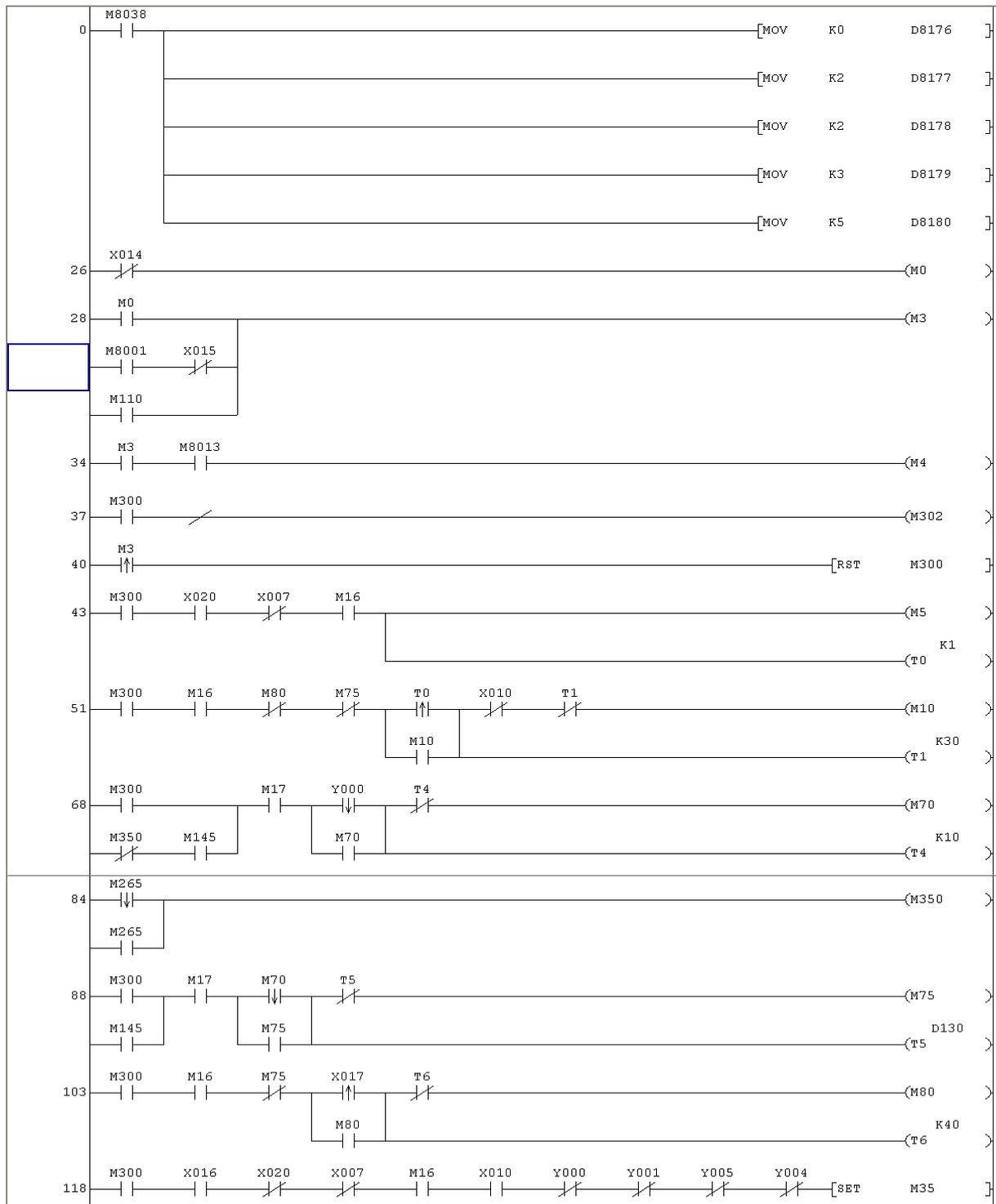
ANEXO 2: Planos Eléctricos.

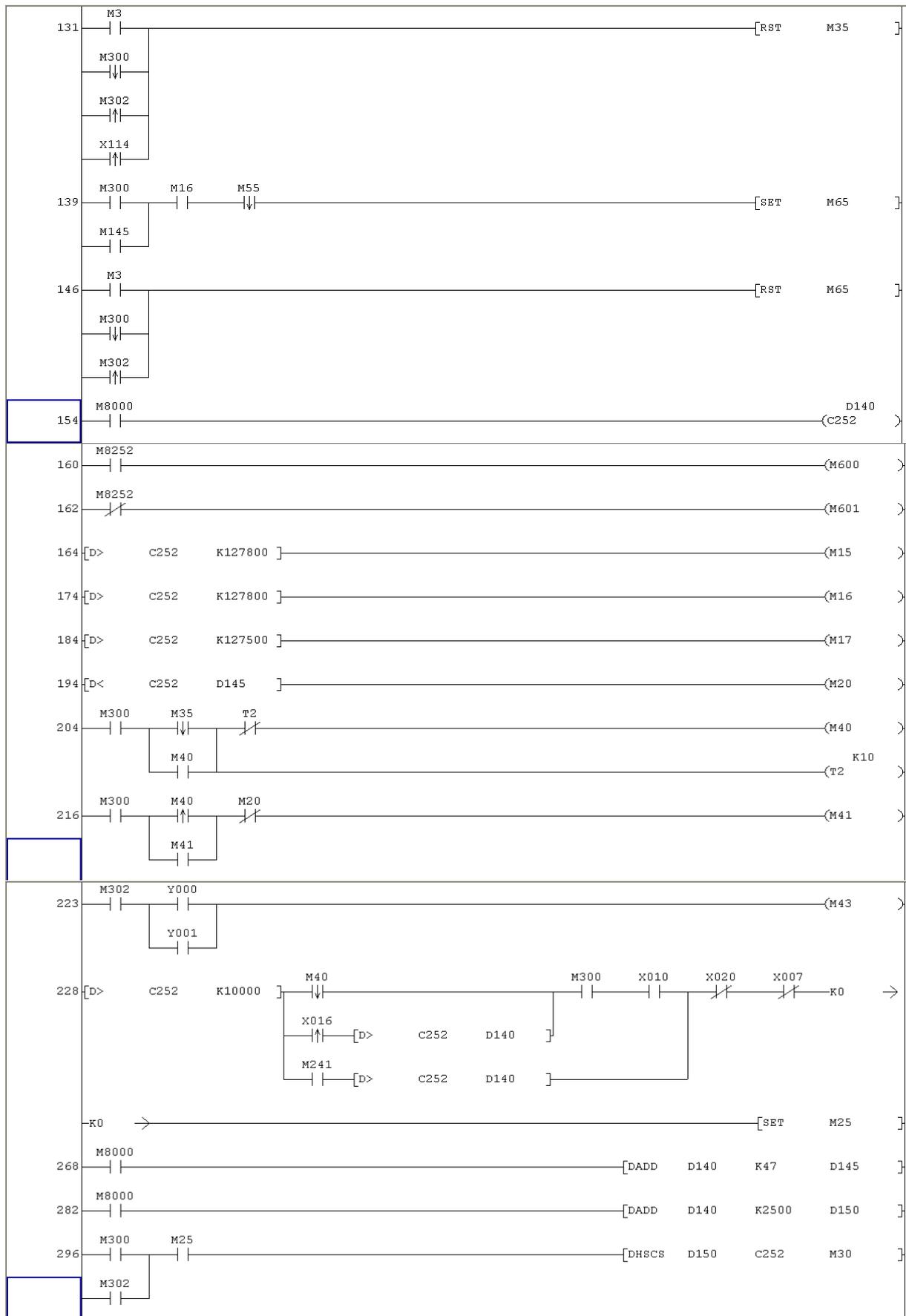
ANEXO 3: Manual del Sistema SCADA.

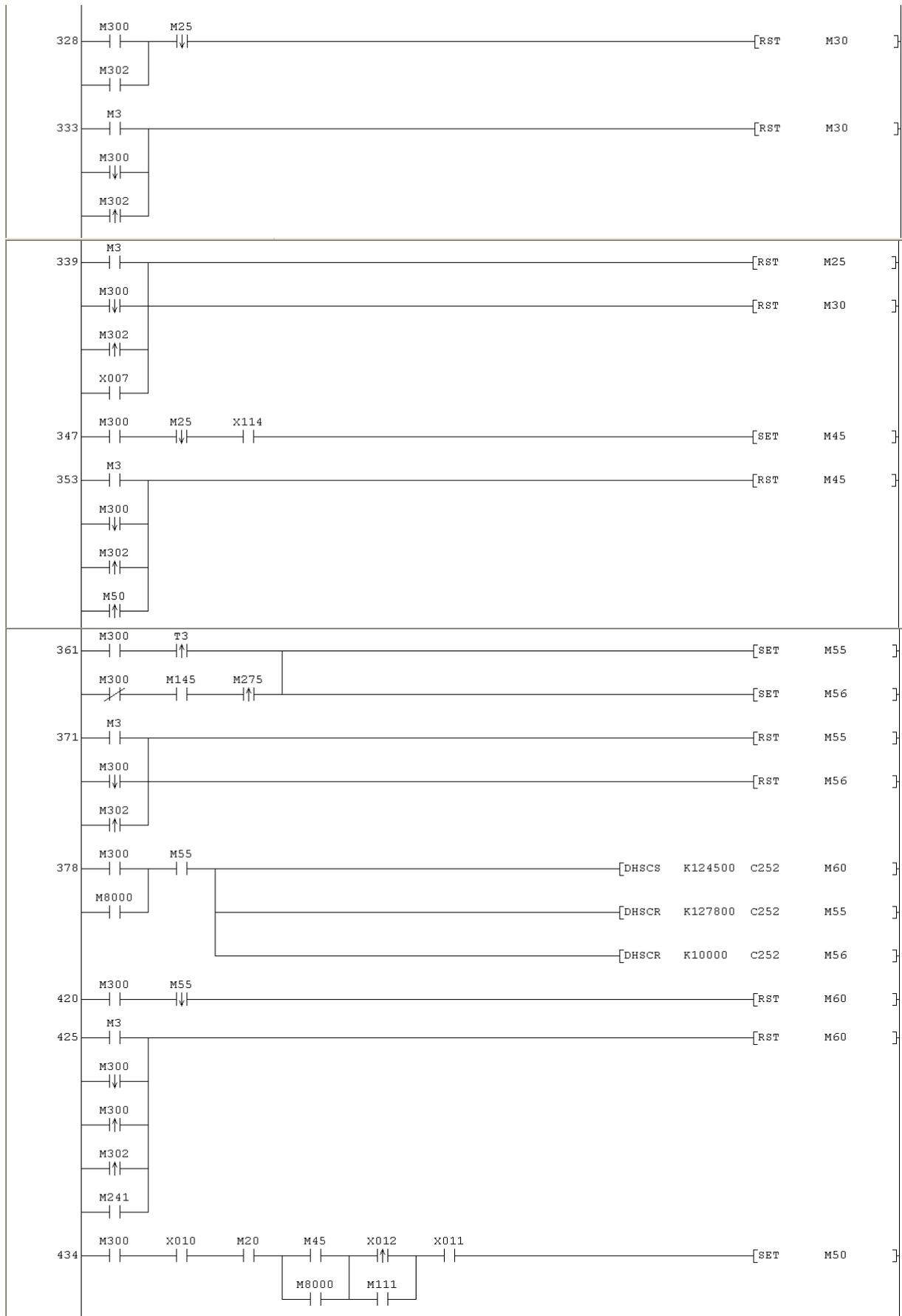
ANEXO 1

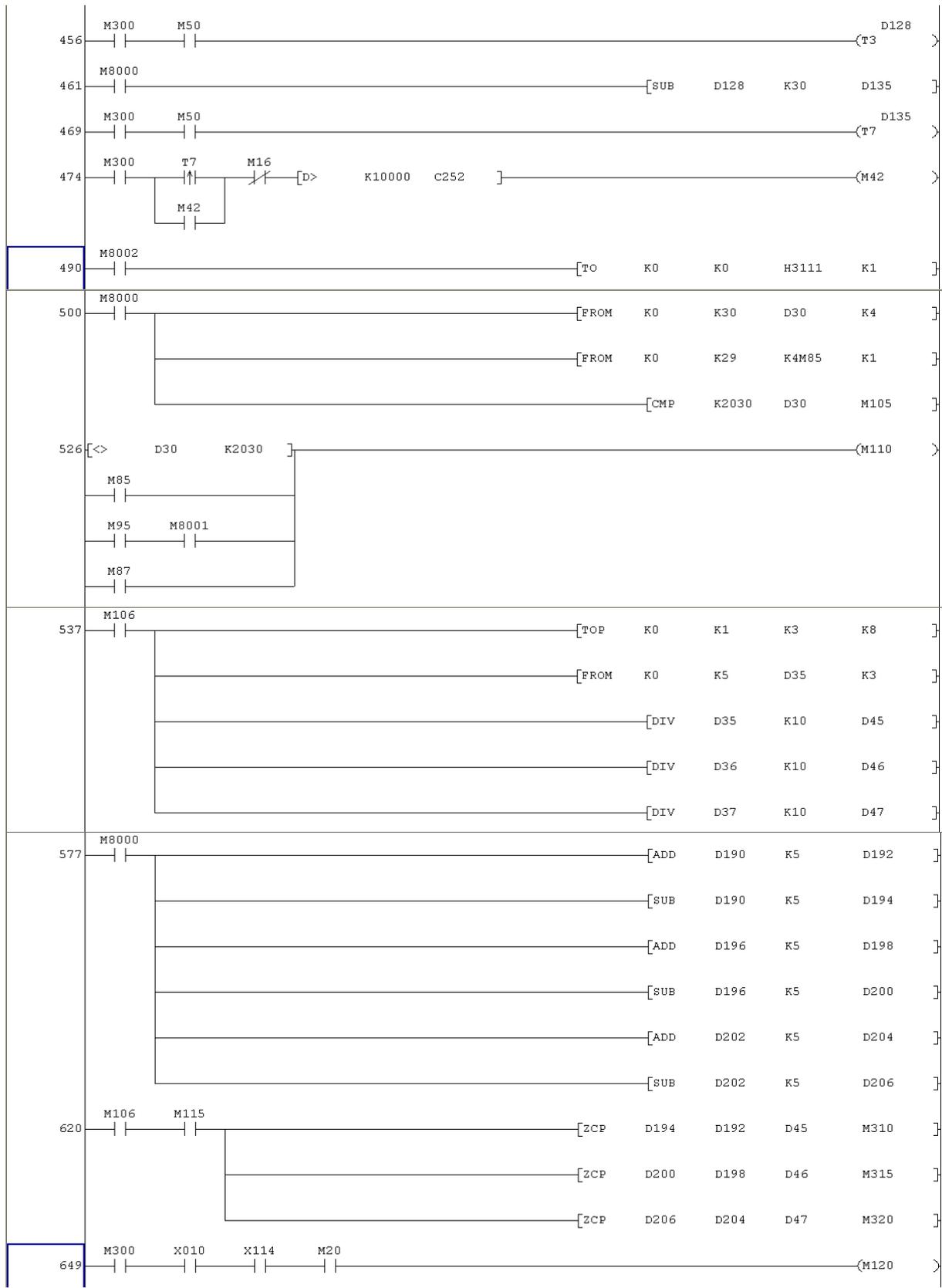
LINEAS DE PROGRAMA TORRES DE INYECCION

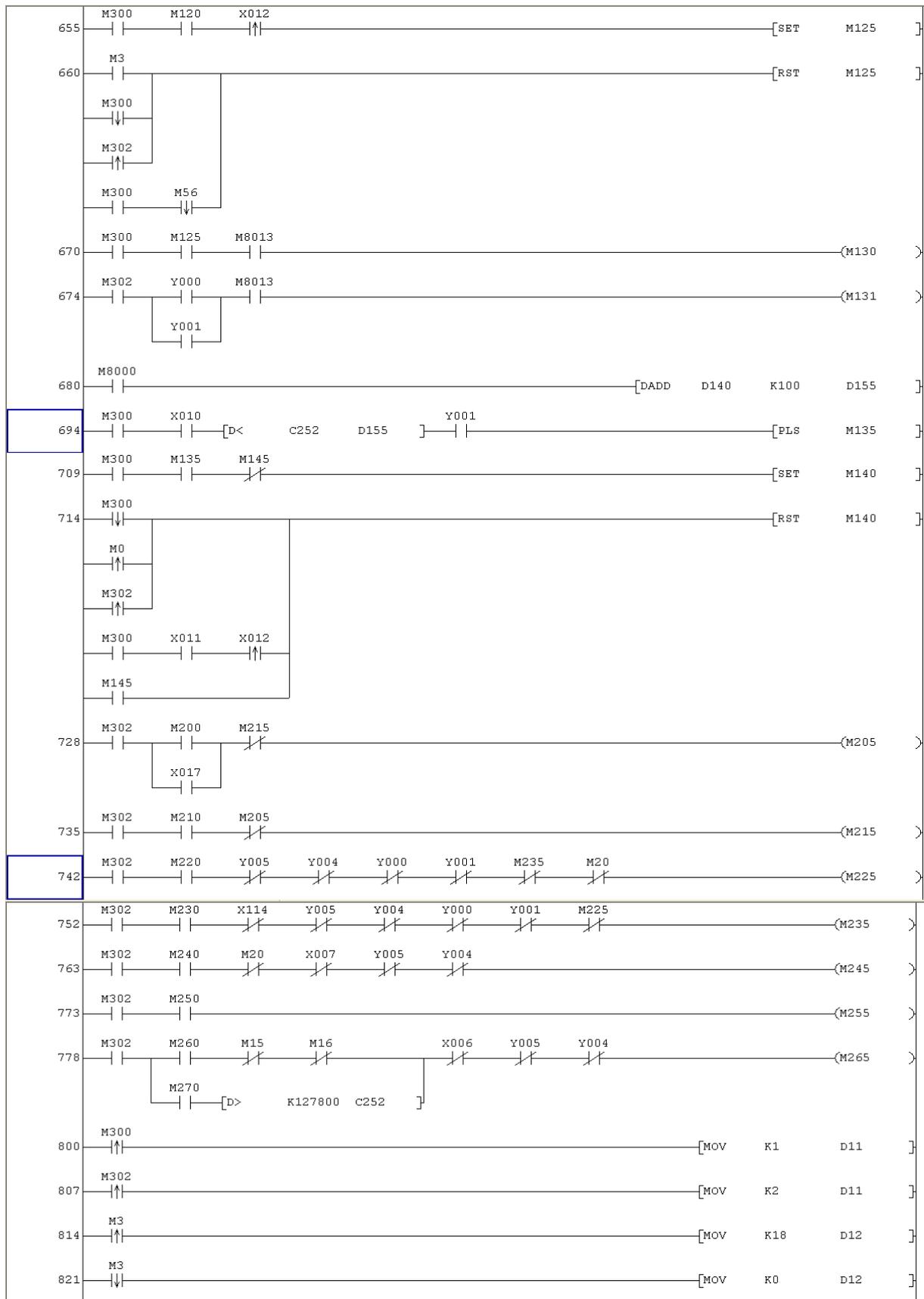
TORRE NACIONAL 511-003:

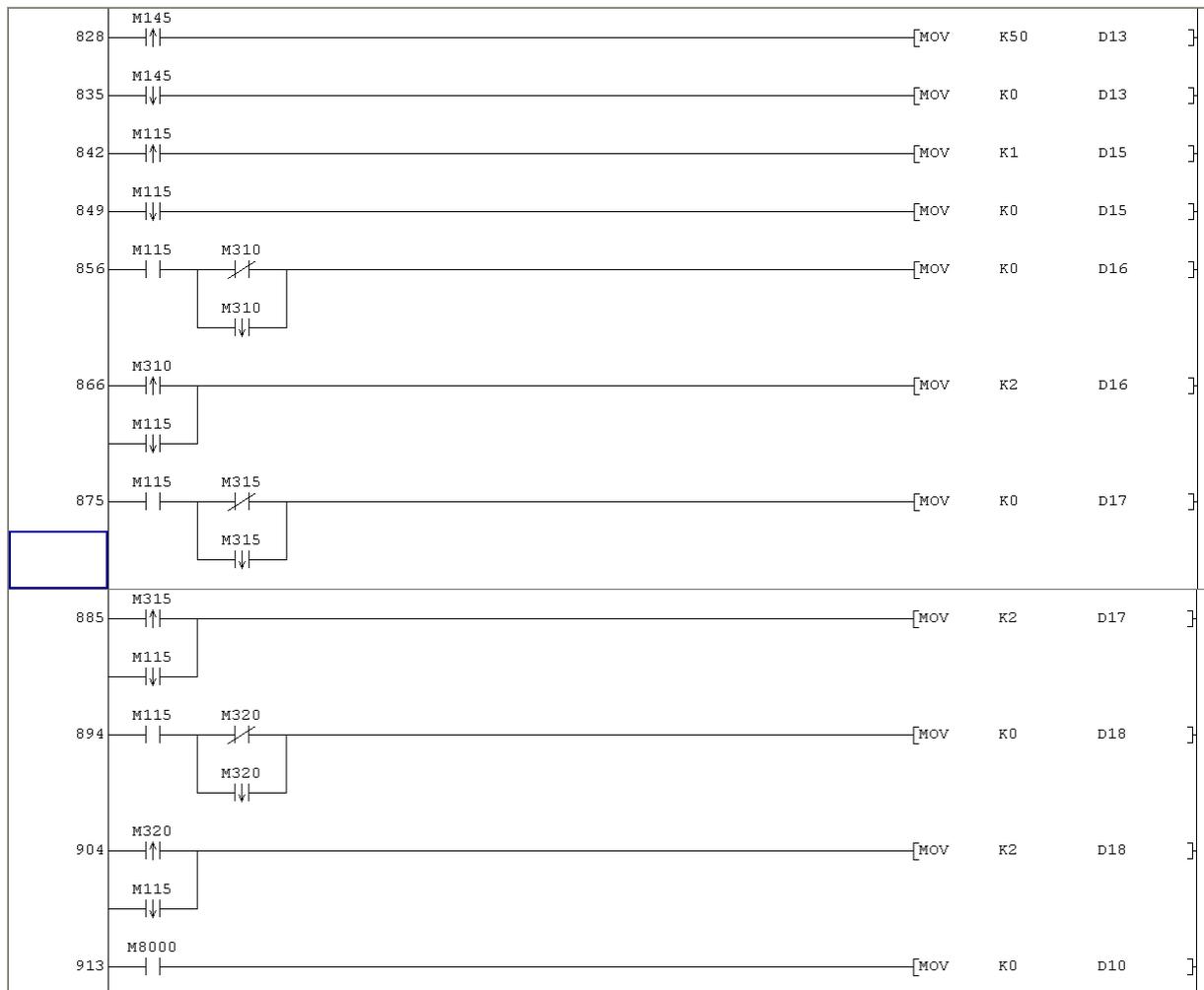




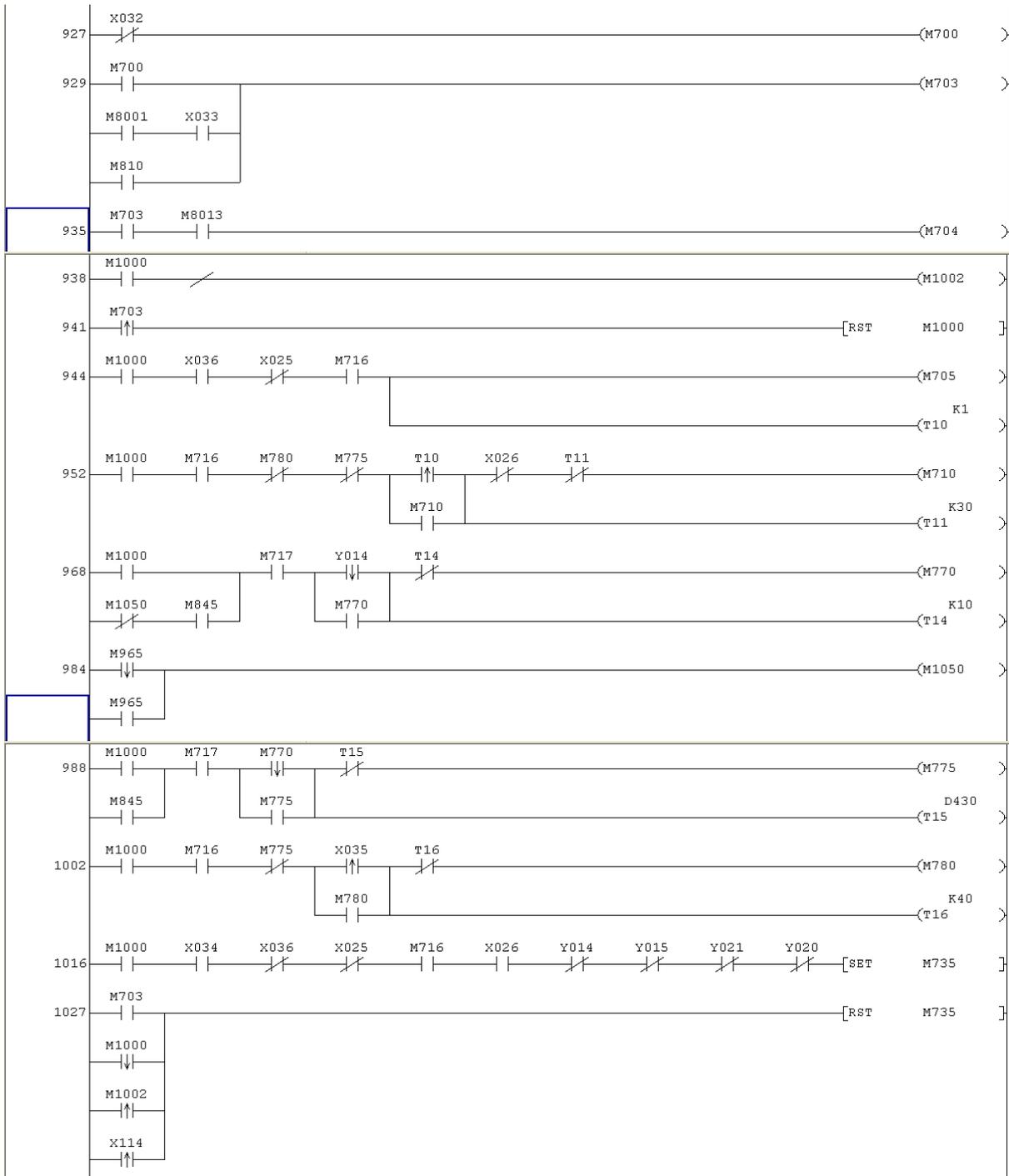


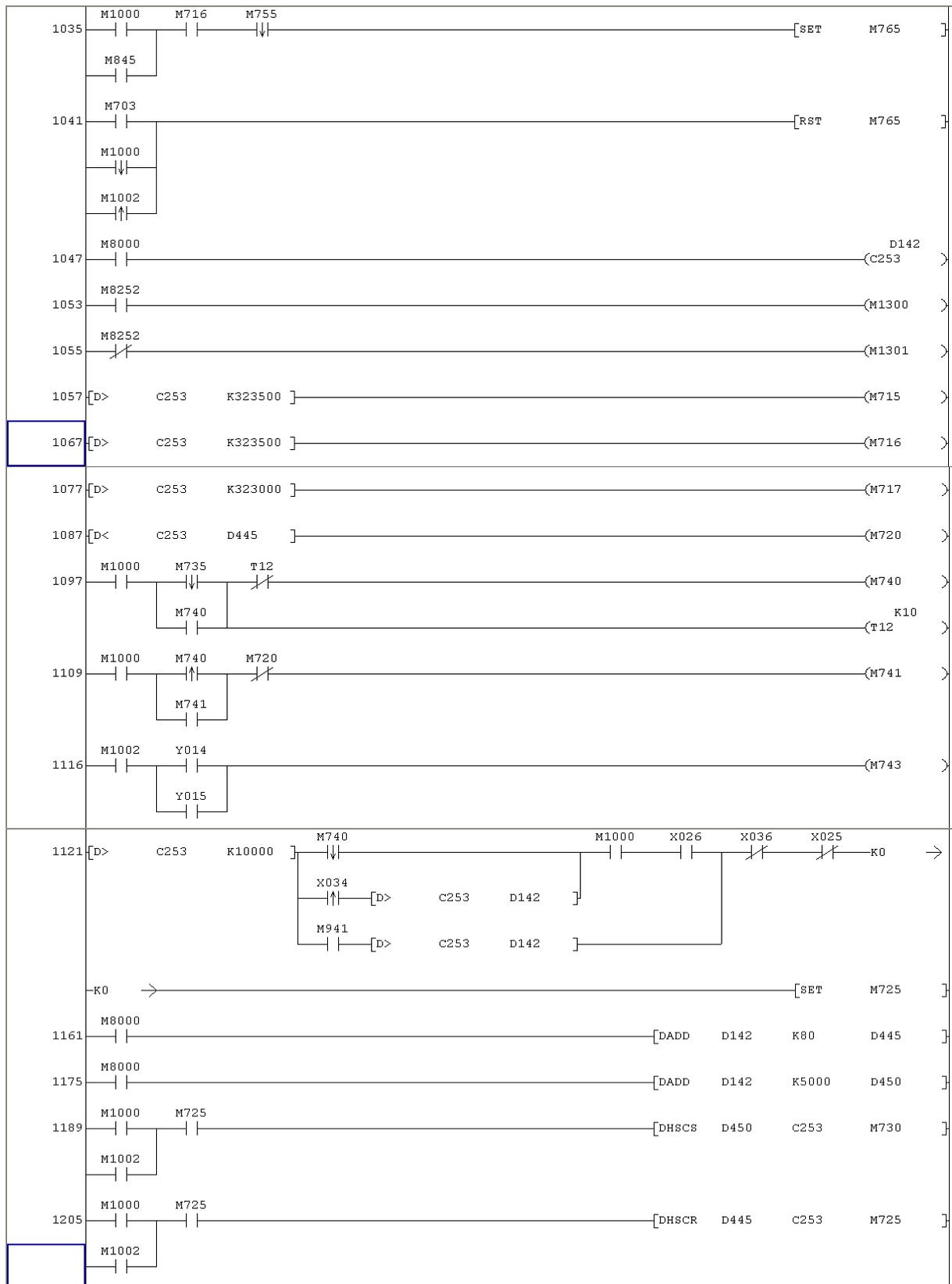


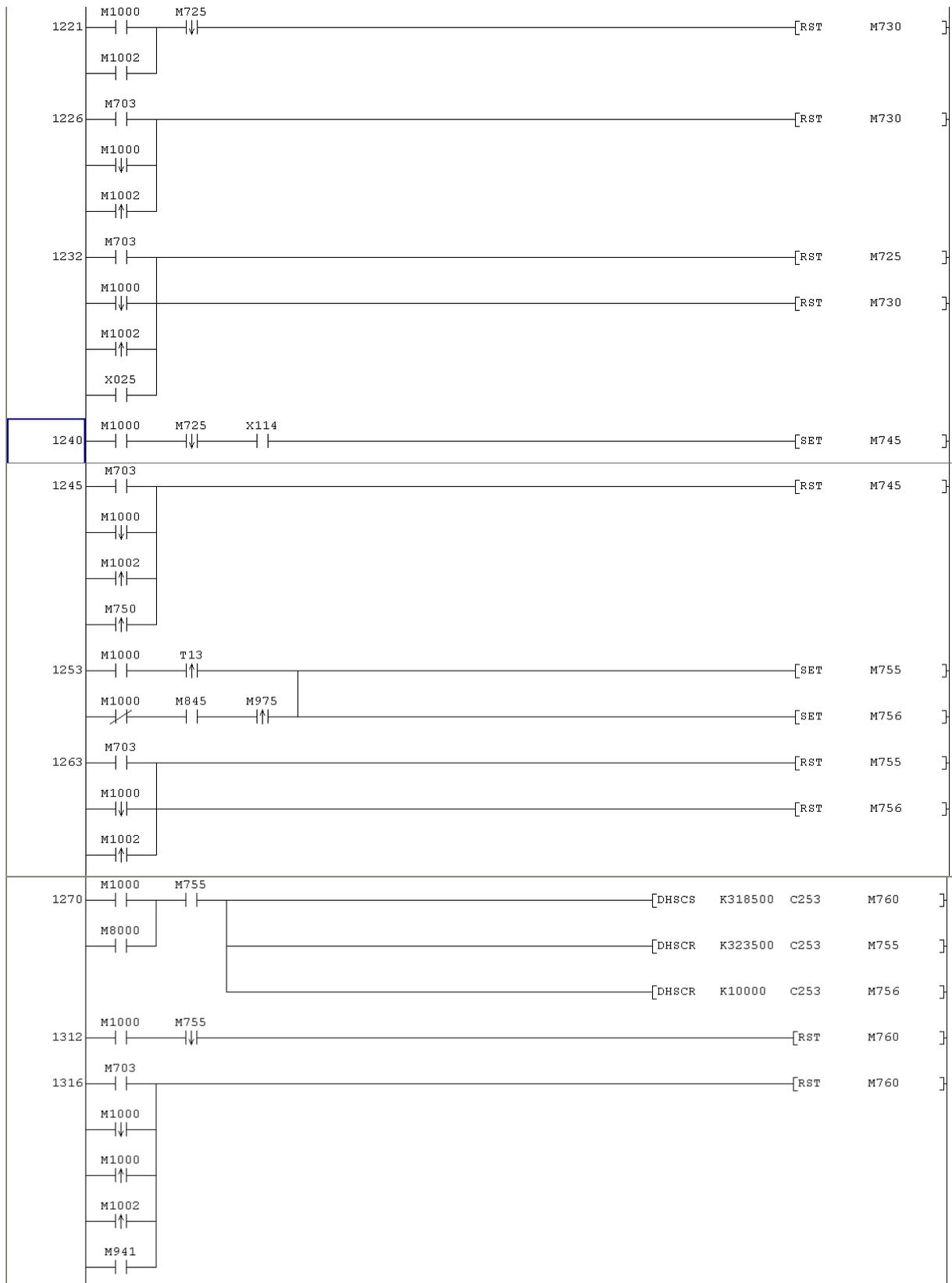


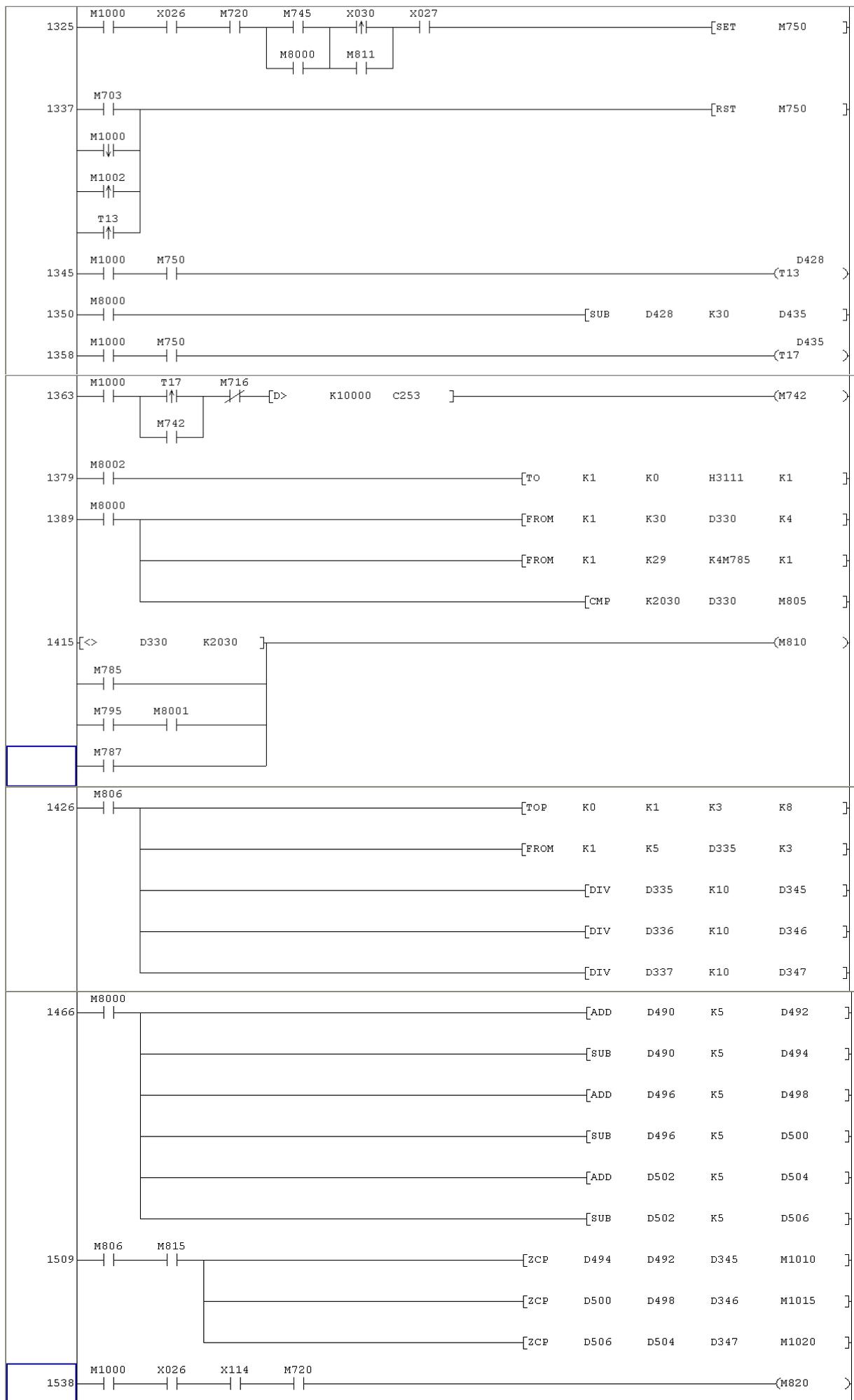


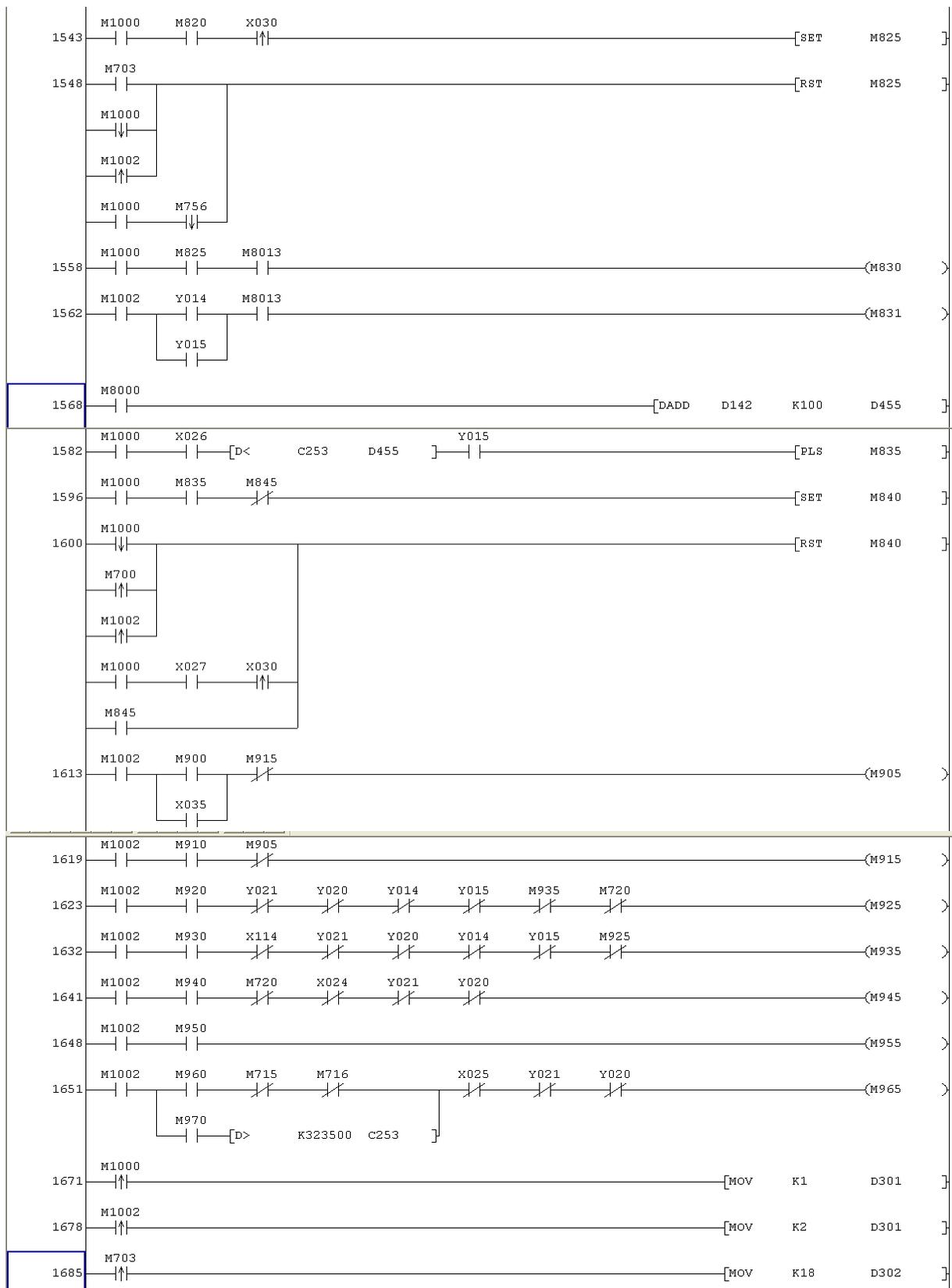
TORRE NACIONAL 511-004:

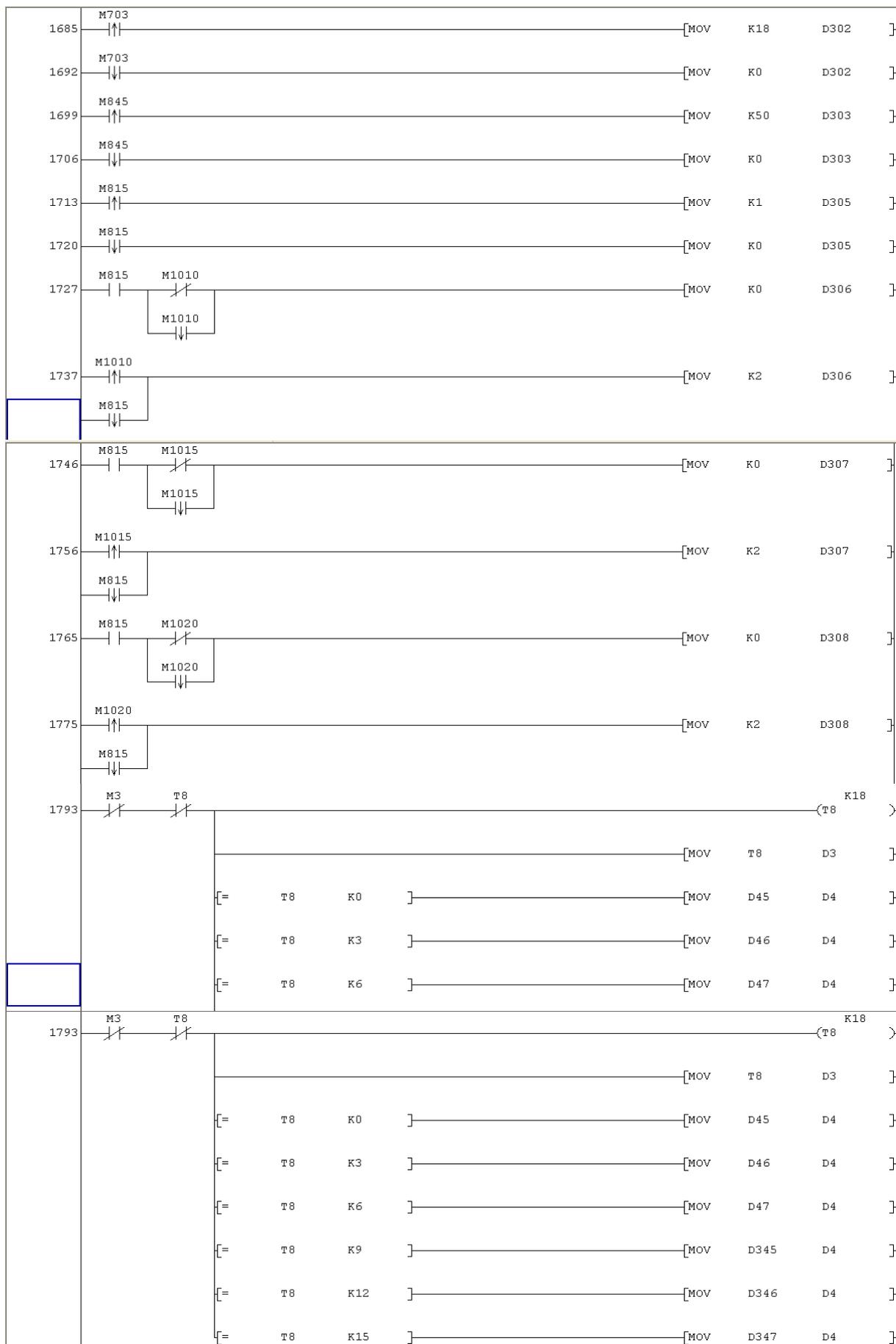


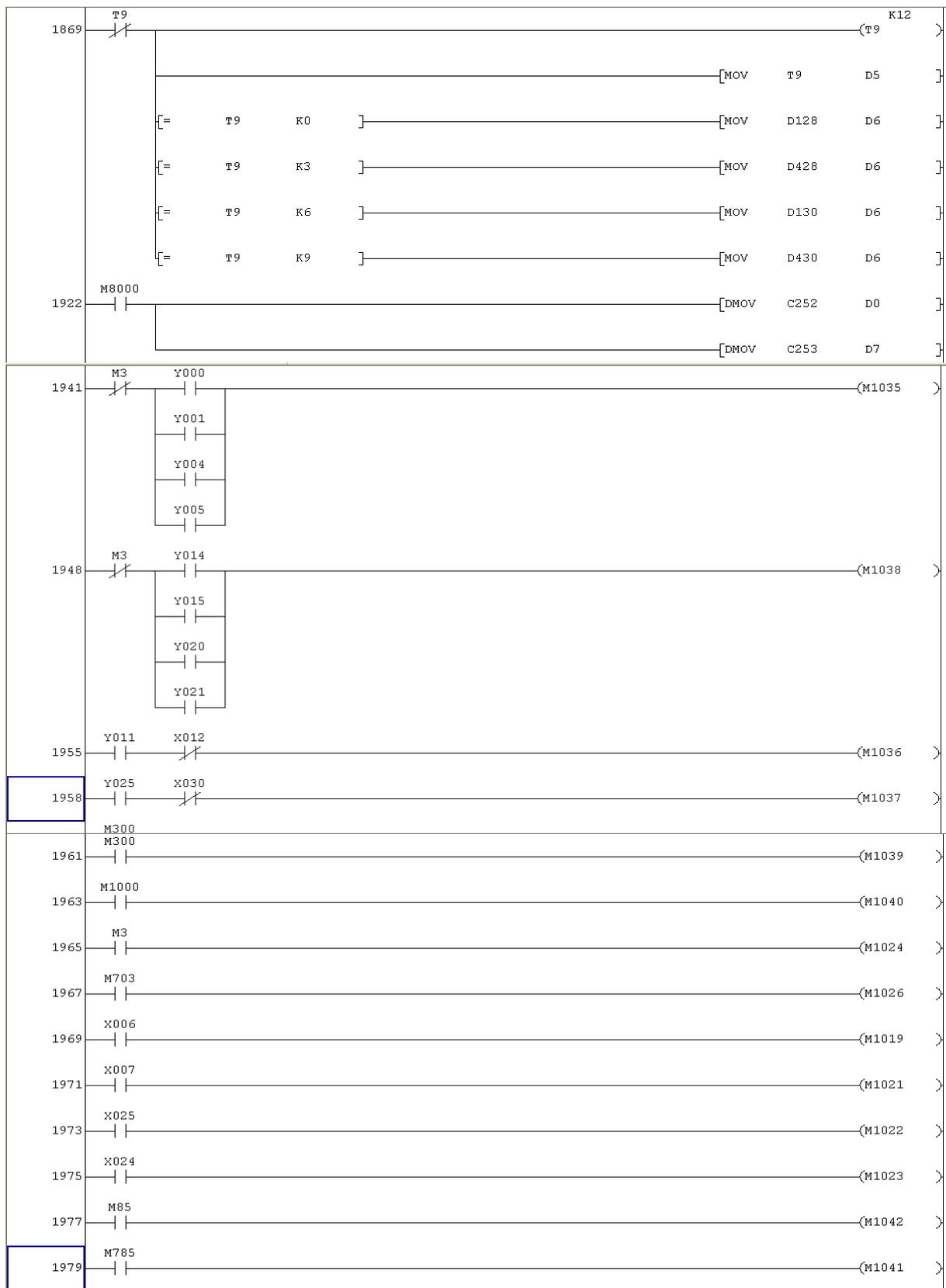


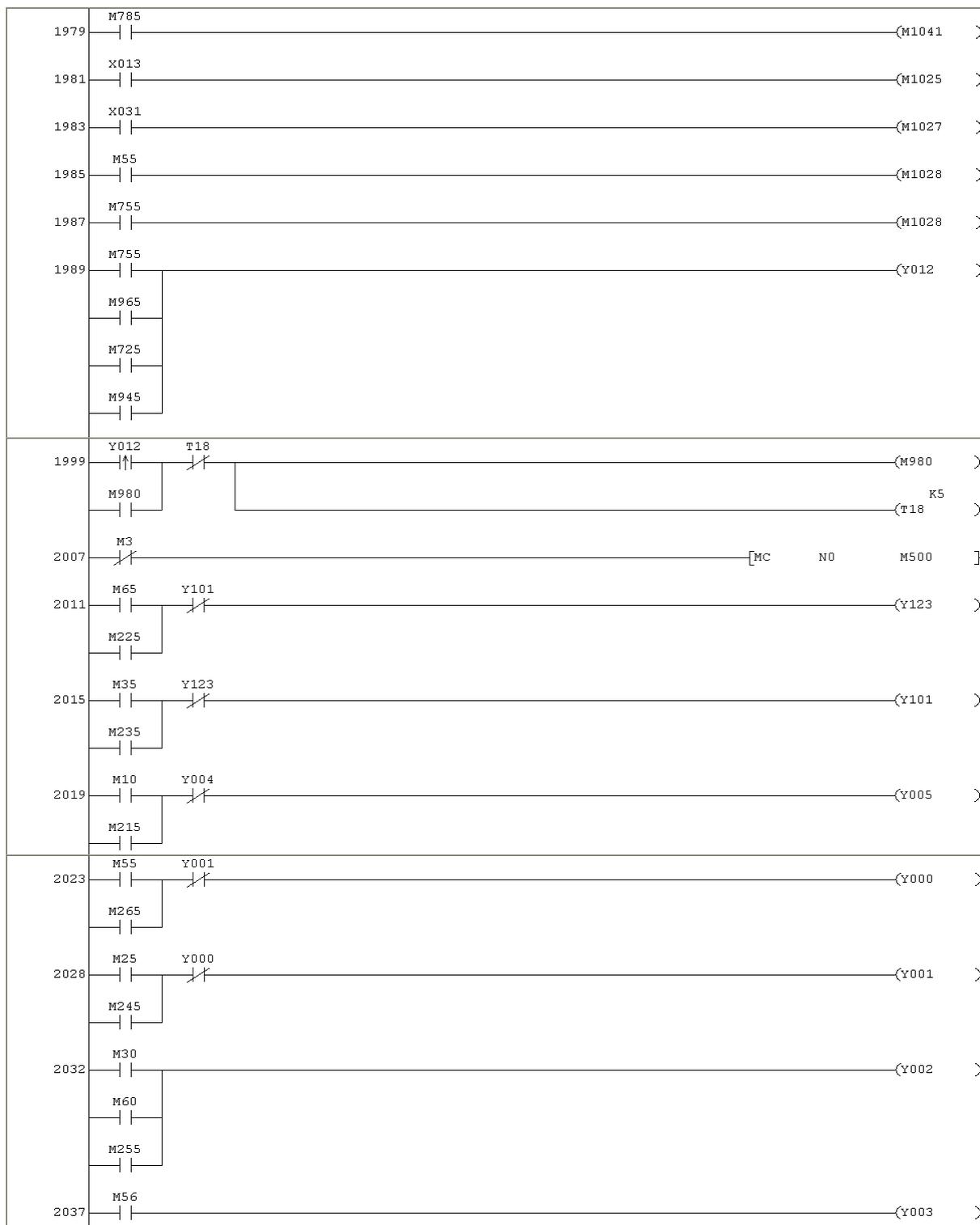


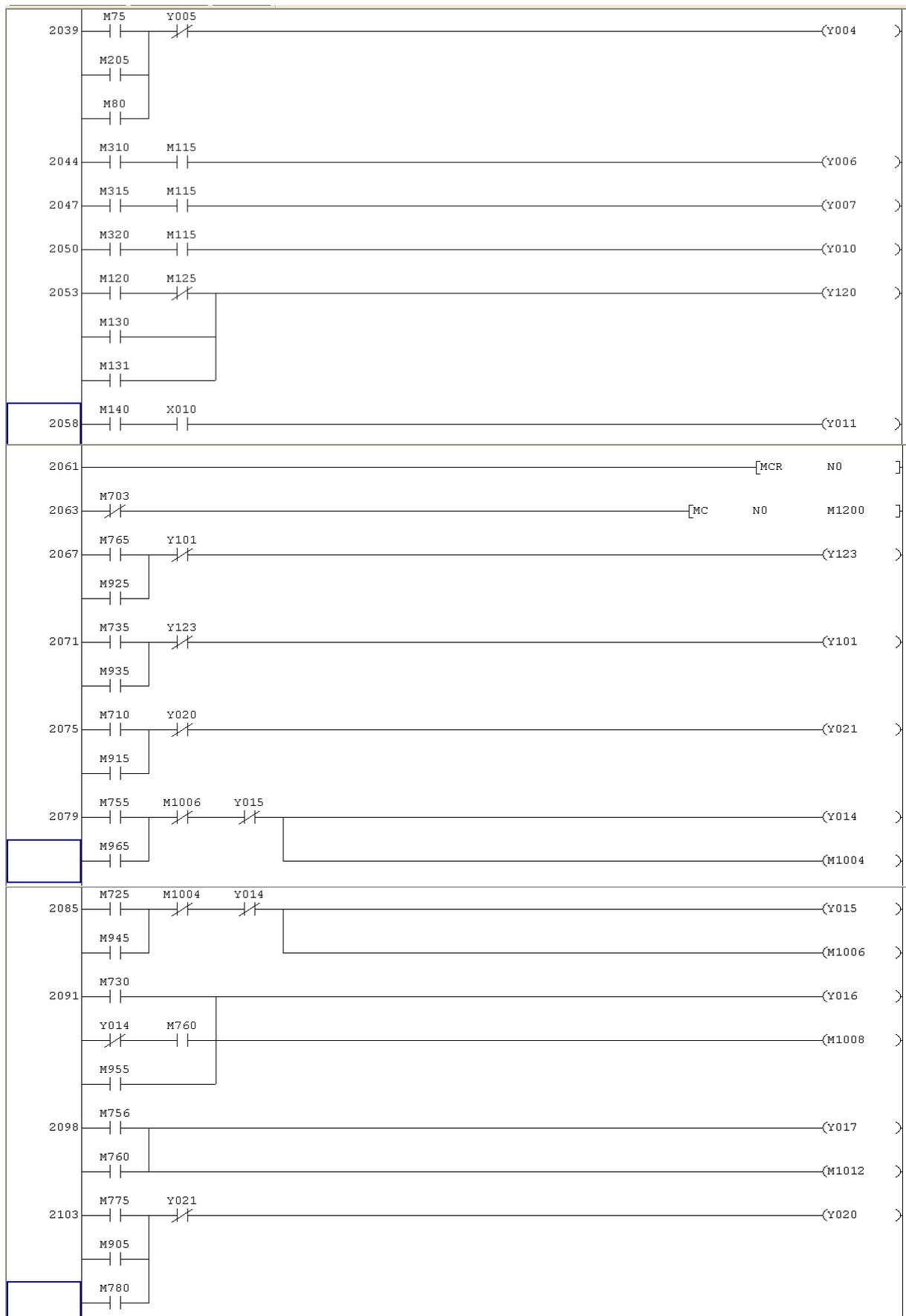


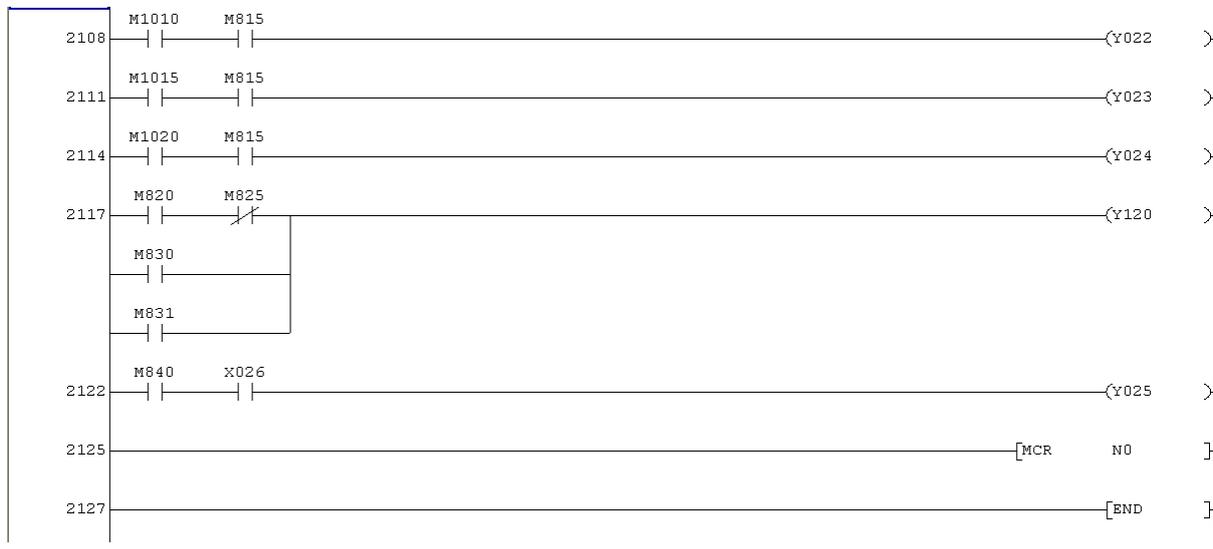




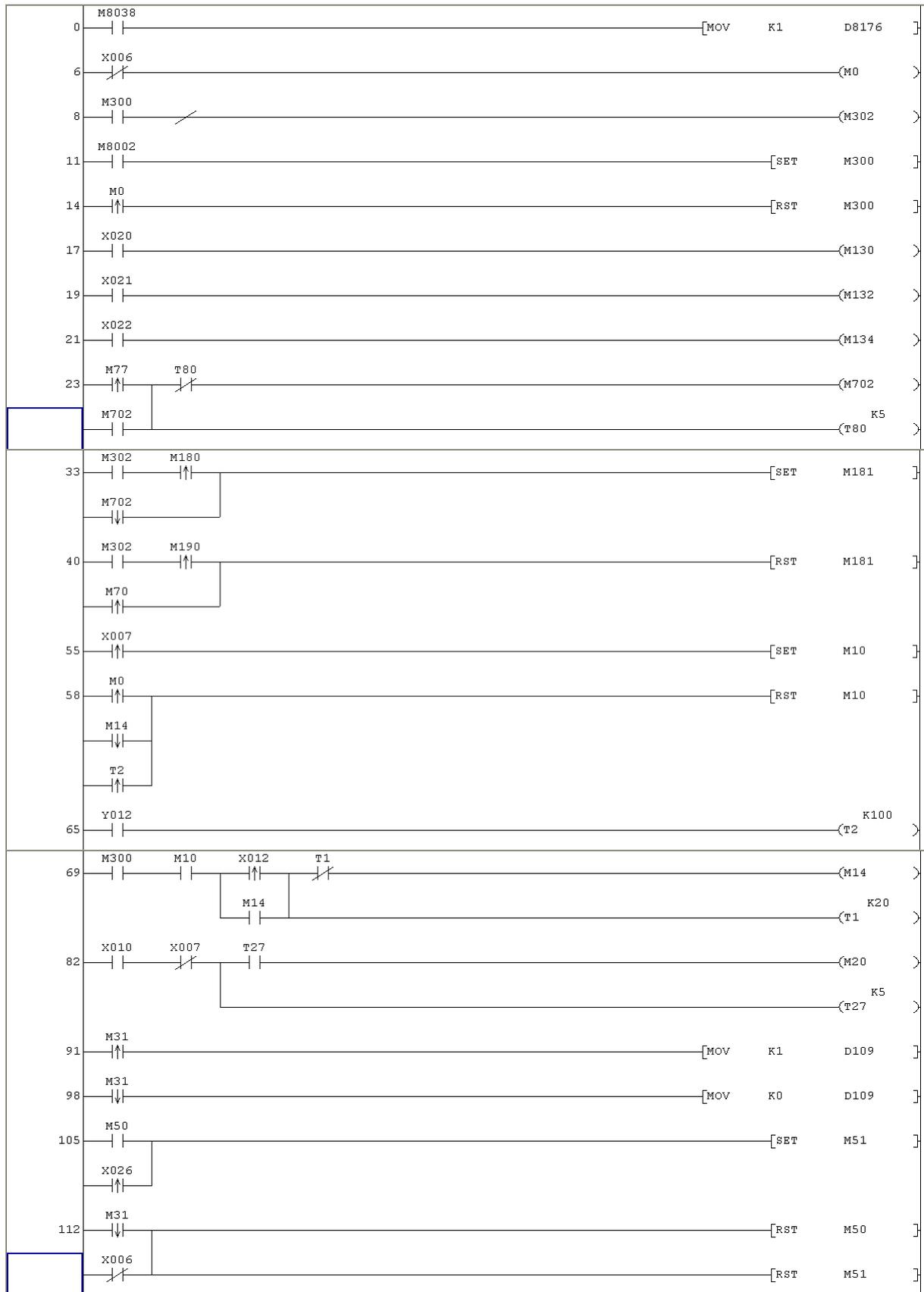


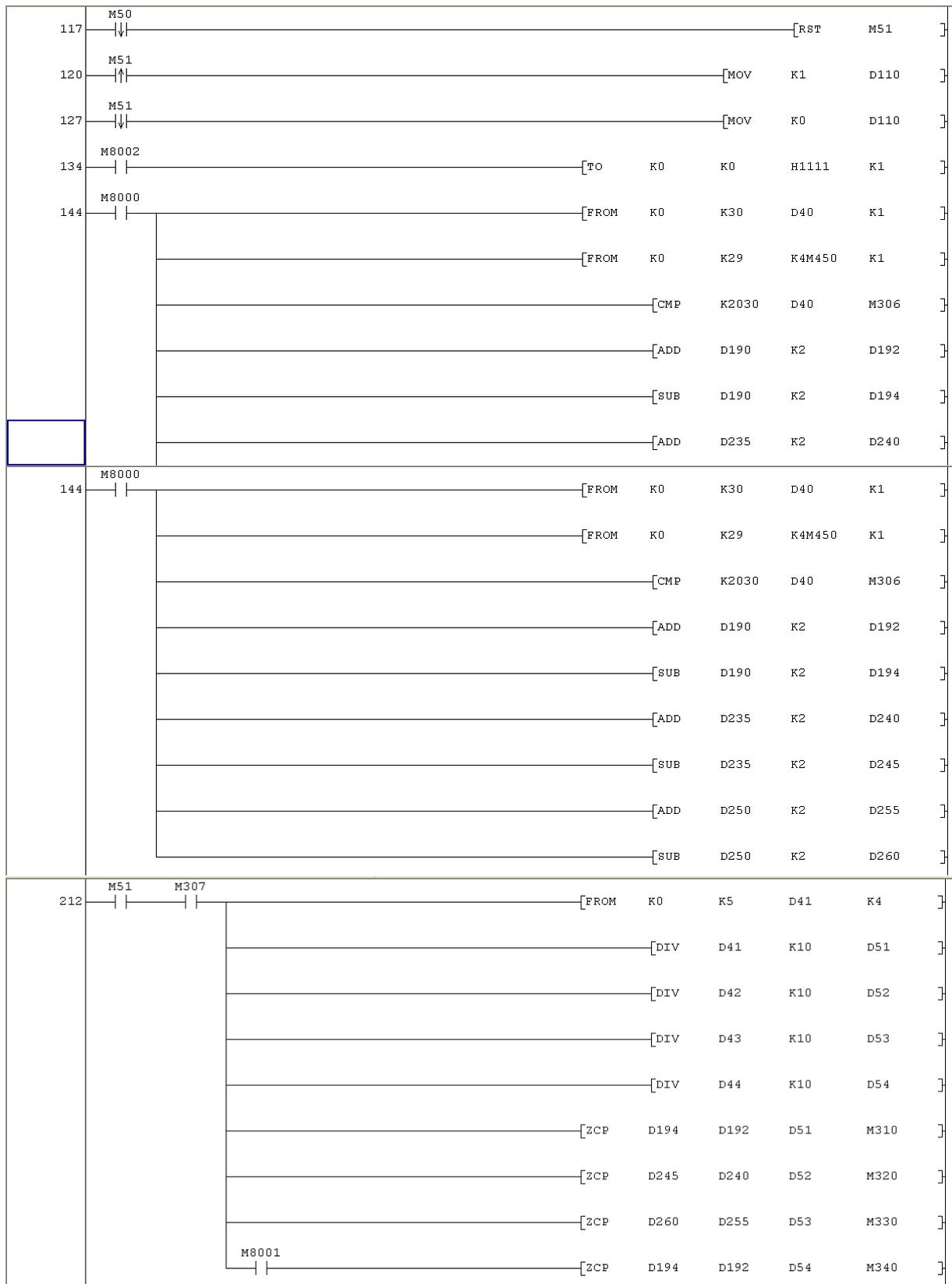


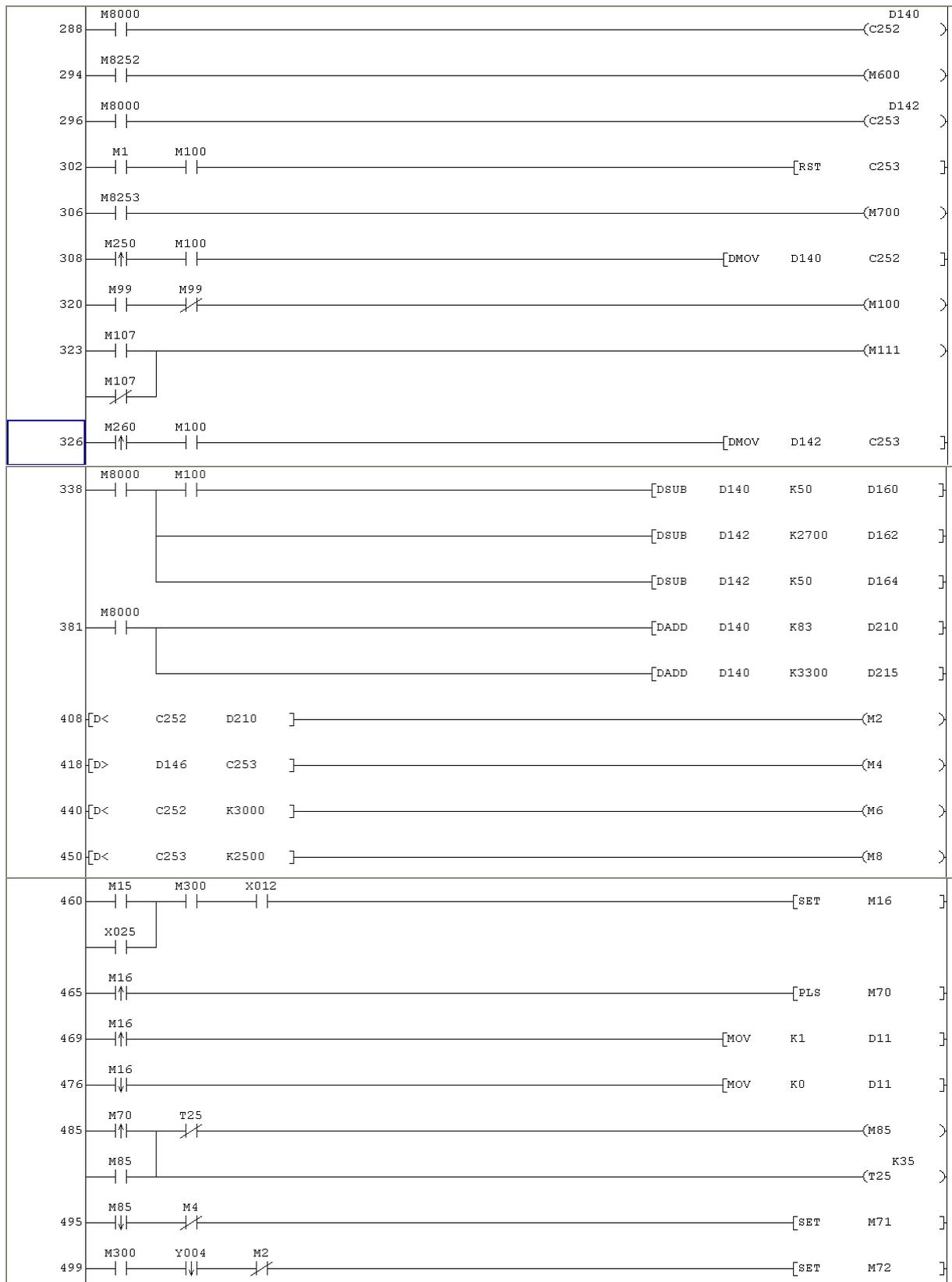


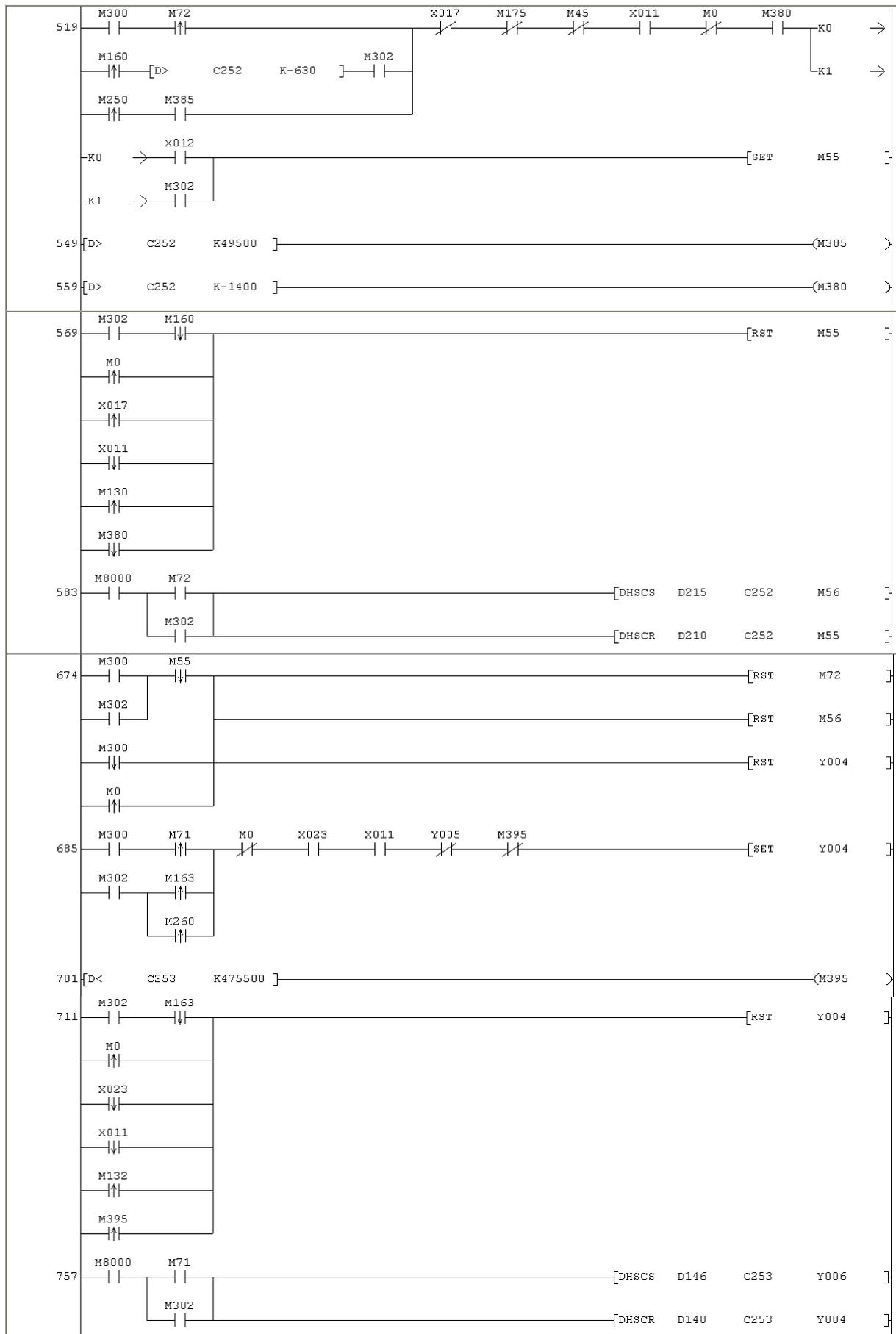


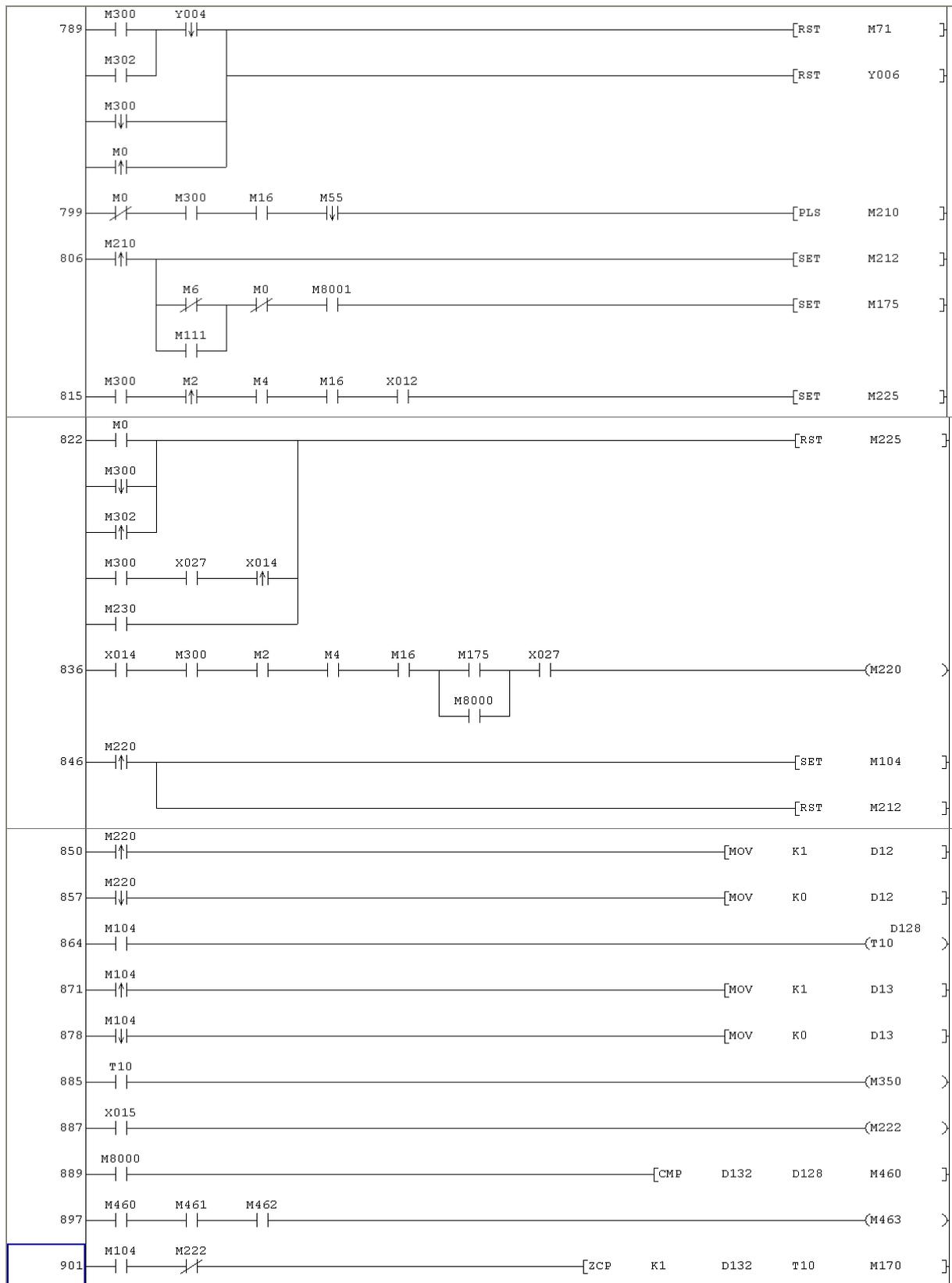
TORRE COLOMBIANA 511-005:

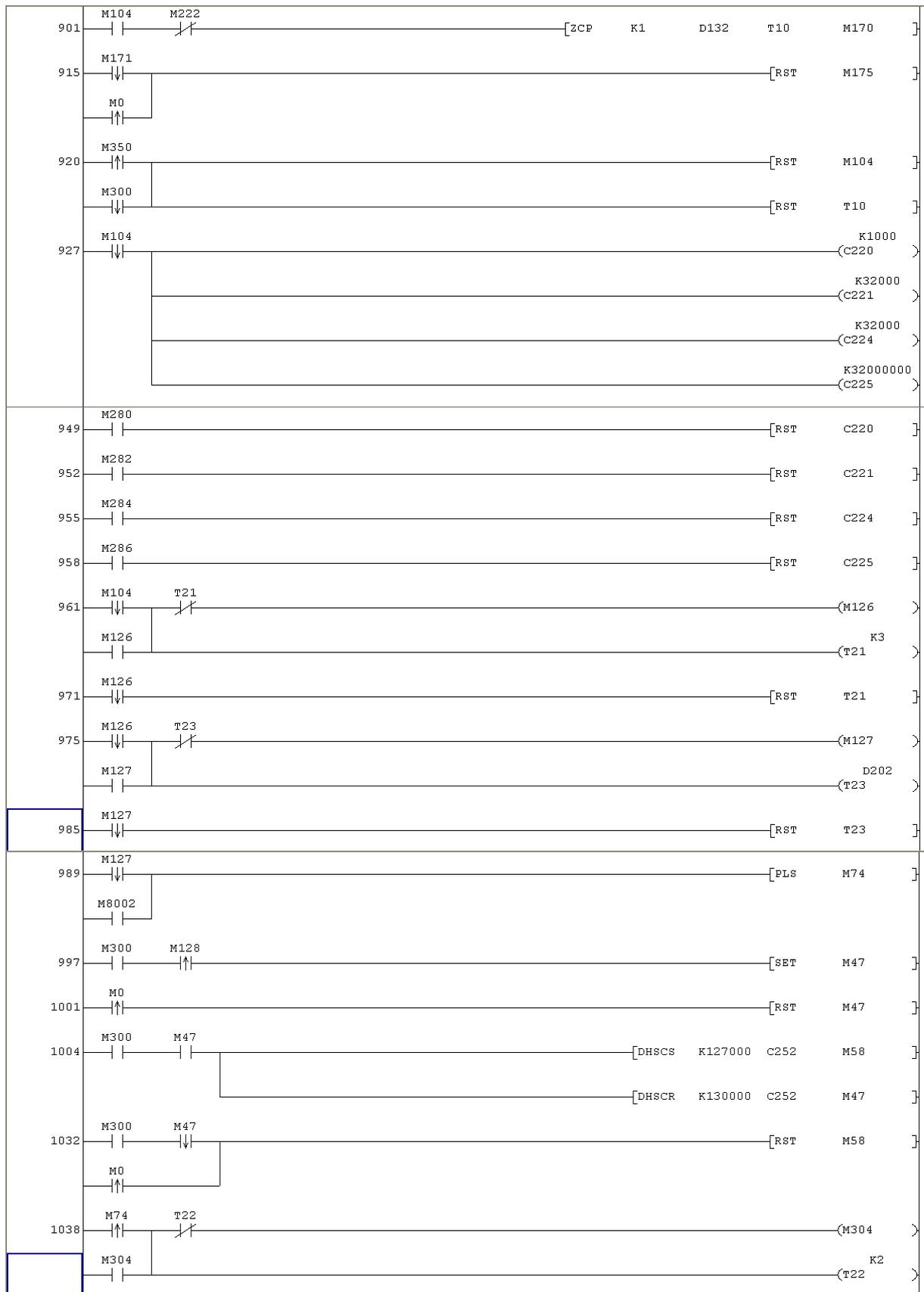


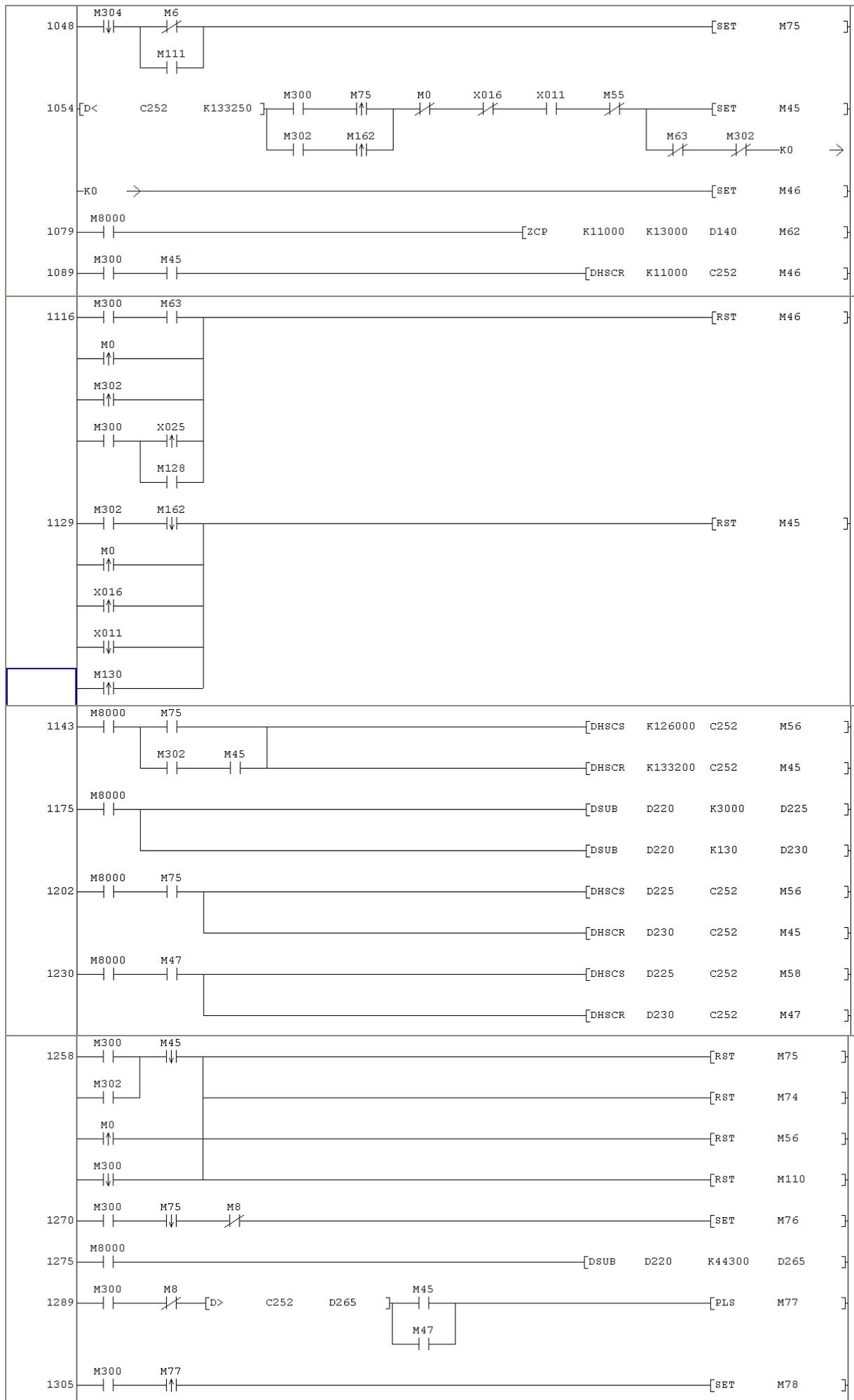


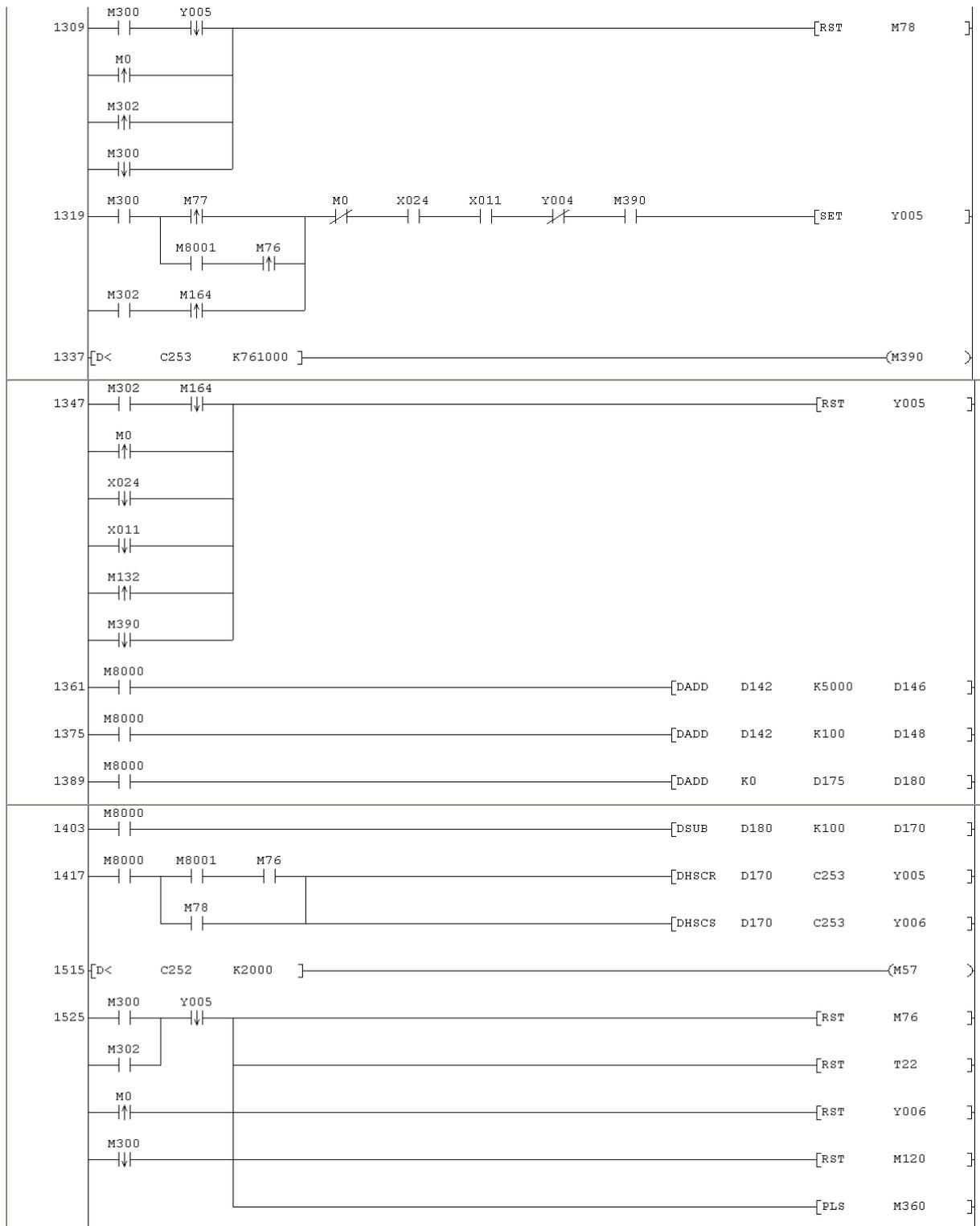


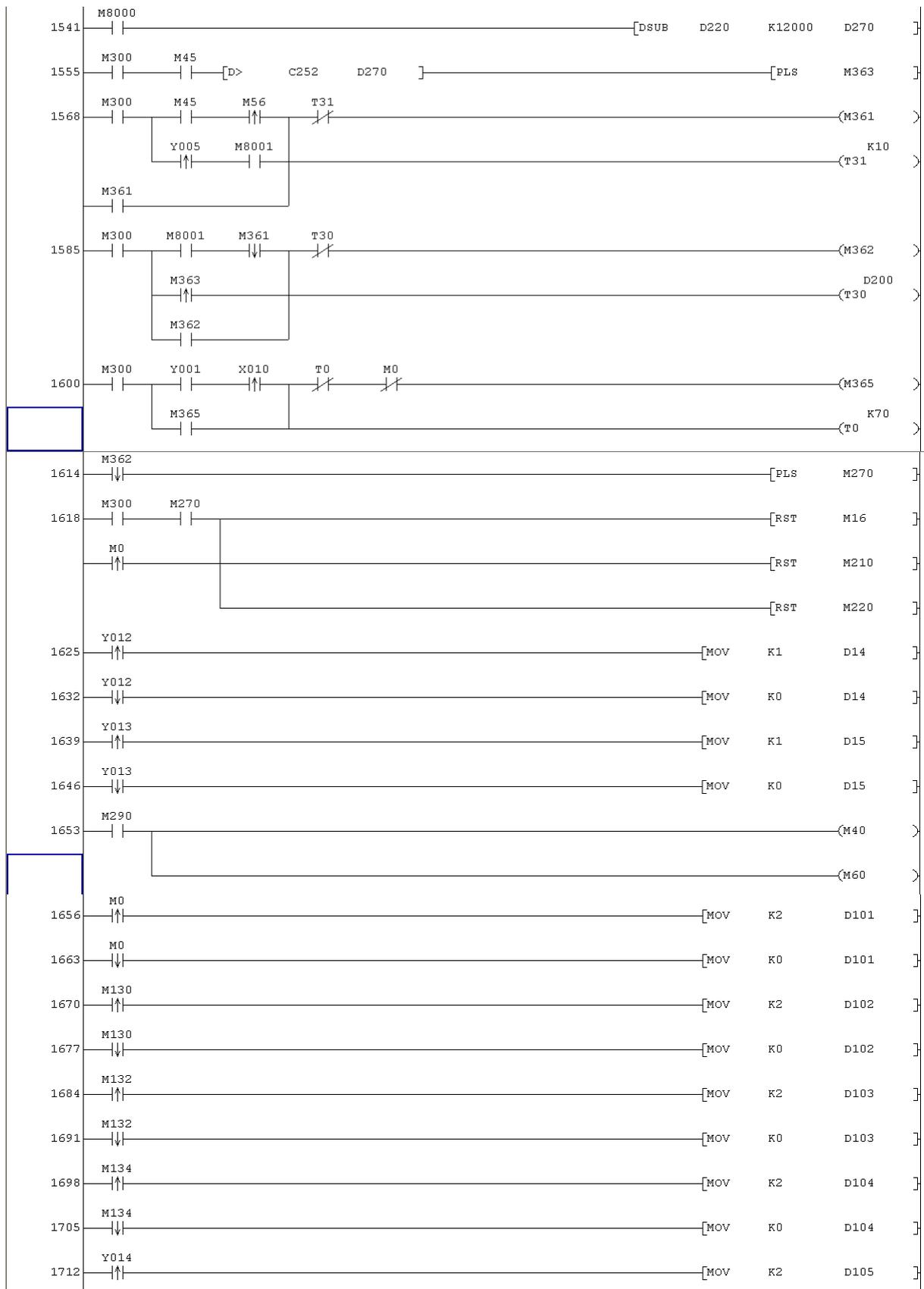


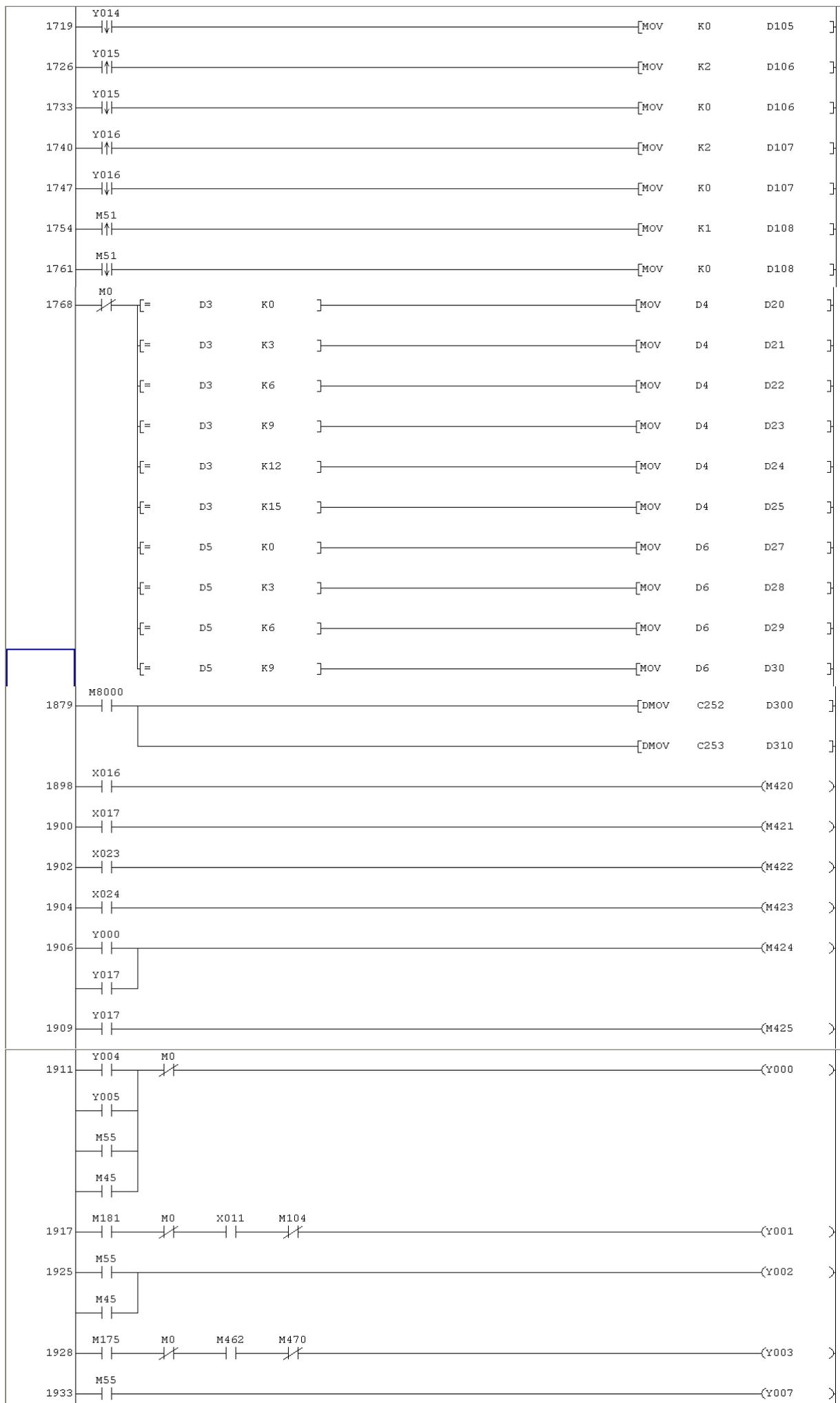


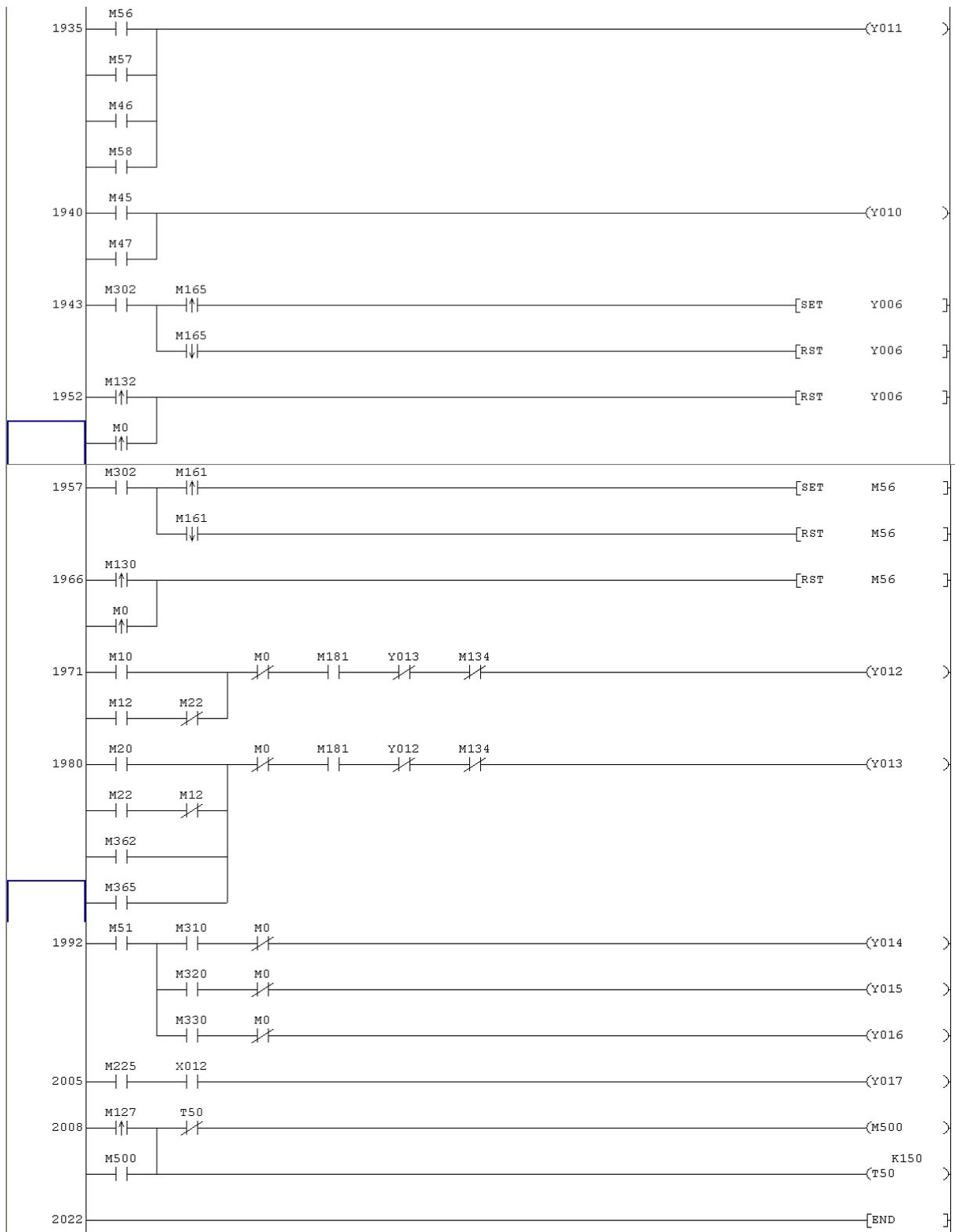




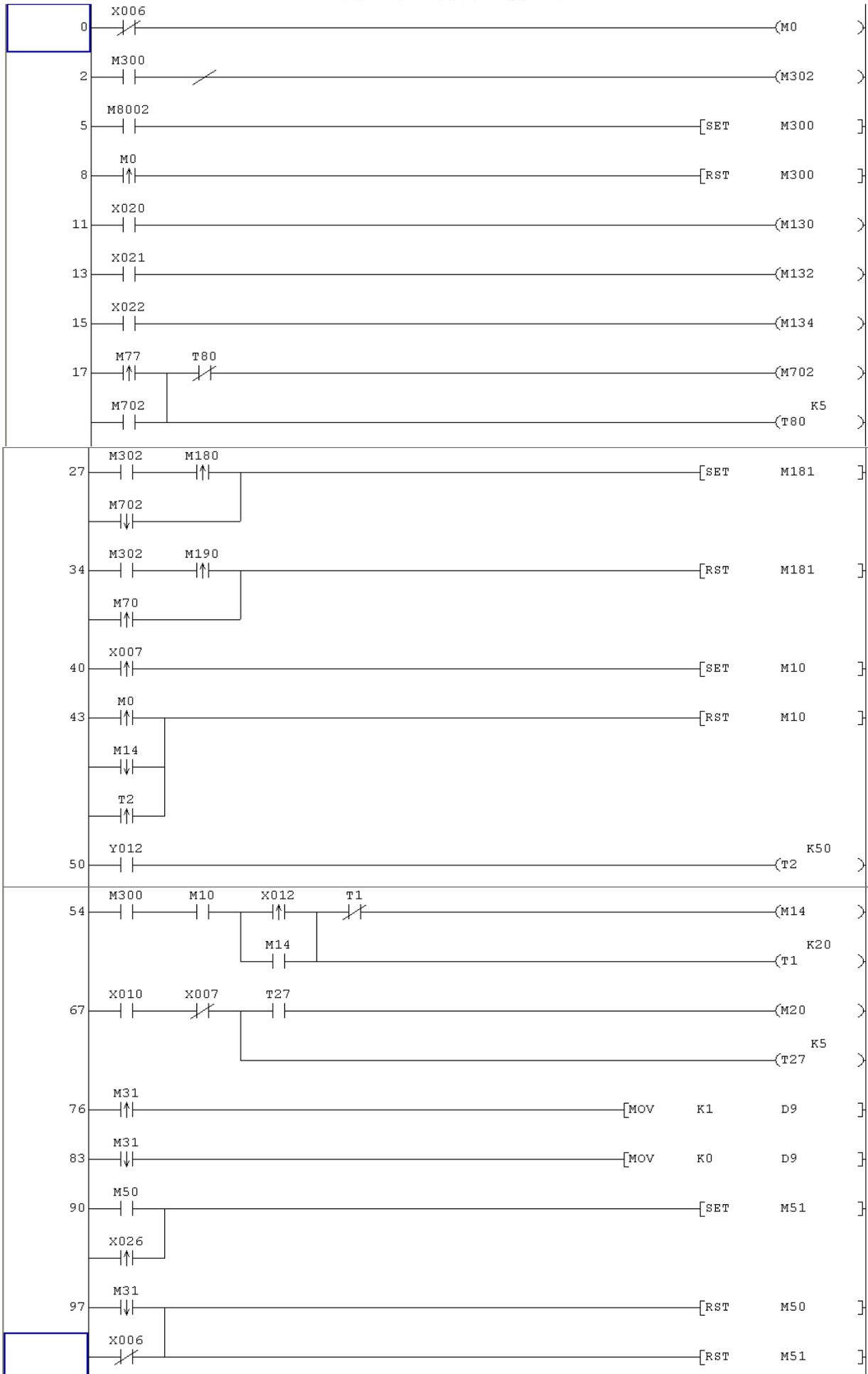


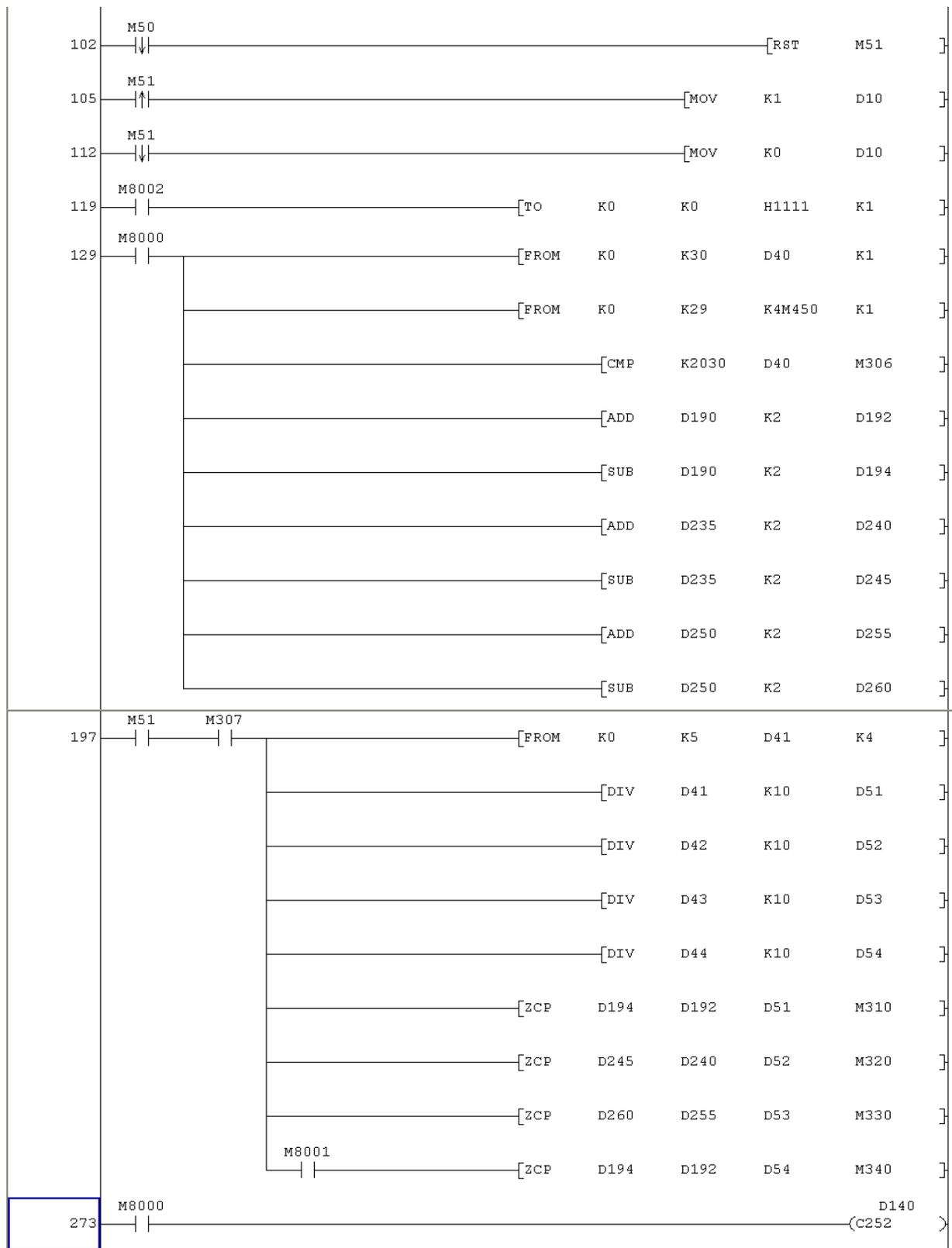


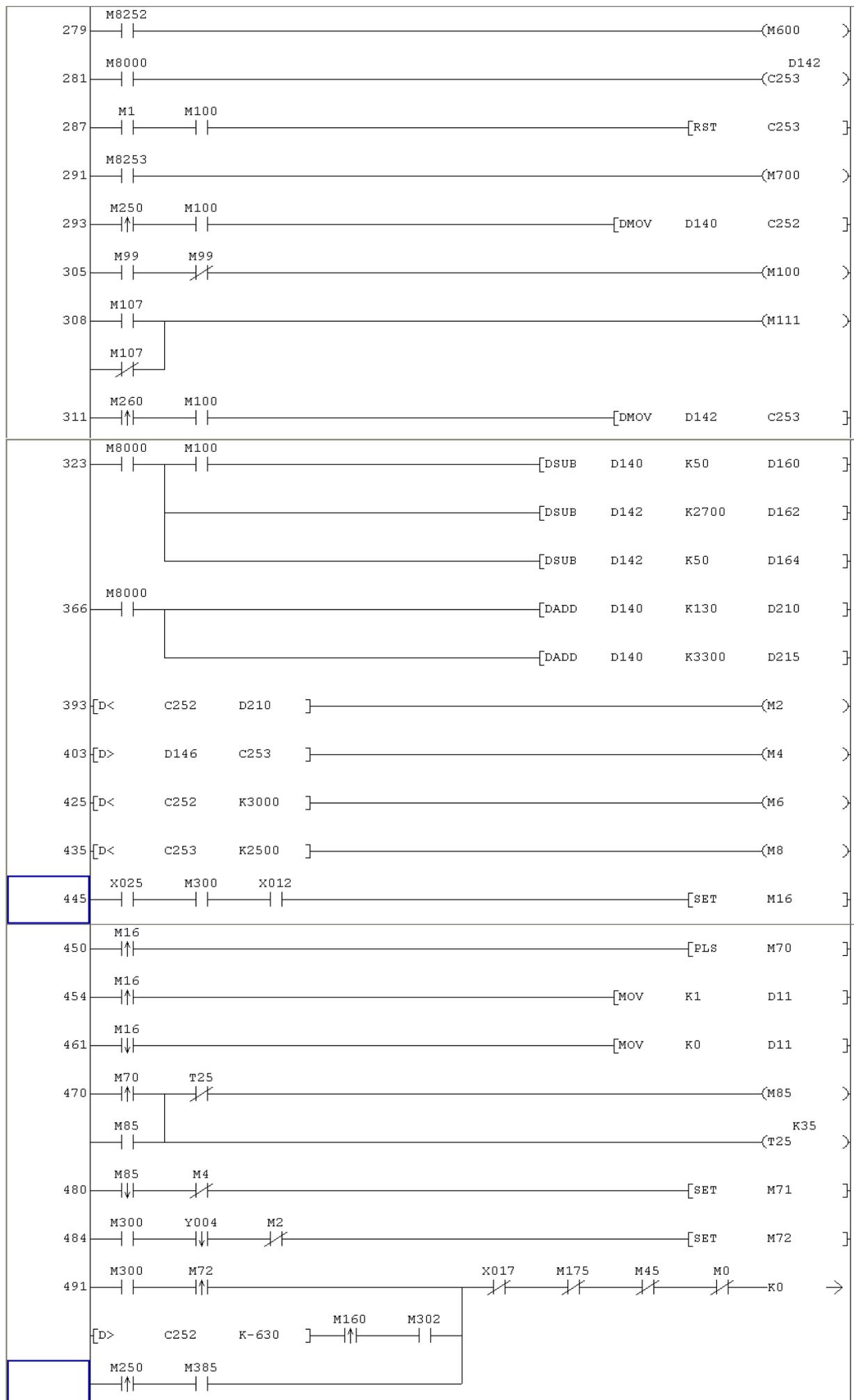


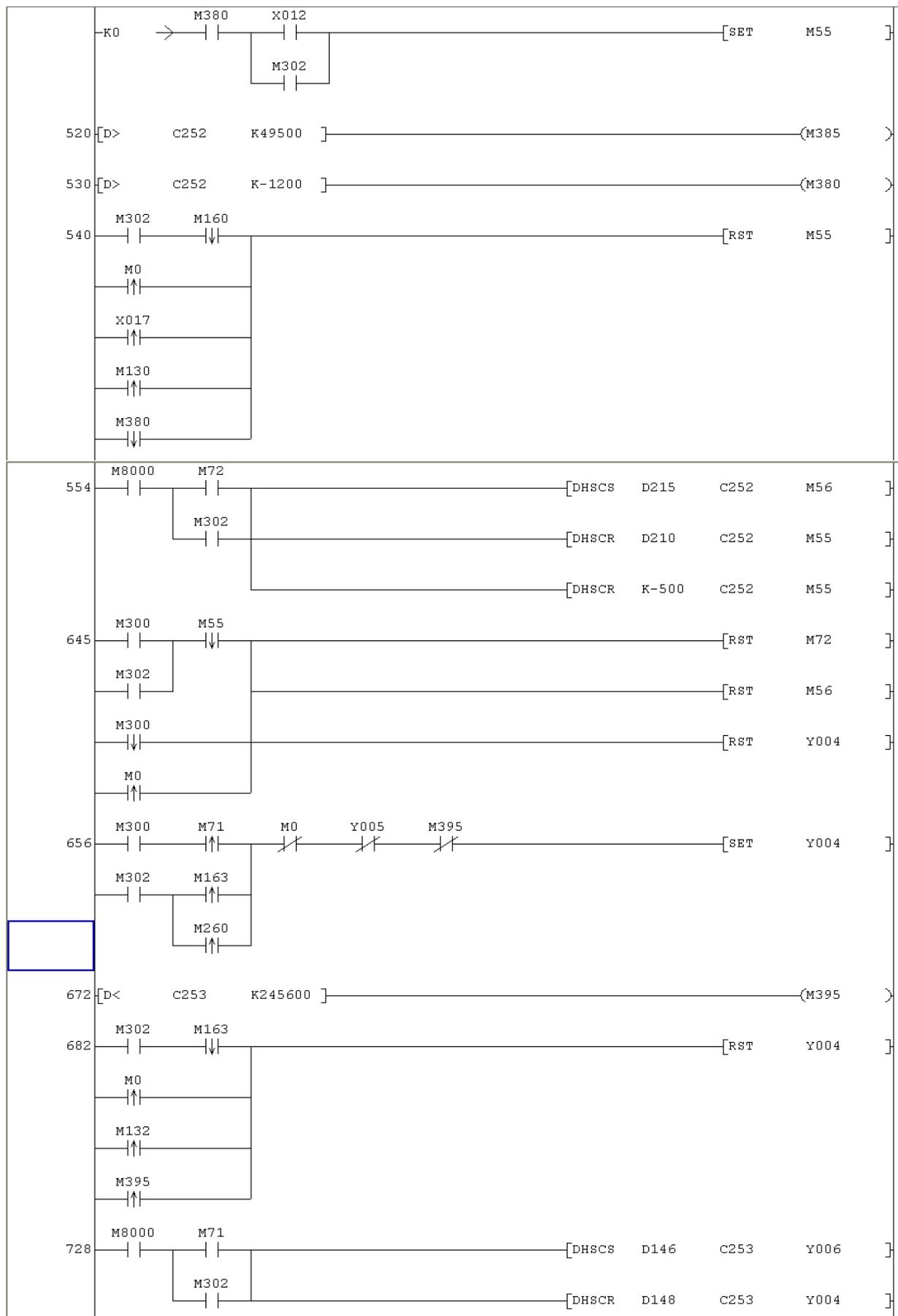


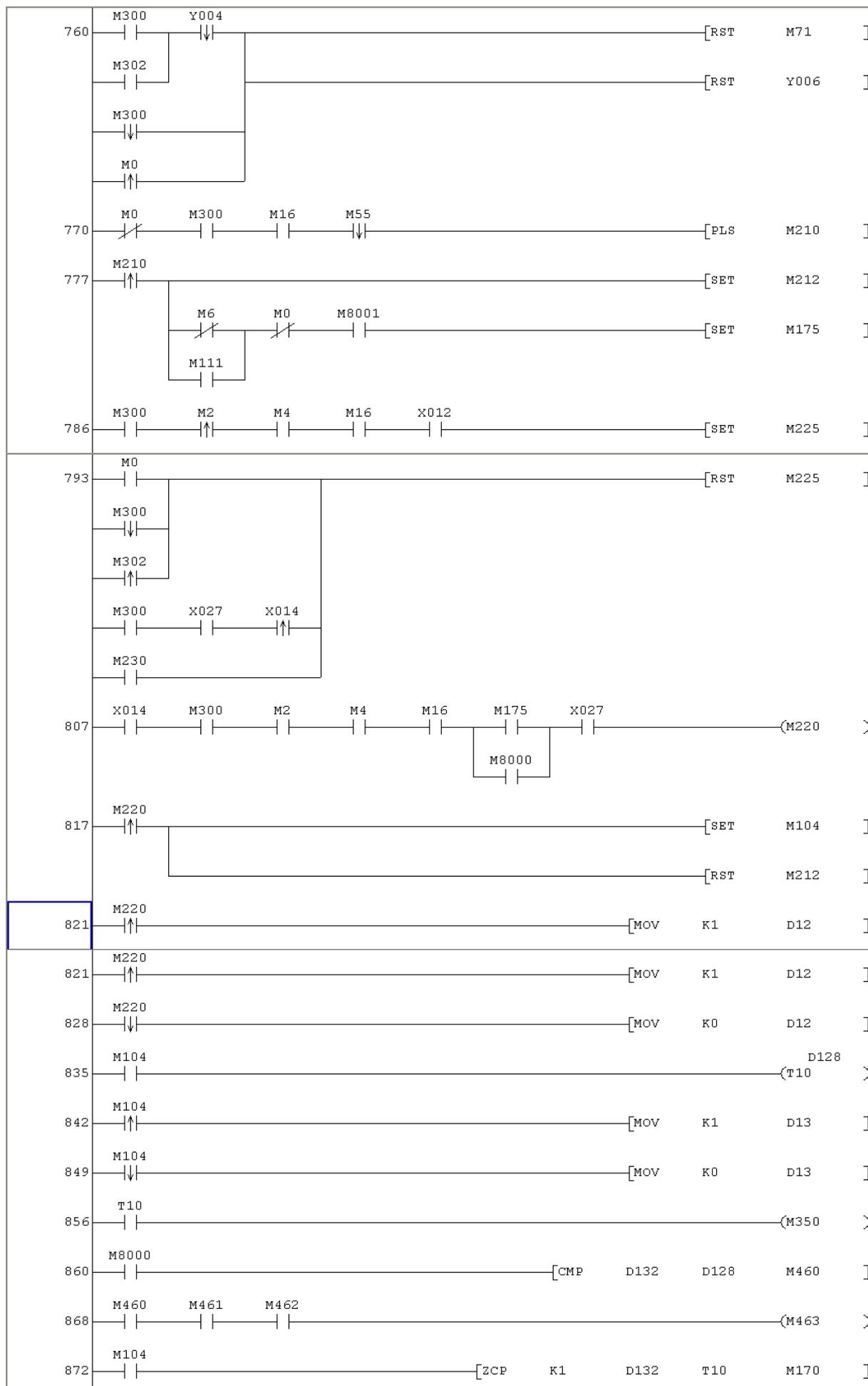
TORRE COLOMBIANA 511-006

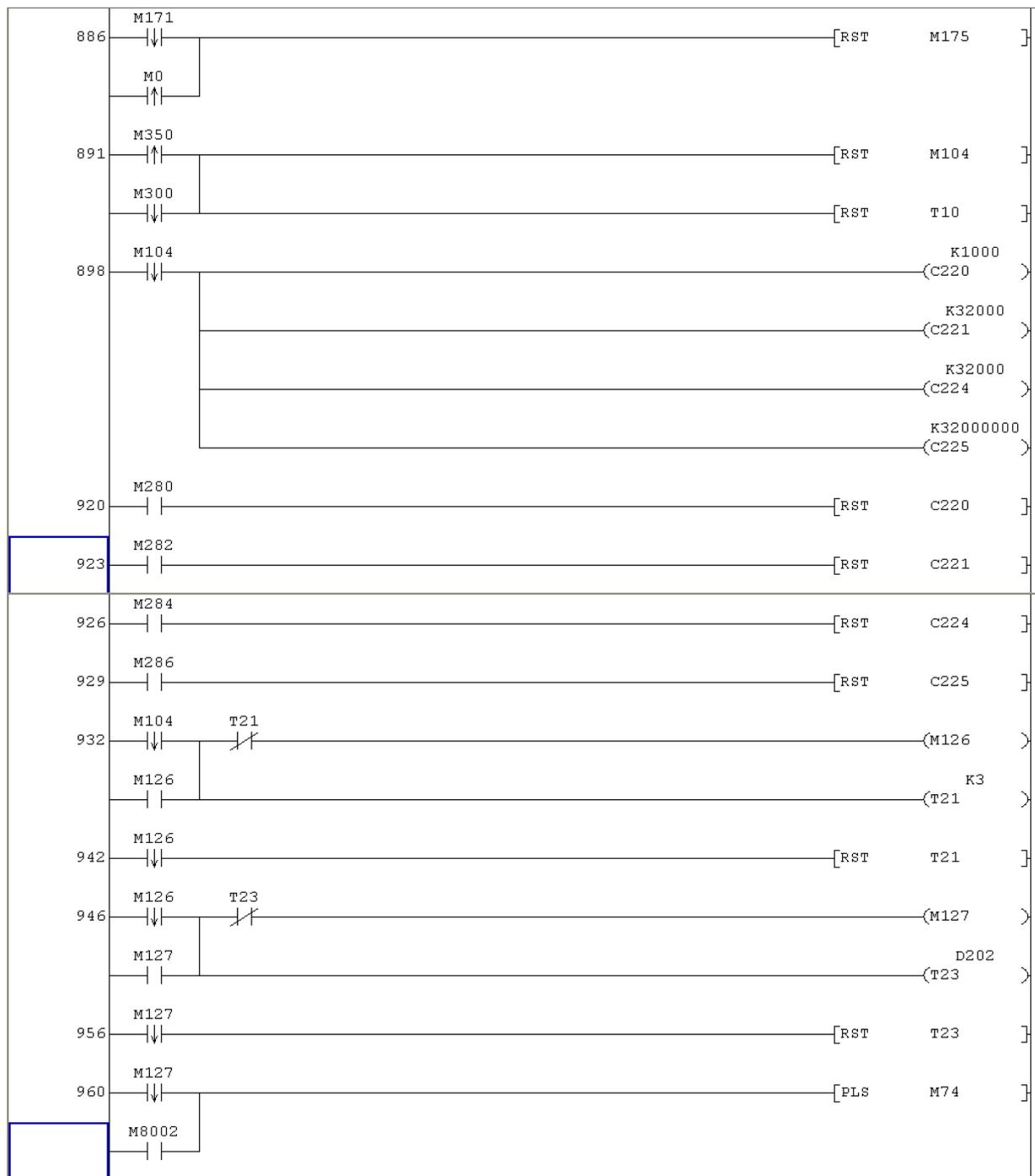


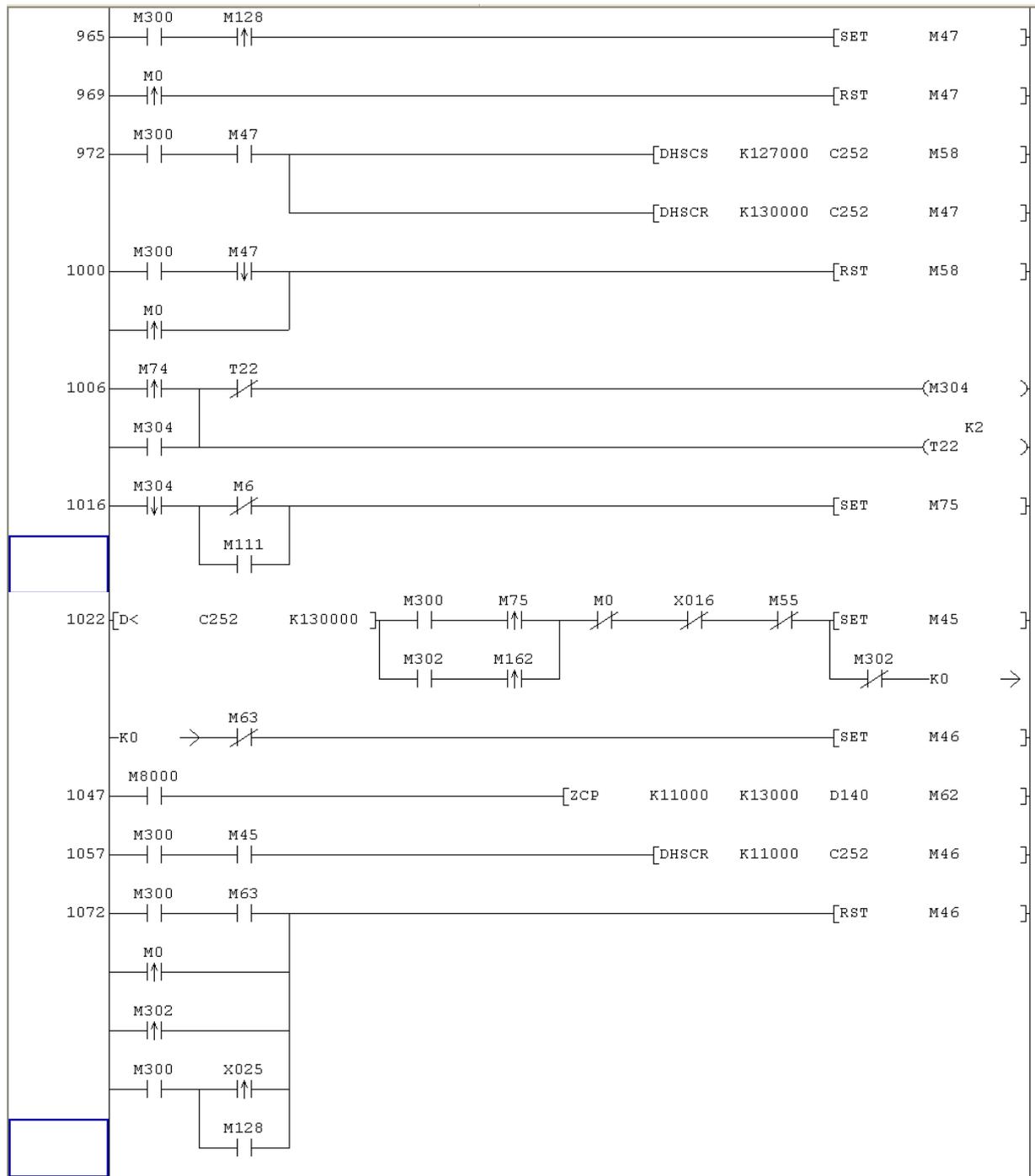


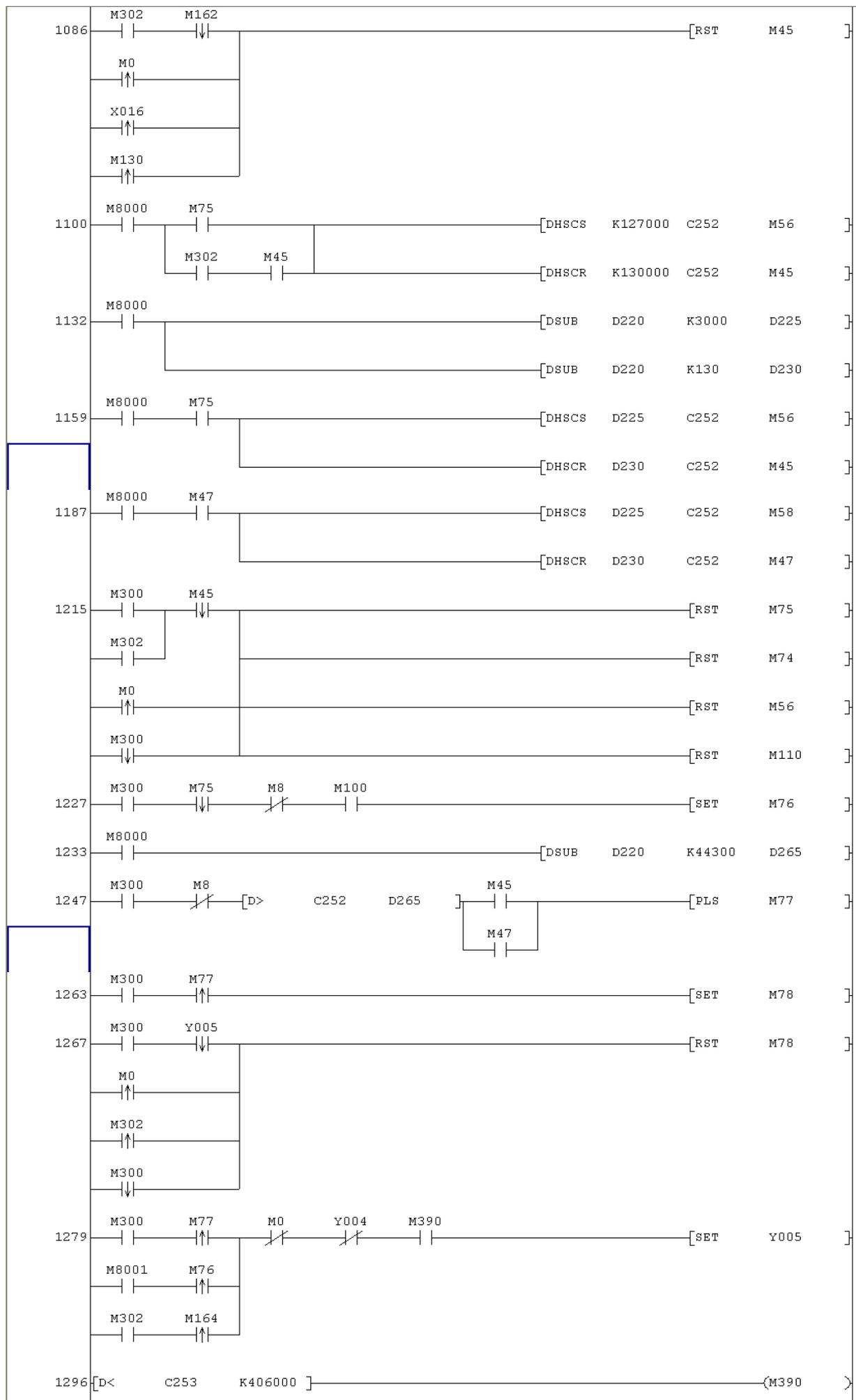


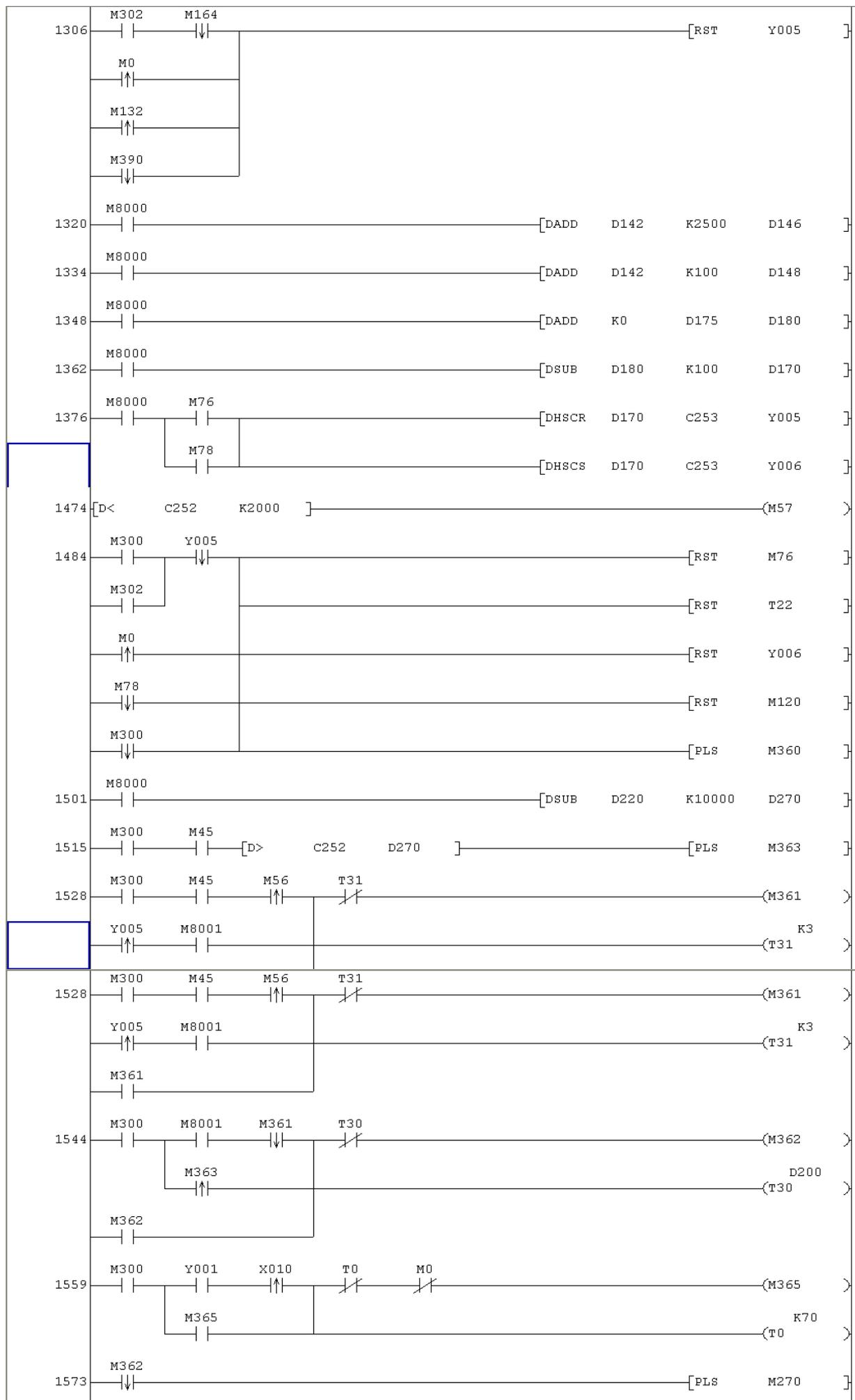


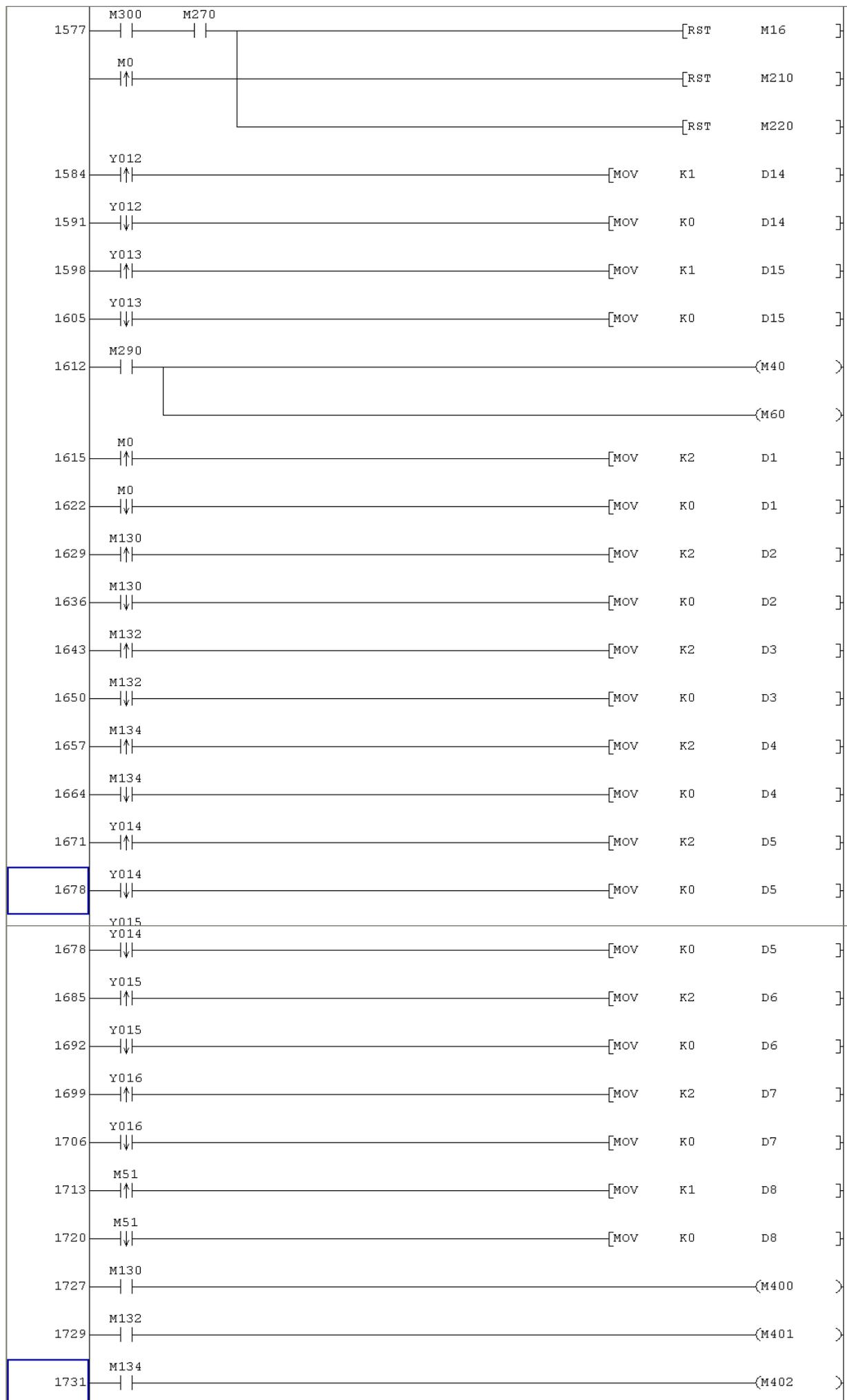


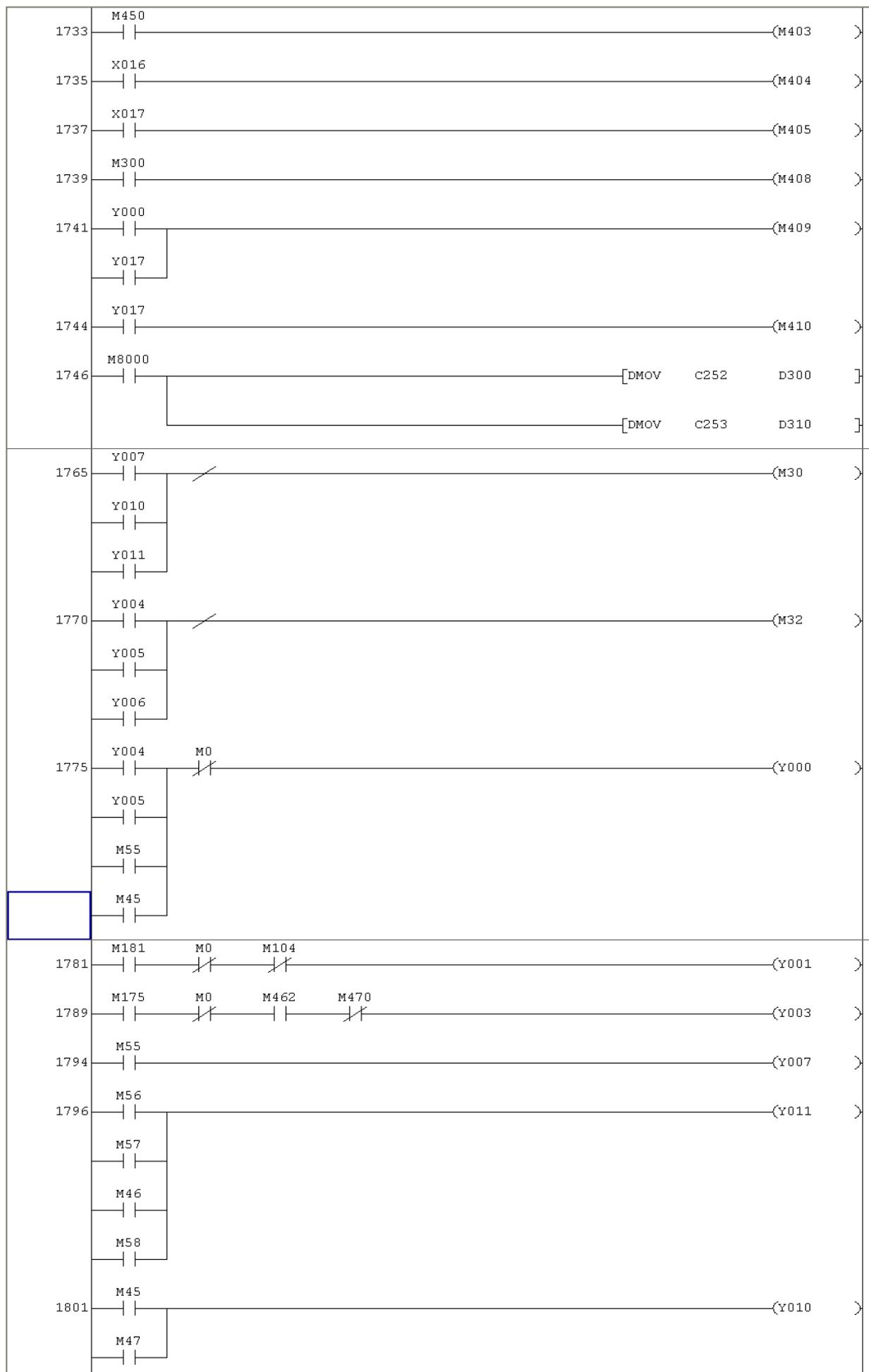


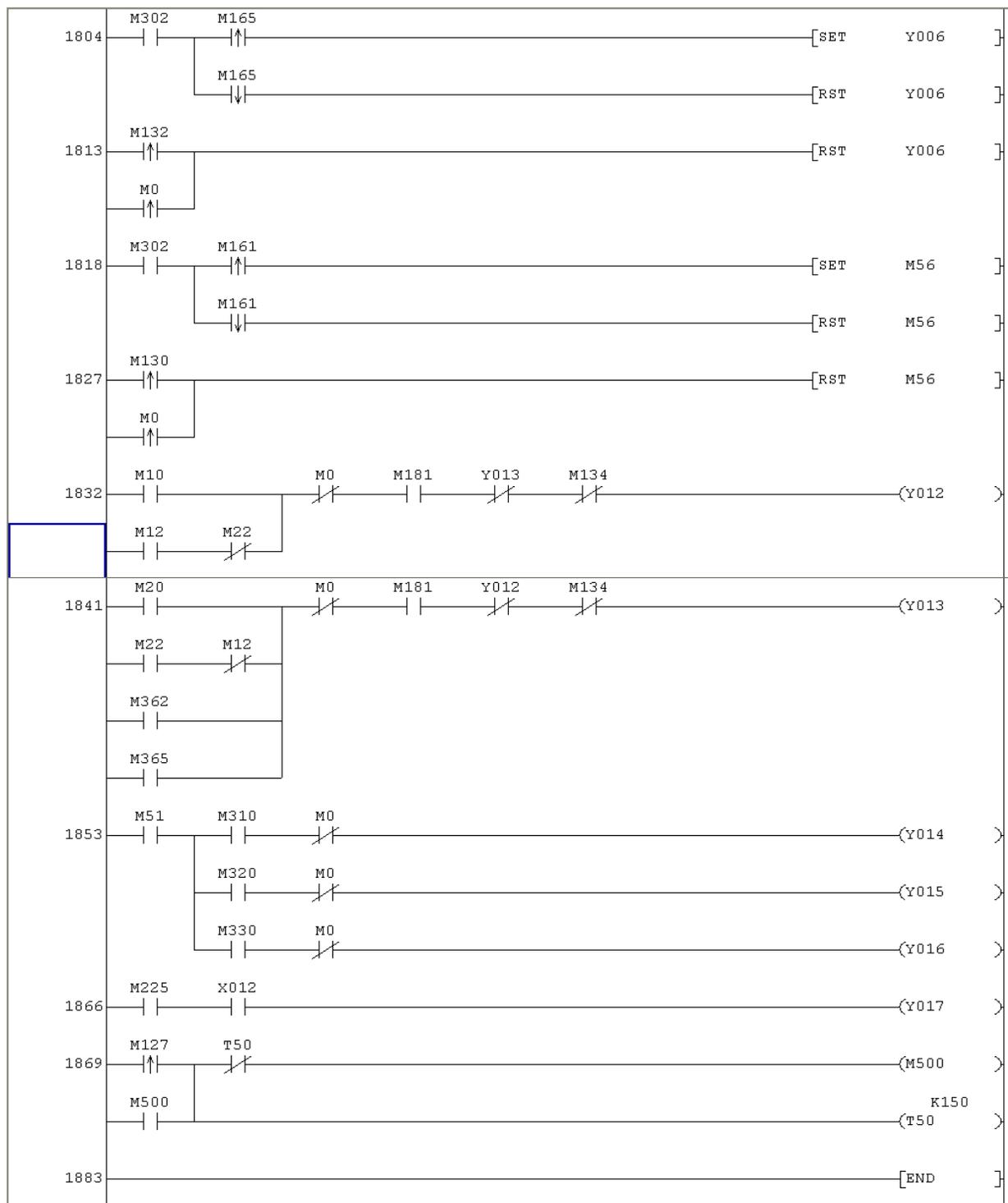




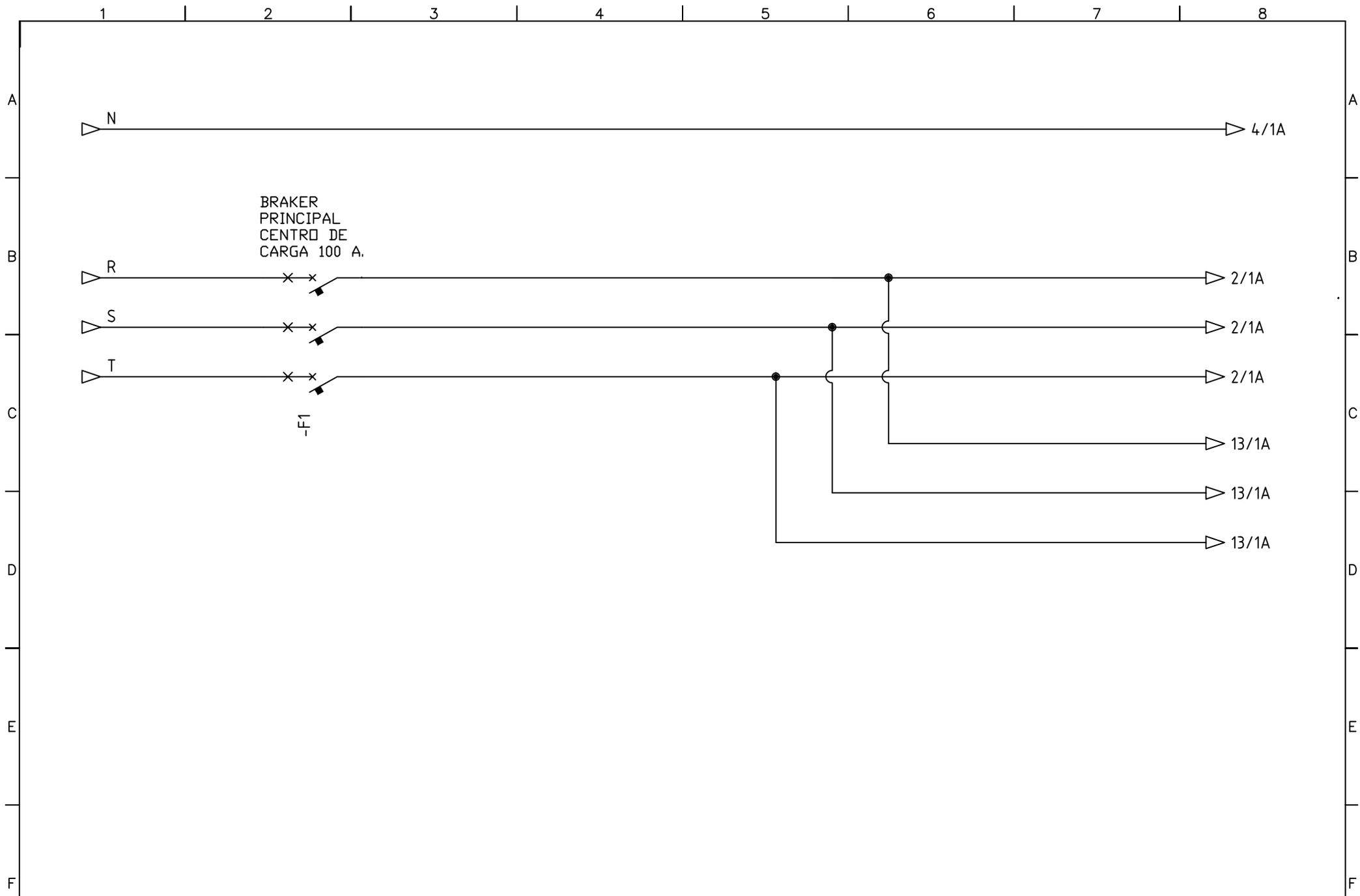








ANEXO 2



Fecha 13/01/12
 Dibujado ALVARADO J. GALLEGOS J.
 Norma IEC

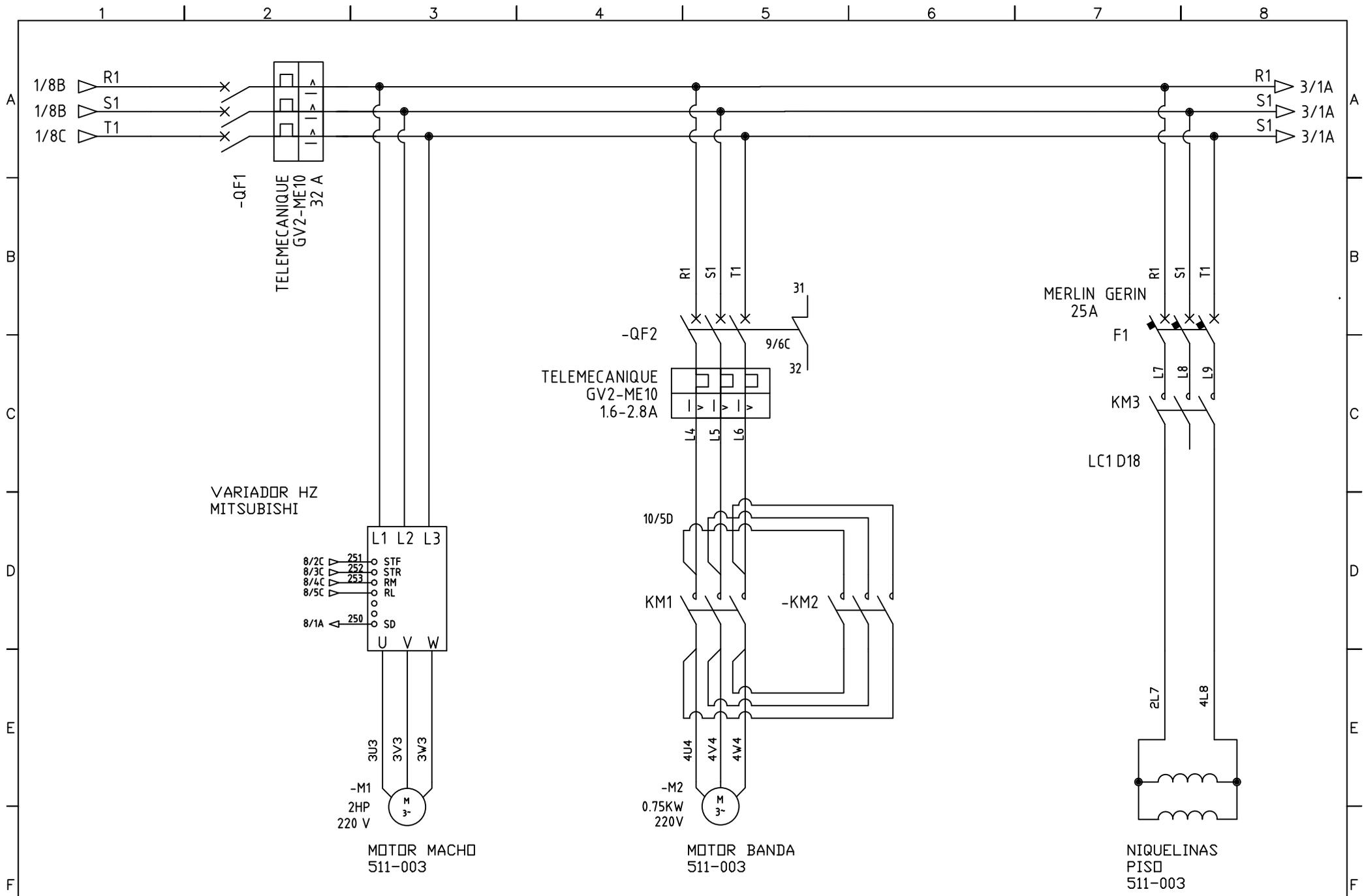
Nombre del proyecto TORRES INYECCION 511-003 / 511-004

Nombre de la pagina ALIMENTACION

Observaciones:

Archivo

Hoja 1



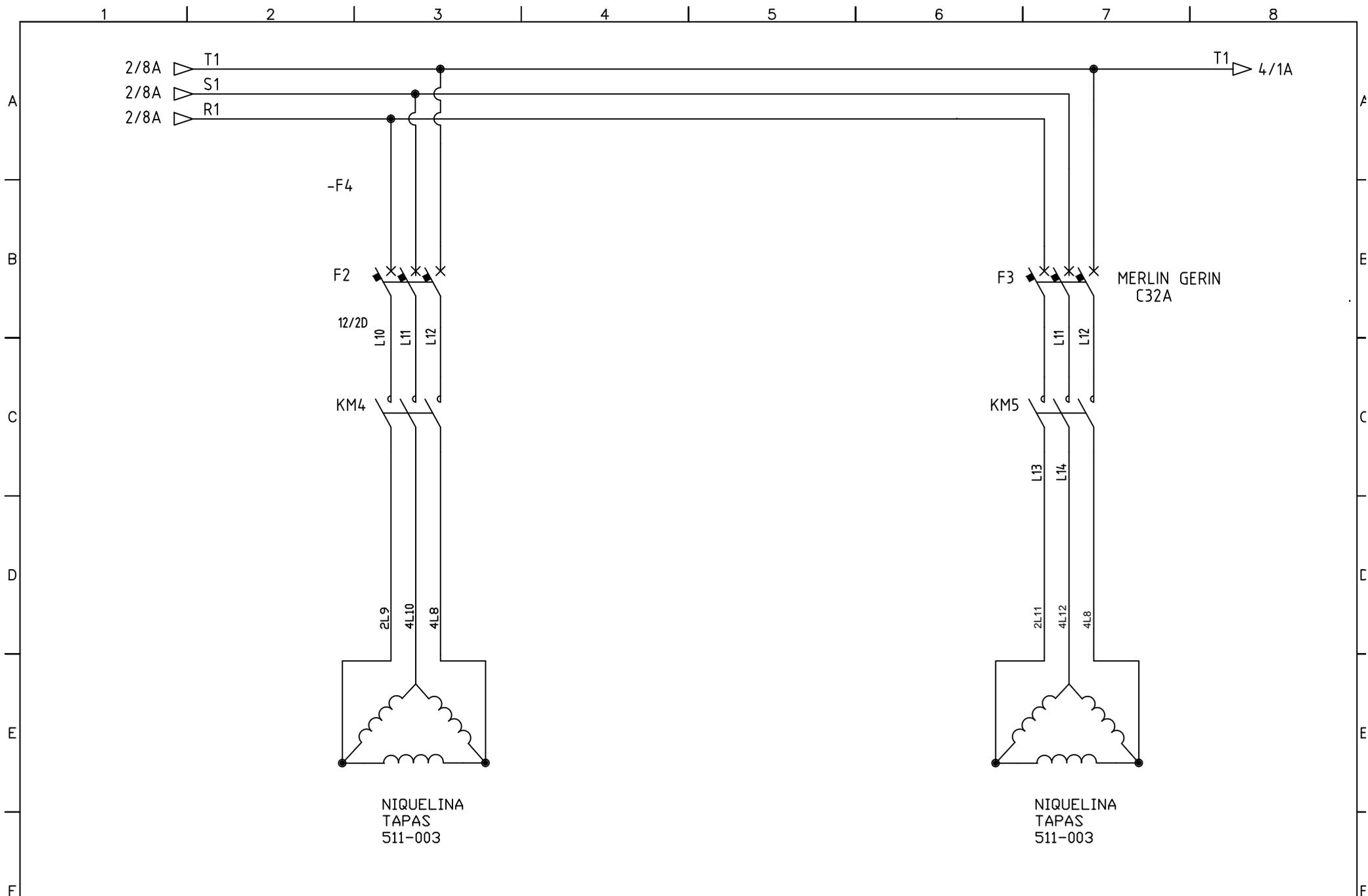
Fecha	13-01-12
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

Nombre del proyecto
TORRES INYECCION 511-00 / 511-004

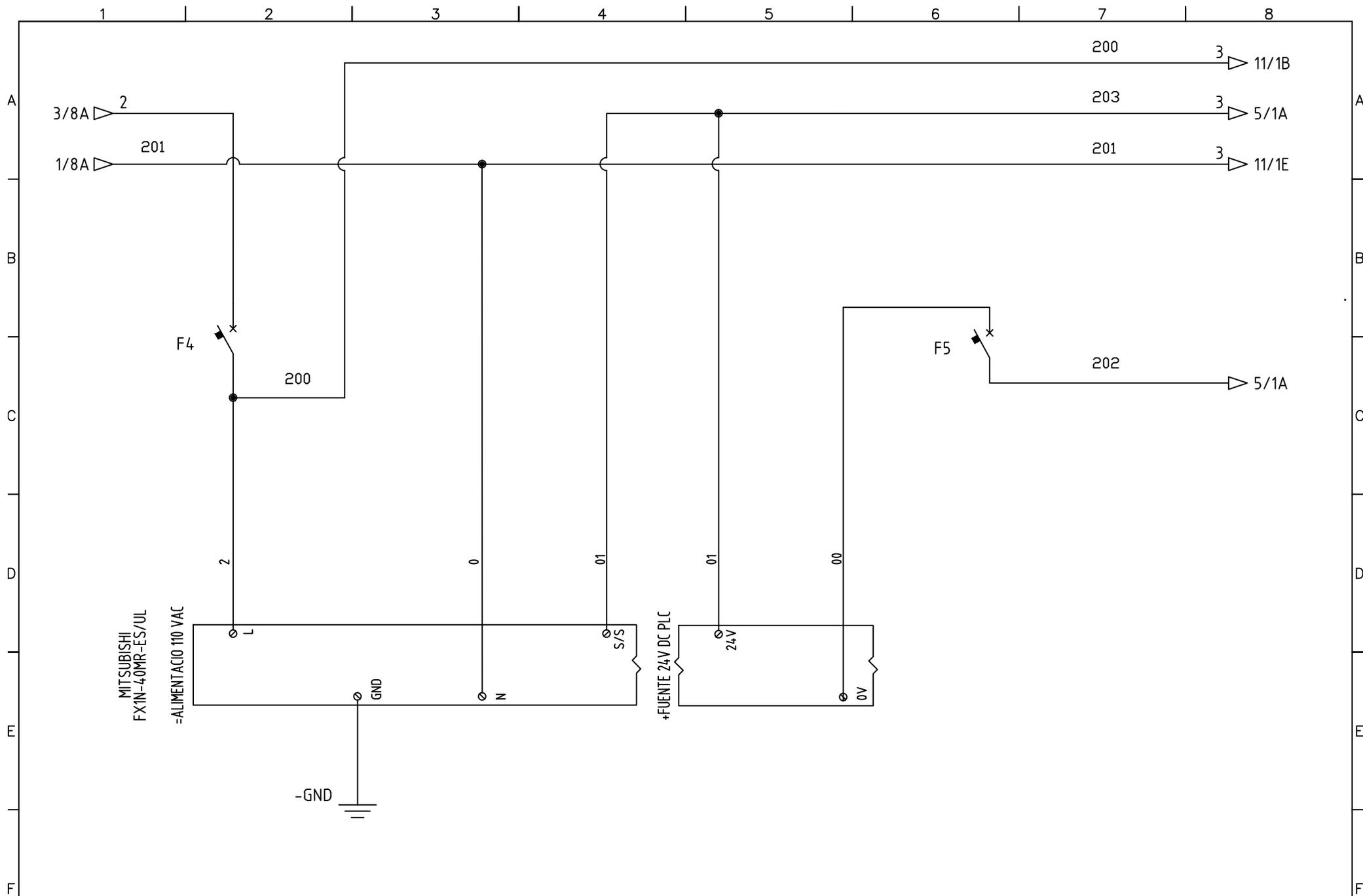
Nombre de la pagina
CIRCUITO DE FUERZA

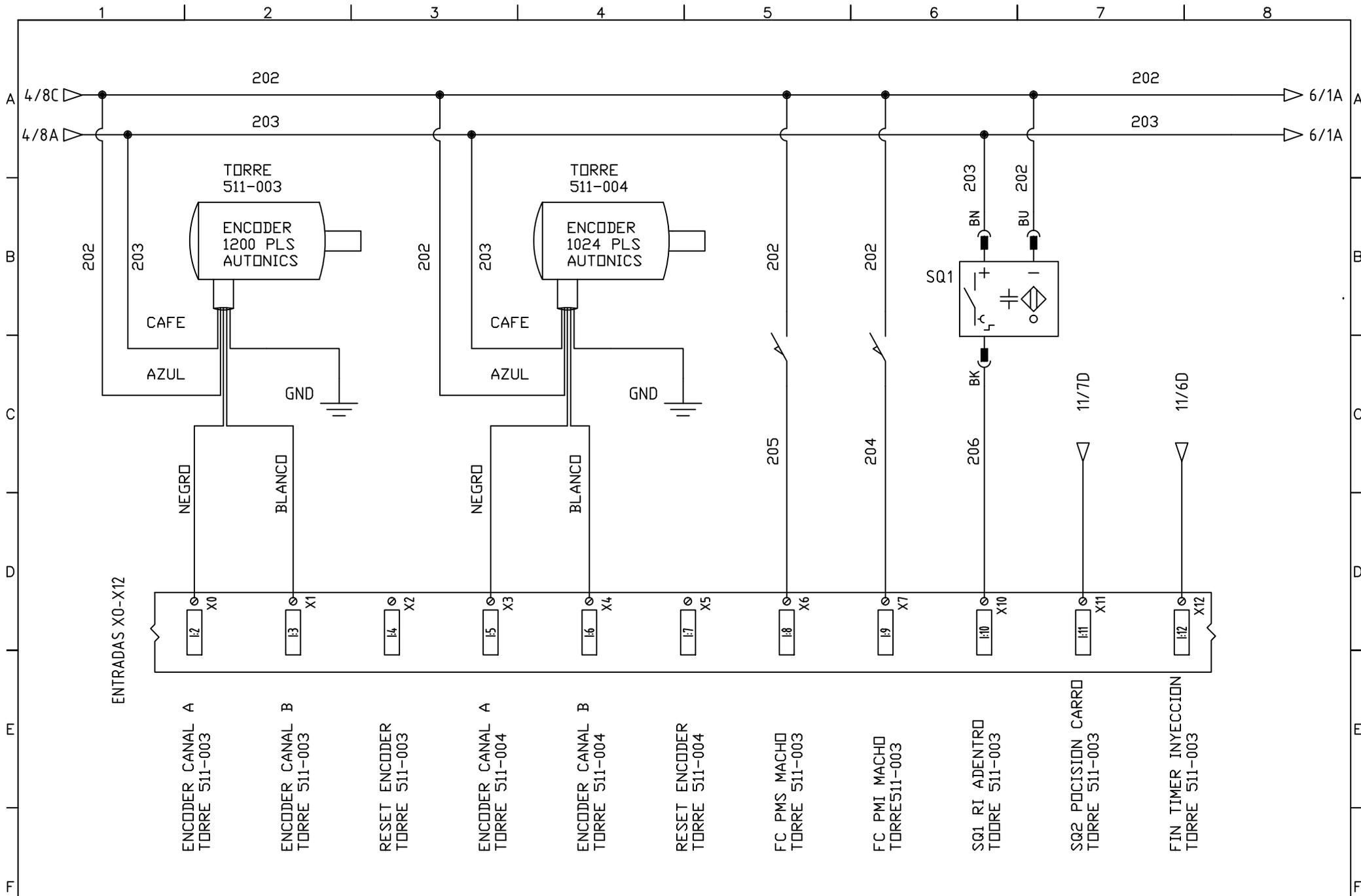
Observaciones:

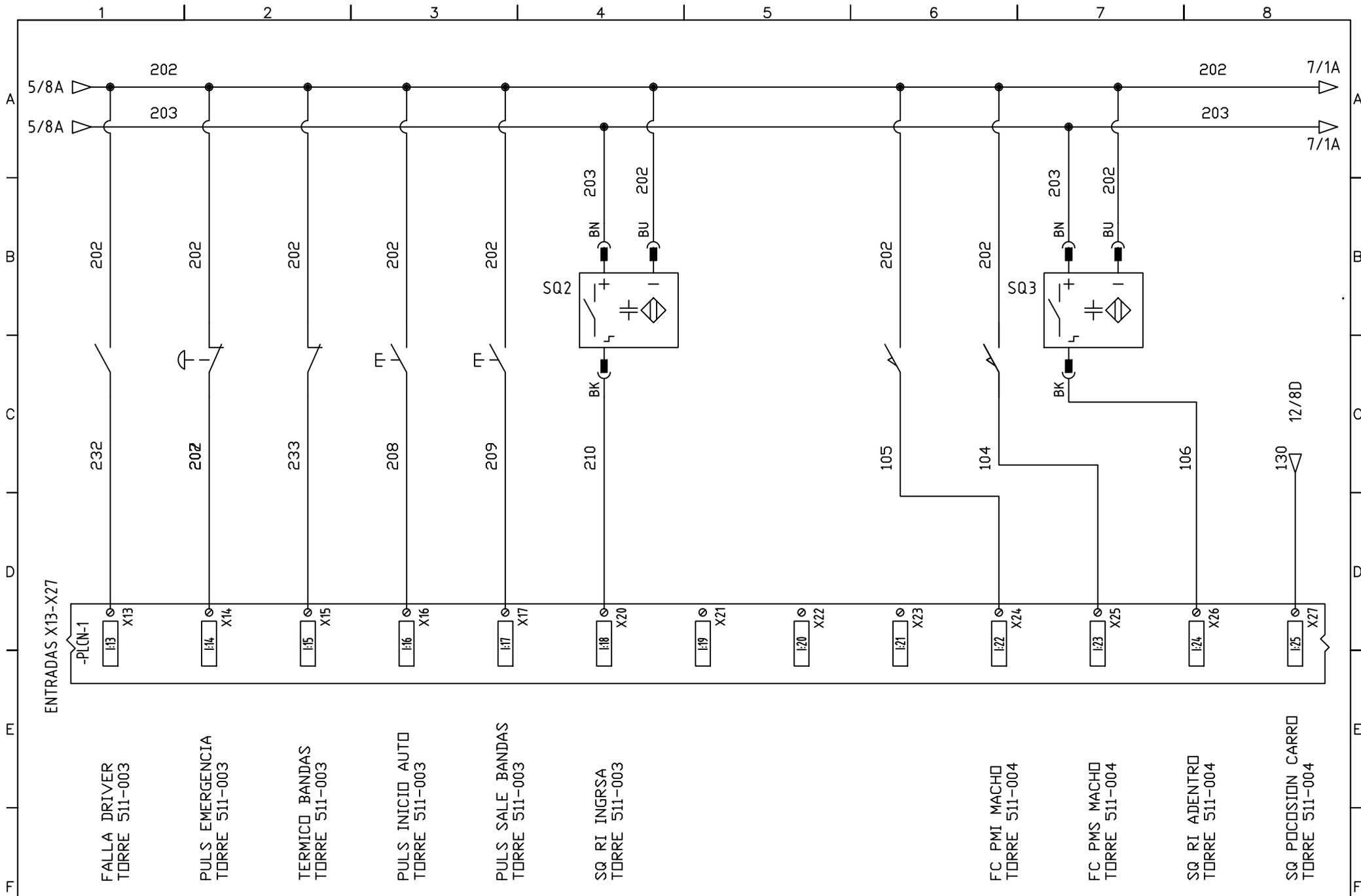
Archivo



Fecha	13-01-12	Nombre del proyecto	TORRES INYECCION 511-003 / 511-004		Nombre de la pagina	CIRCUITO DE FUERZA NIQUELINAS		Observaciones:	Archivo C:\MPLAZA	Hoja
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.									3
Norma	IEC									







Fecha: 13/01/2012
 Dibujado: ALVARADO J. GALLEGOS J.
 Norma: IEC

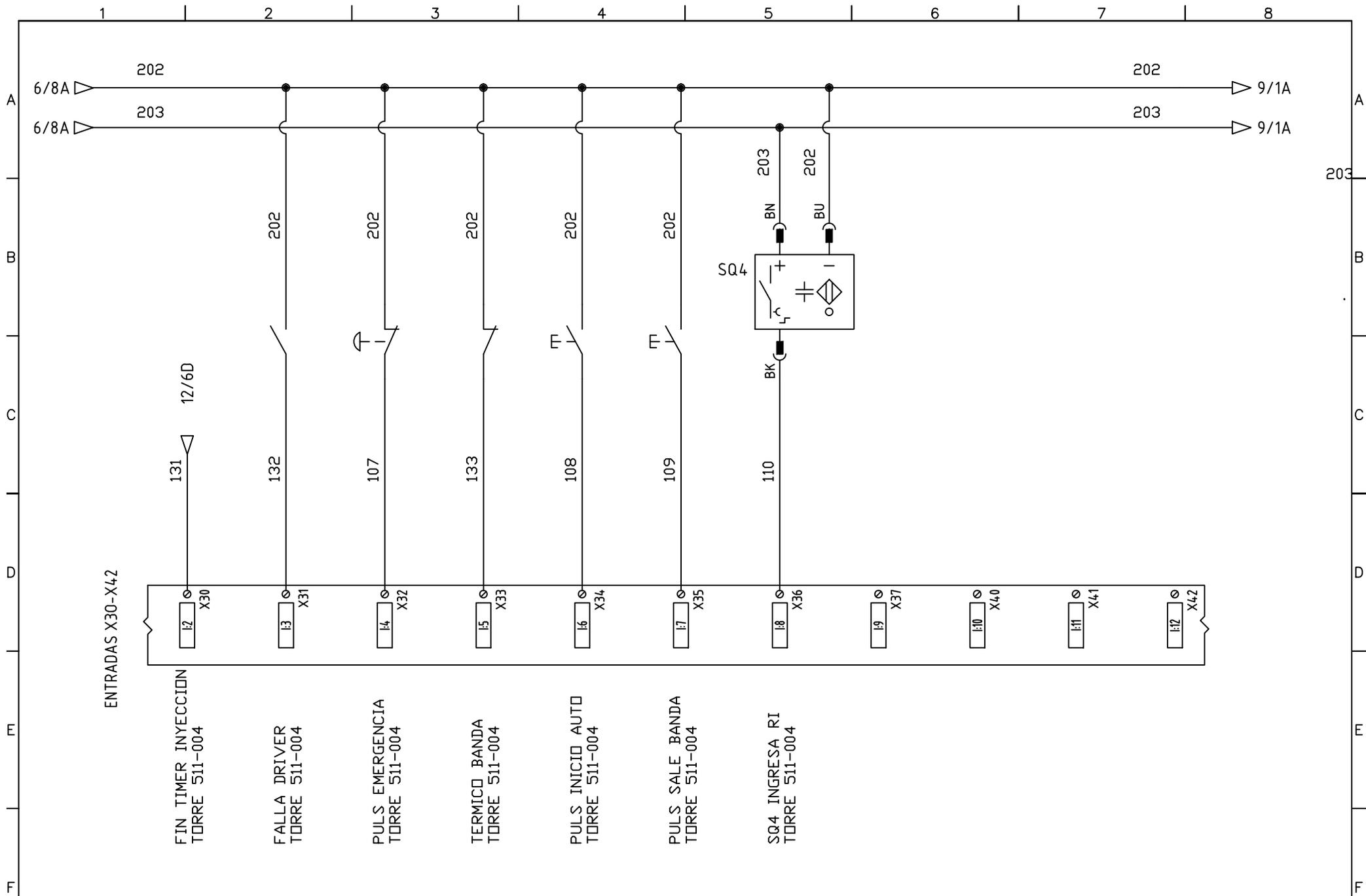
Nombre del proyecto: TORRES INYECCION 511-003 / 511-004

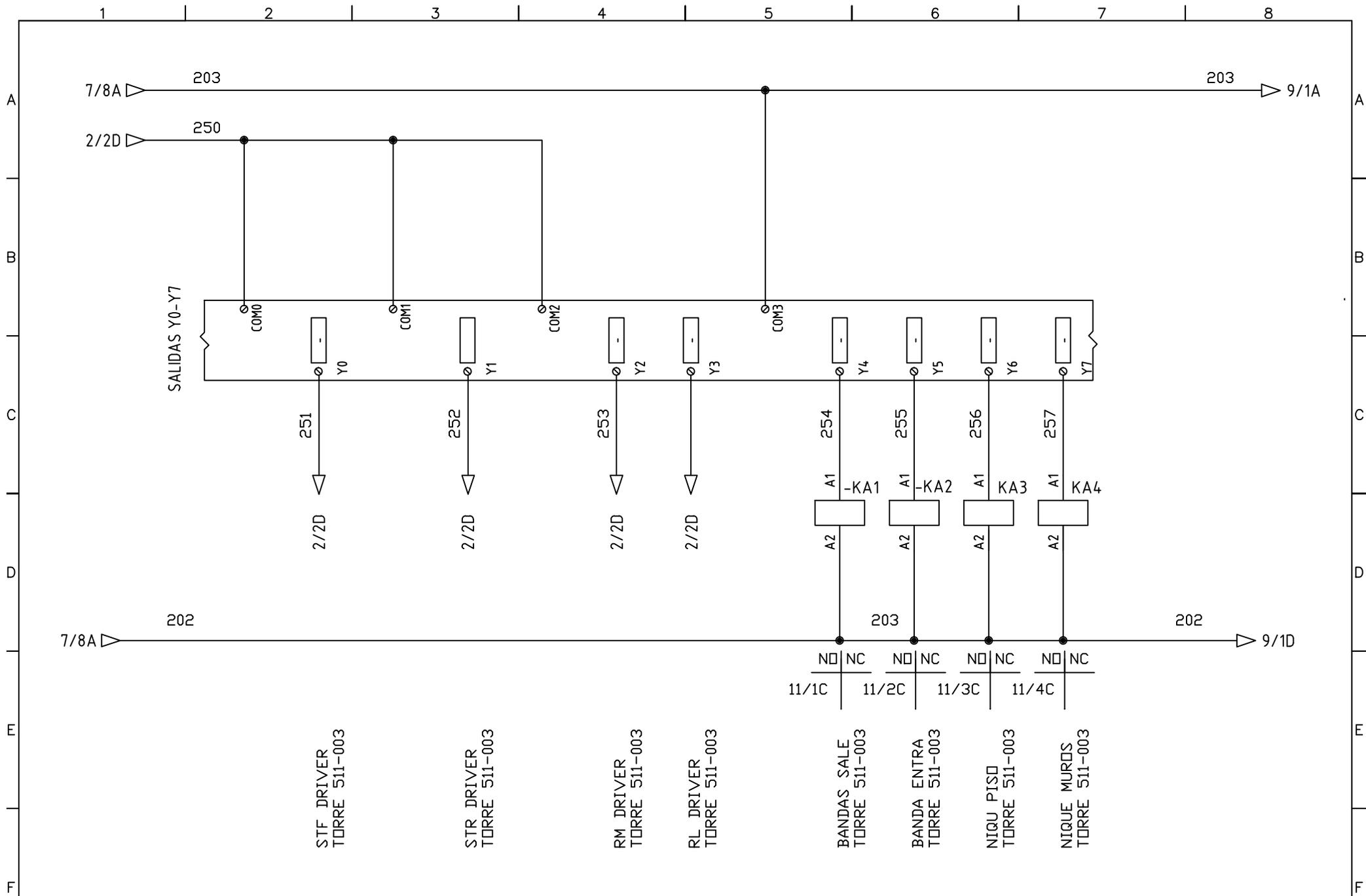
Nombre de la pagina: ENTRADAS X13 - X27 PLC

Observaciones:

Archivo

Hoja: 6





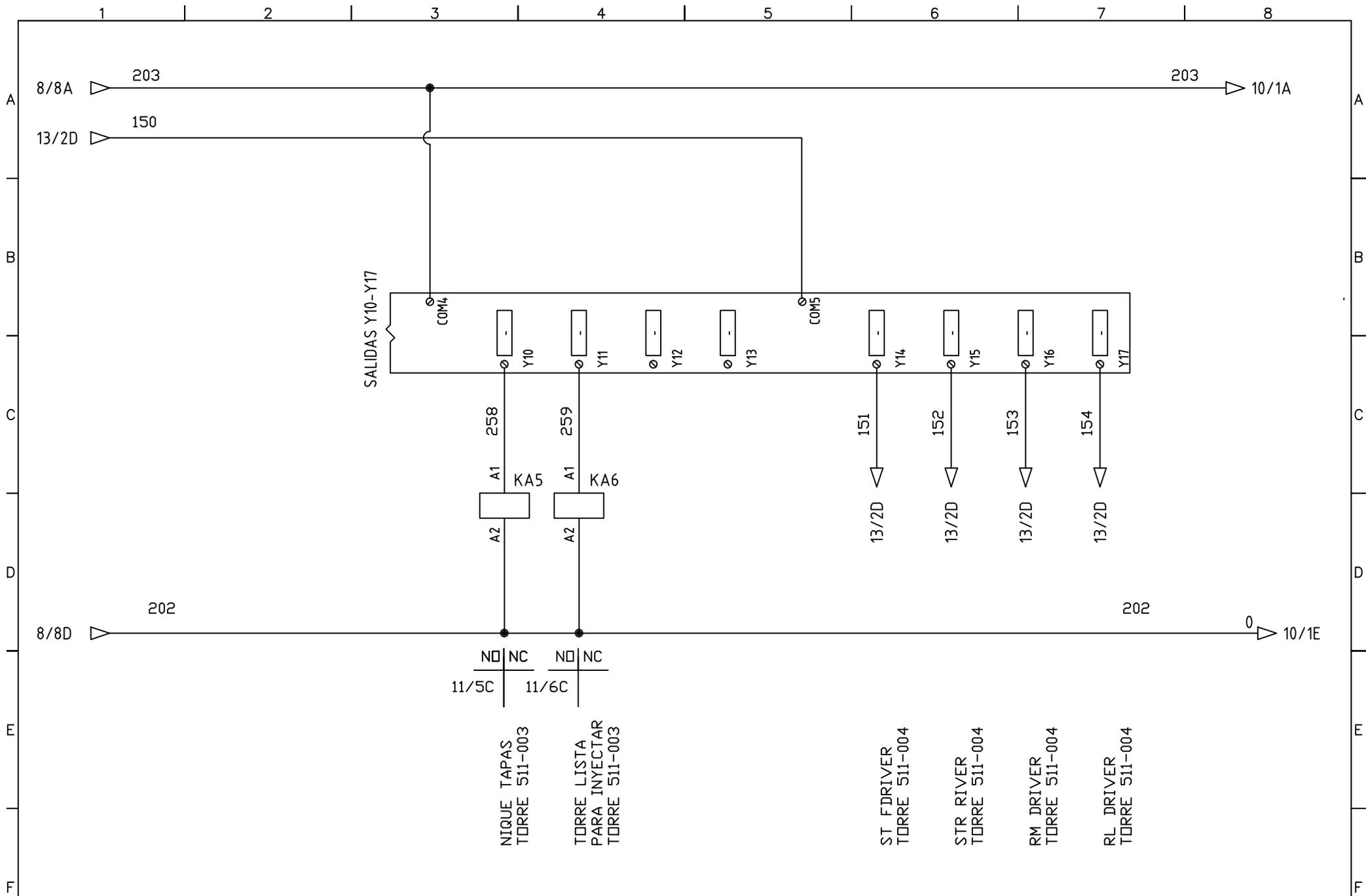
Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

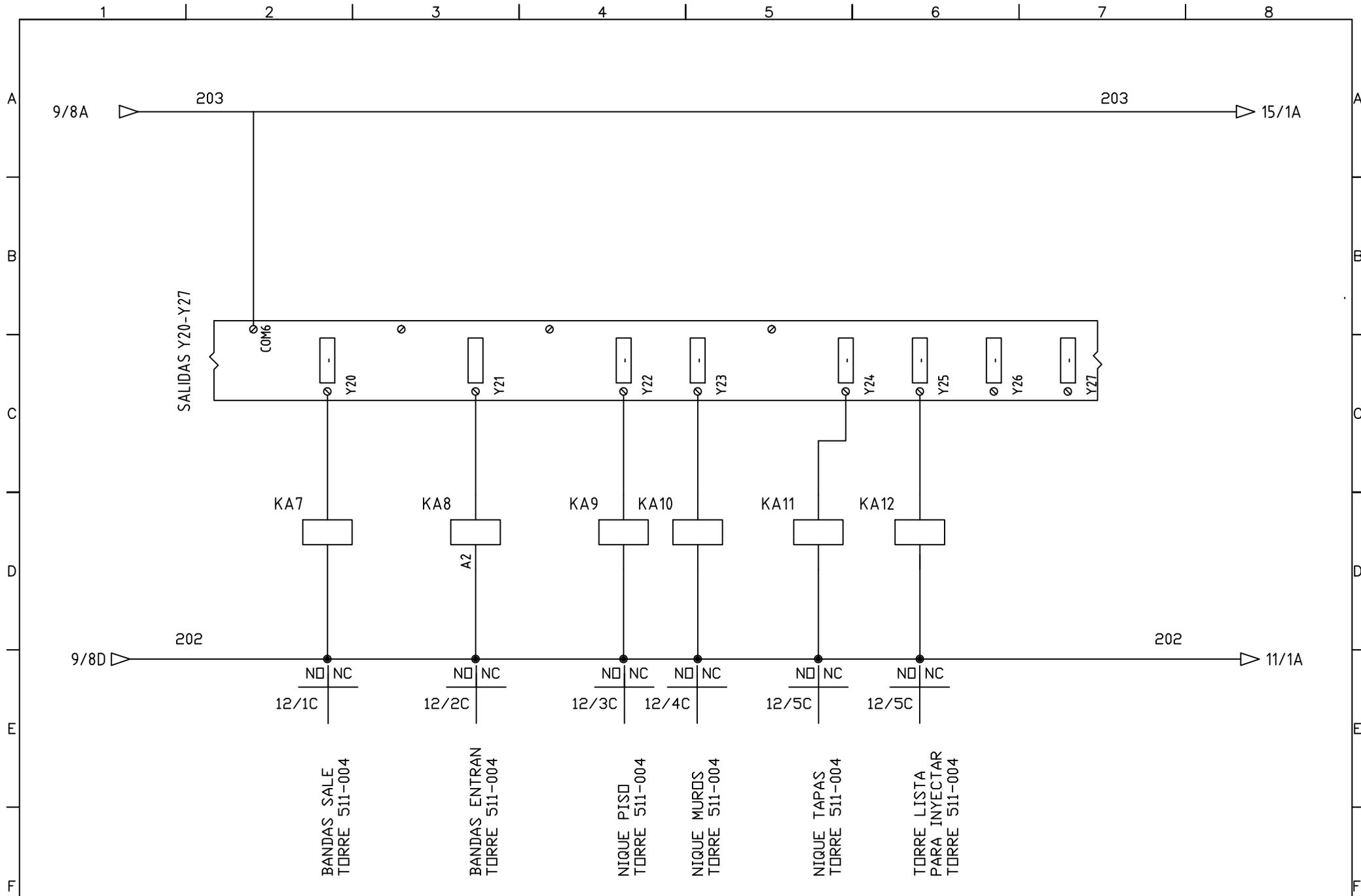
Nombre del proyecto	TORRES INYECCION 511-003 / 511-004
---------------------	------------------------------------

Nombre de la pagina	SALIDAS Y0 - Y7 PLC
---------------------	---------------------

Observaciones:	Archivo
----------------	---------

Hoja	8
------	---



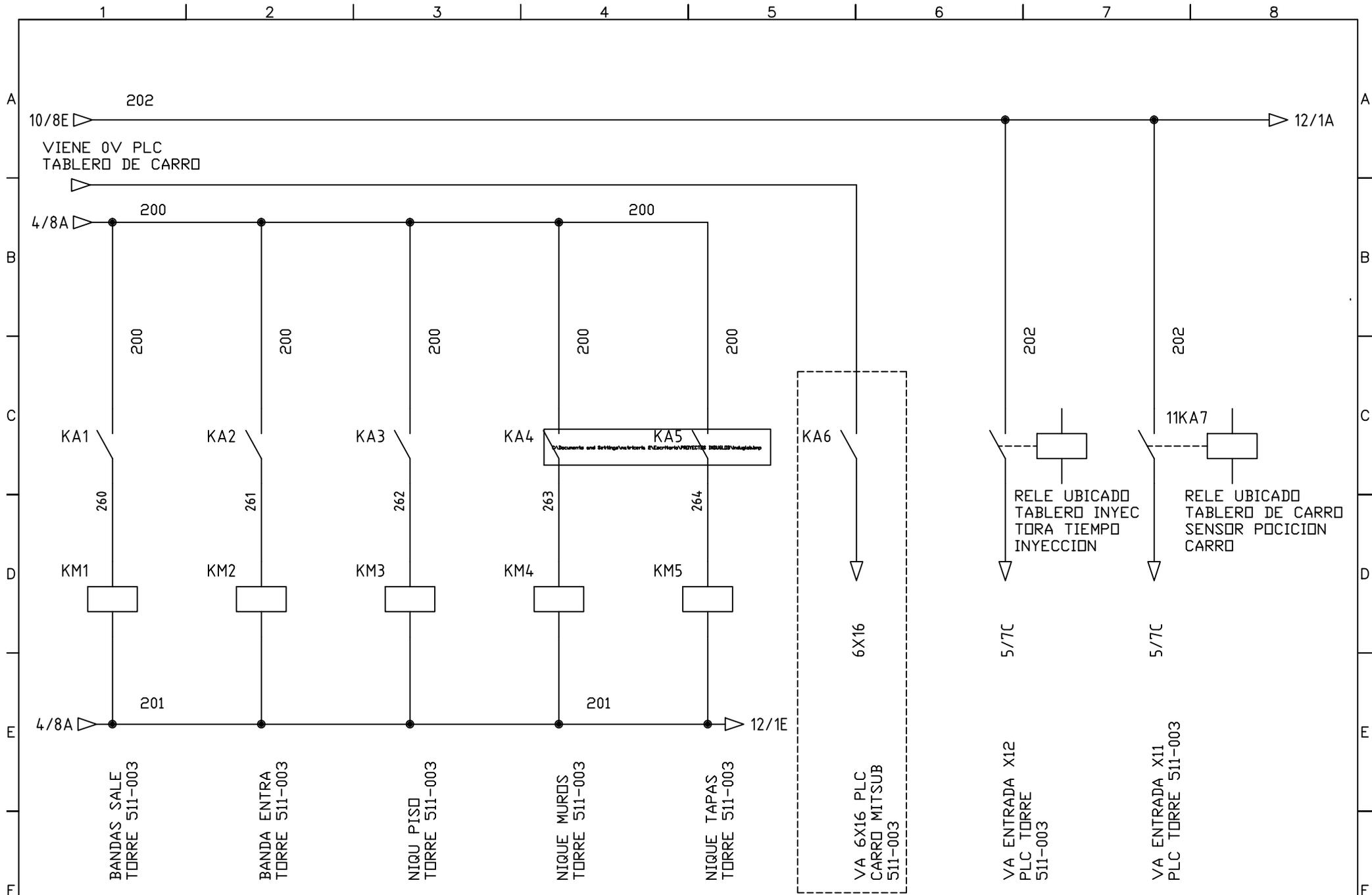


Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

Nombre del proyecto	TORRES INYECCION 511-003 / 511-004
---------------------	------------------------------------

Nombre de la pagina	SALIDAS Y20-Y27 PLC
---------------------	---------------------

Observaciones:	
Archivo	



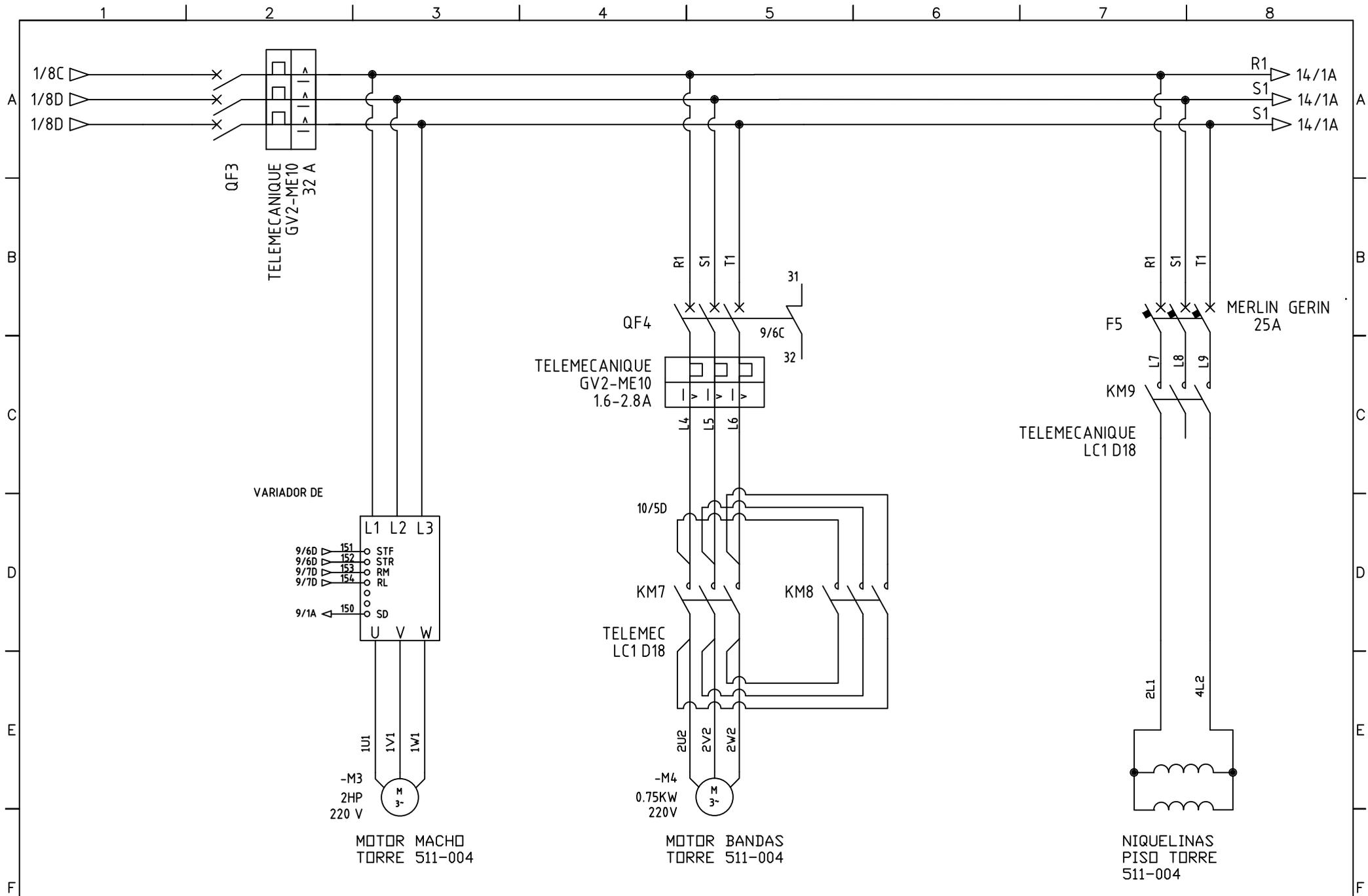
Fecha: 13/01/2012
 Dibujado: ALVARADO J. GALLEGOS J.
 Norma: IEC

Nombre del proyecto: TORRES INYECCION 511-003 / 511-004

Nombre de la pagina: MANDO DE RELÉS Y CONTACTORES

Observaciones:

Archivo



Fecha: 13/01/2012
 Dibujado: ALVARADO J. GALLEGOS J.
 Norma: IEC

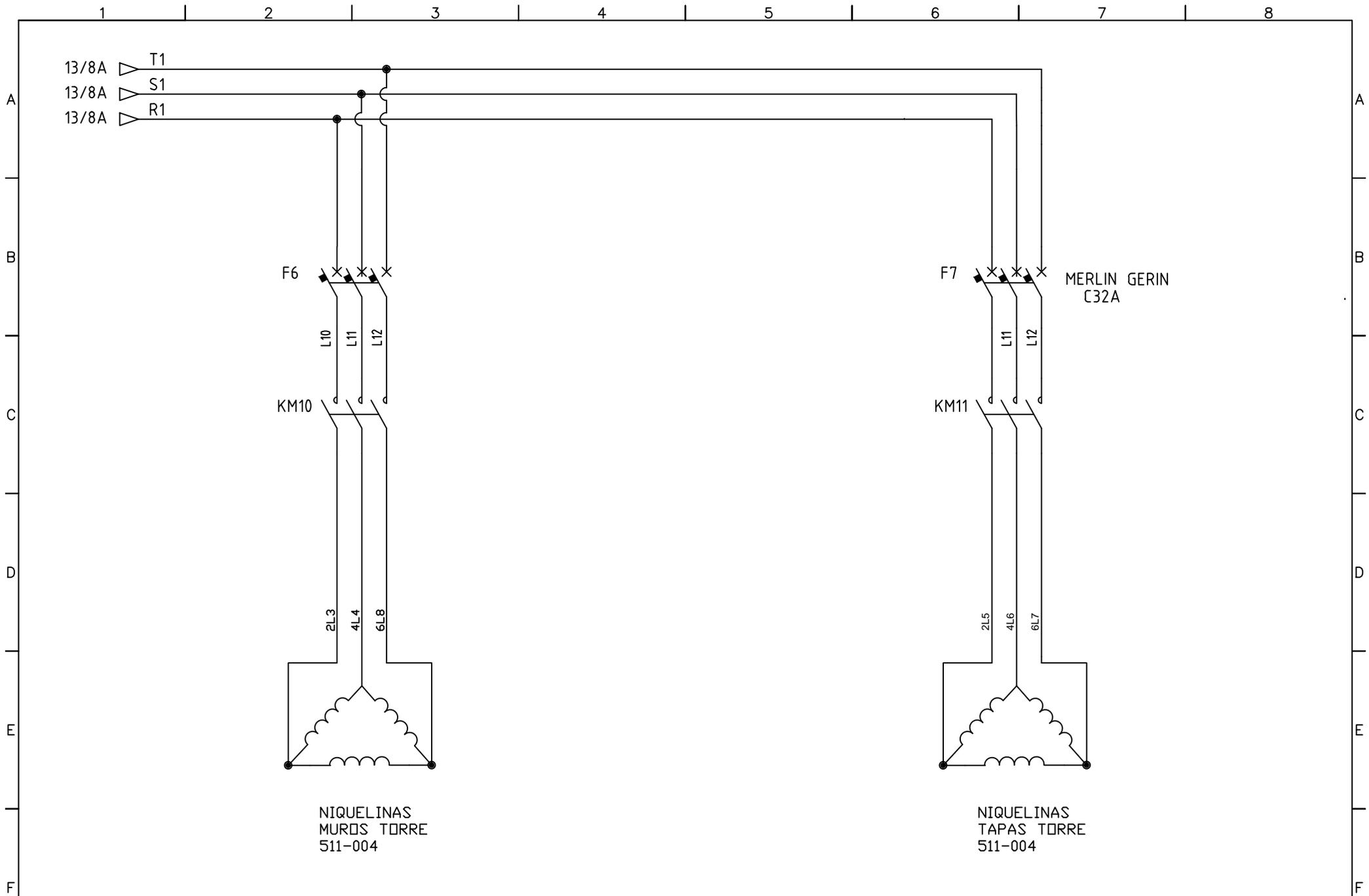
Nombre del proyecto: TORRES INYECCION 511-003 / 511-004

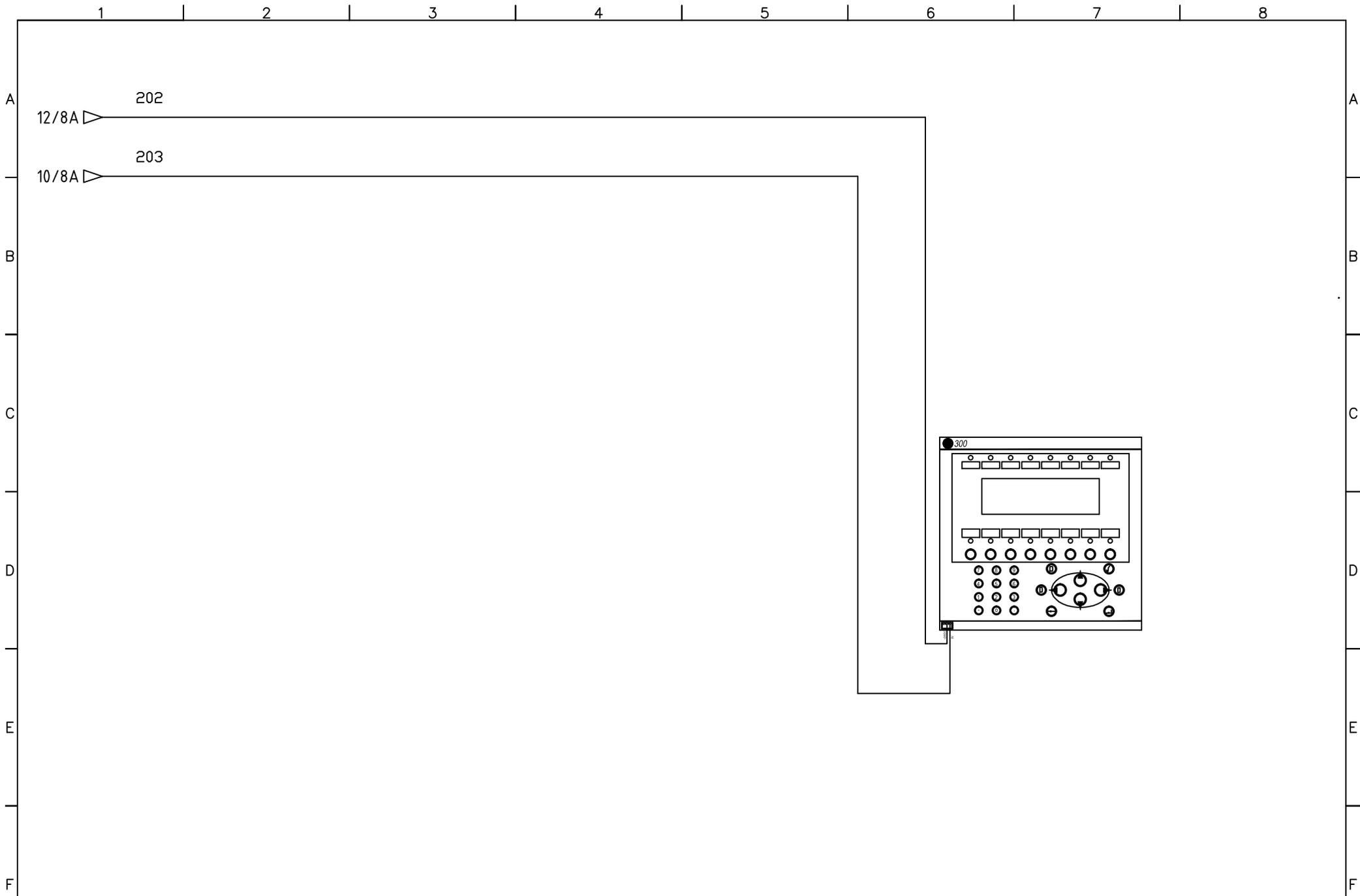
Nombre de la pagina: CIRCUITO DE FUERZA

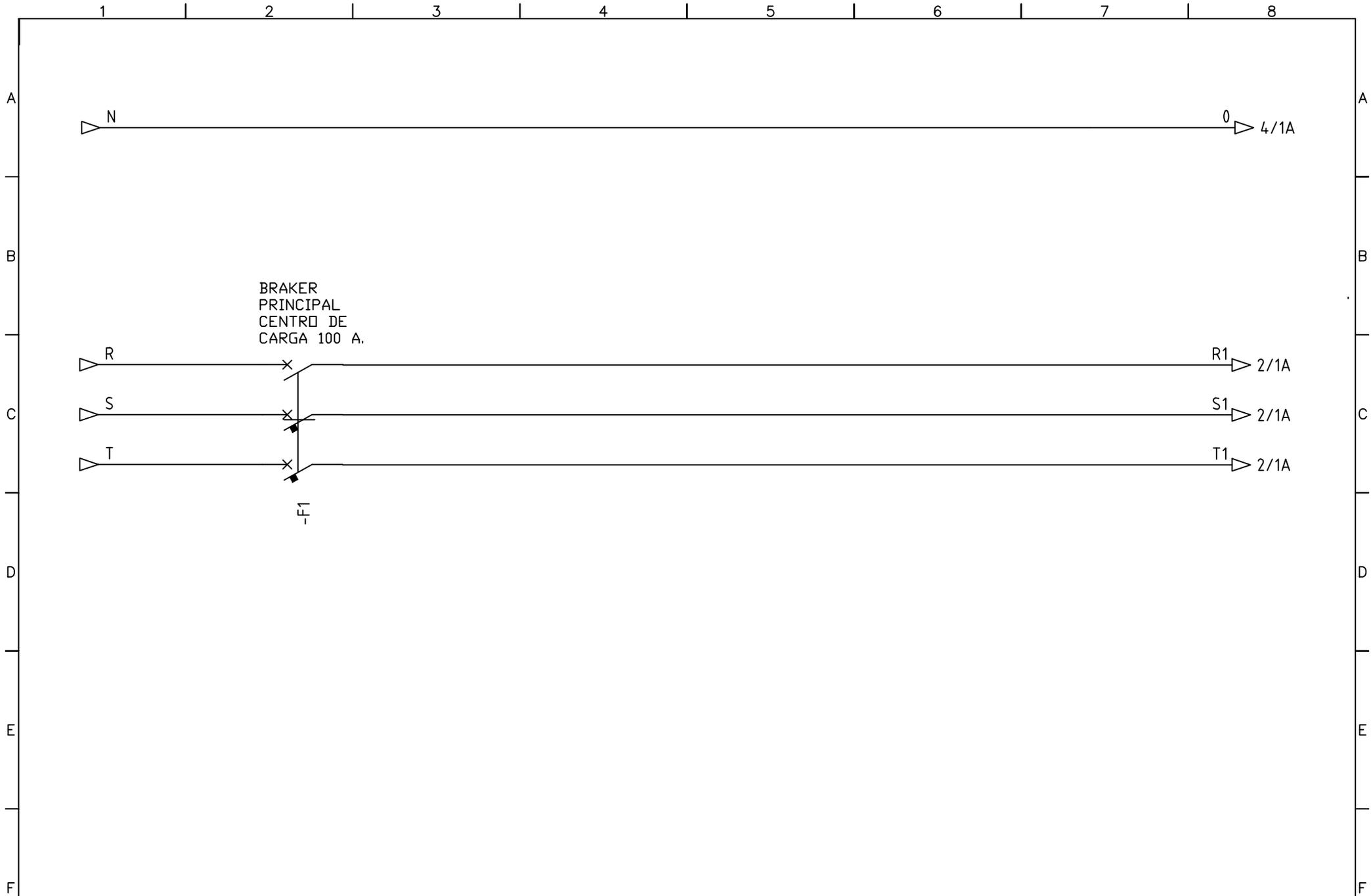
Observaciones:

Archivo

Hoja
12







Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

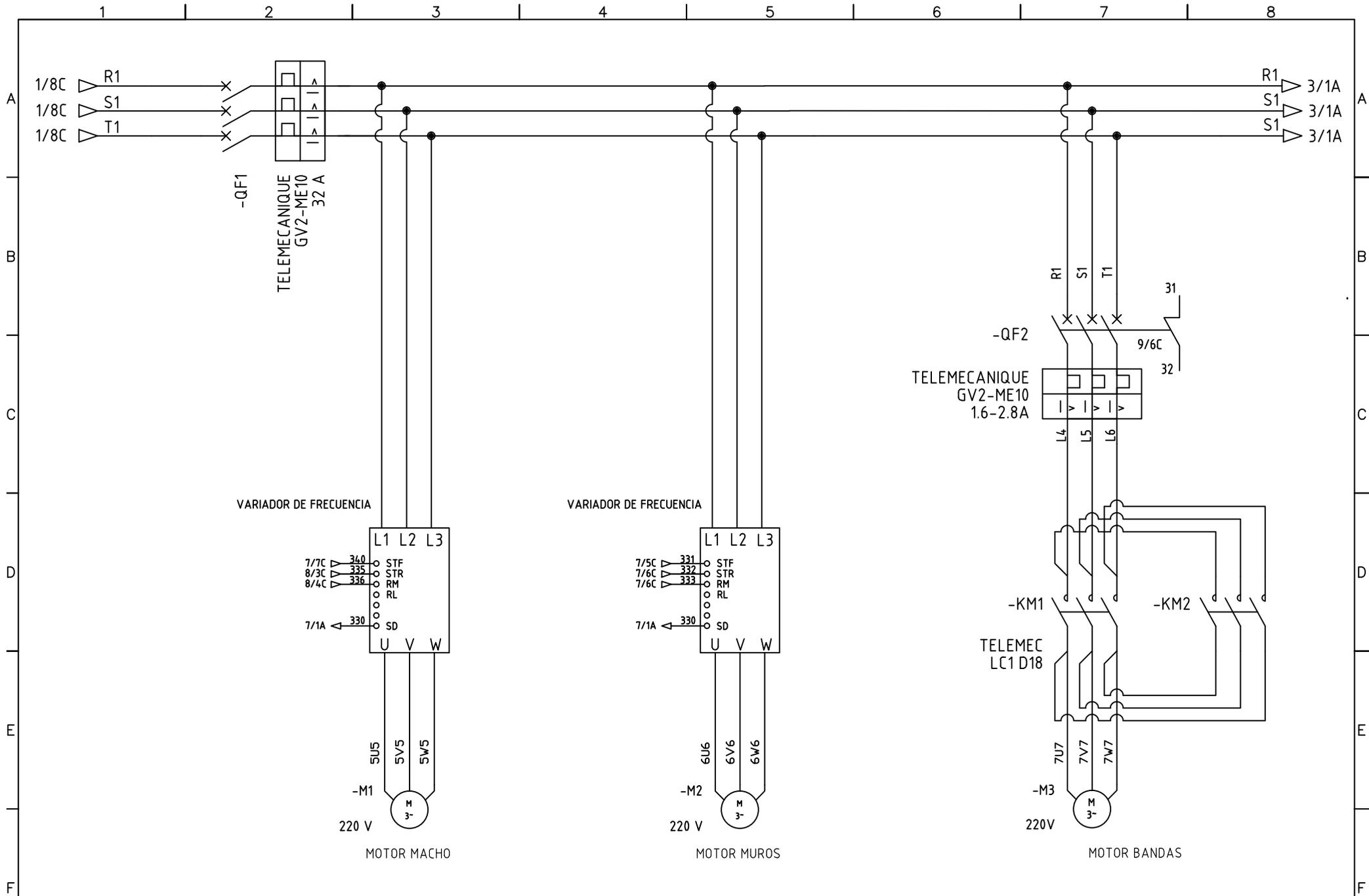
Nombre del proyecto
TORRE DE INYECCION 511-005

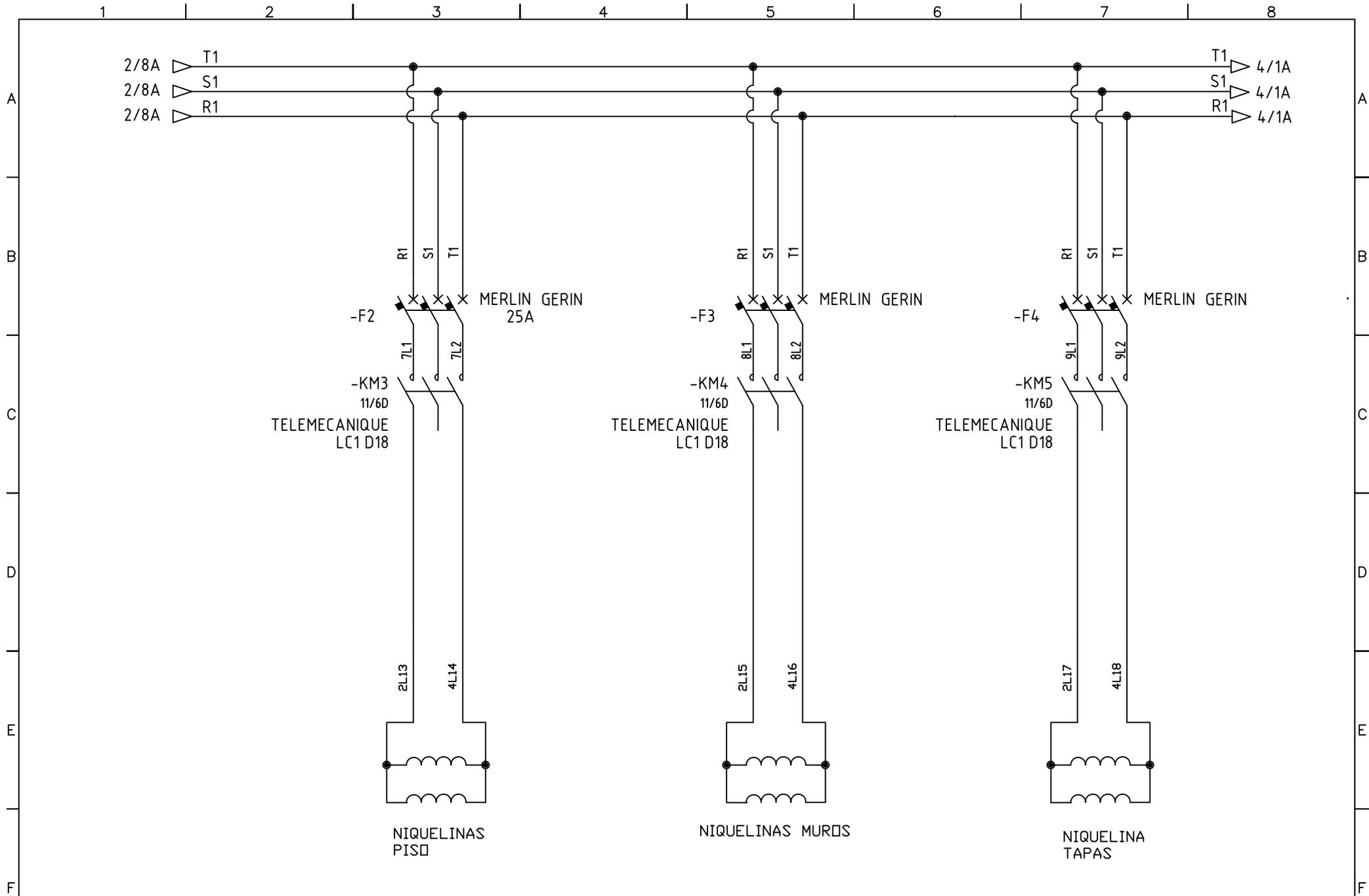
Nombre de la pagina
ALIMENTACION

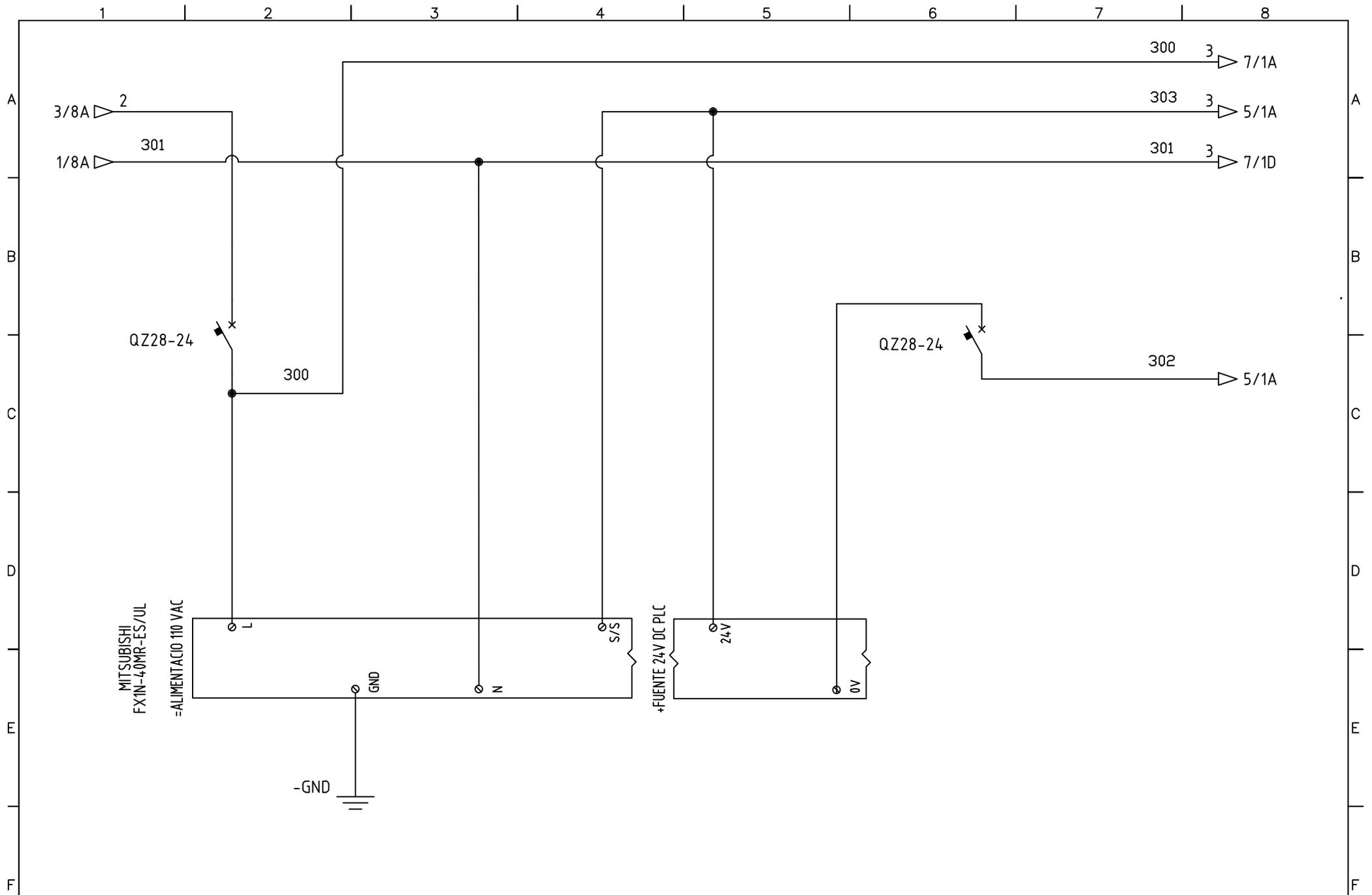
Observaciones:

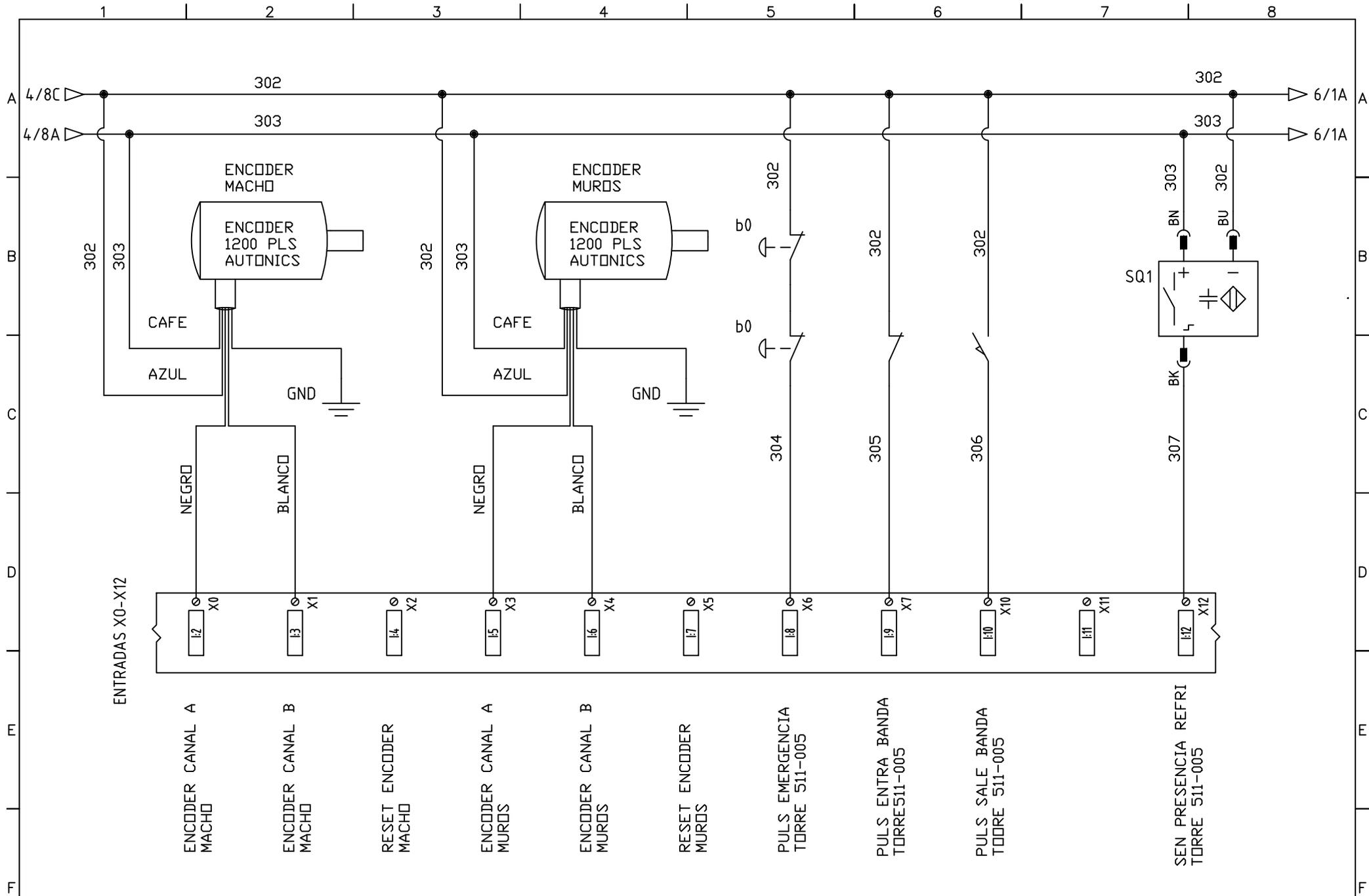
Archivo

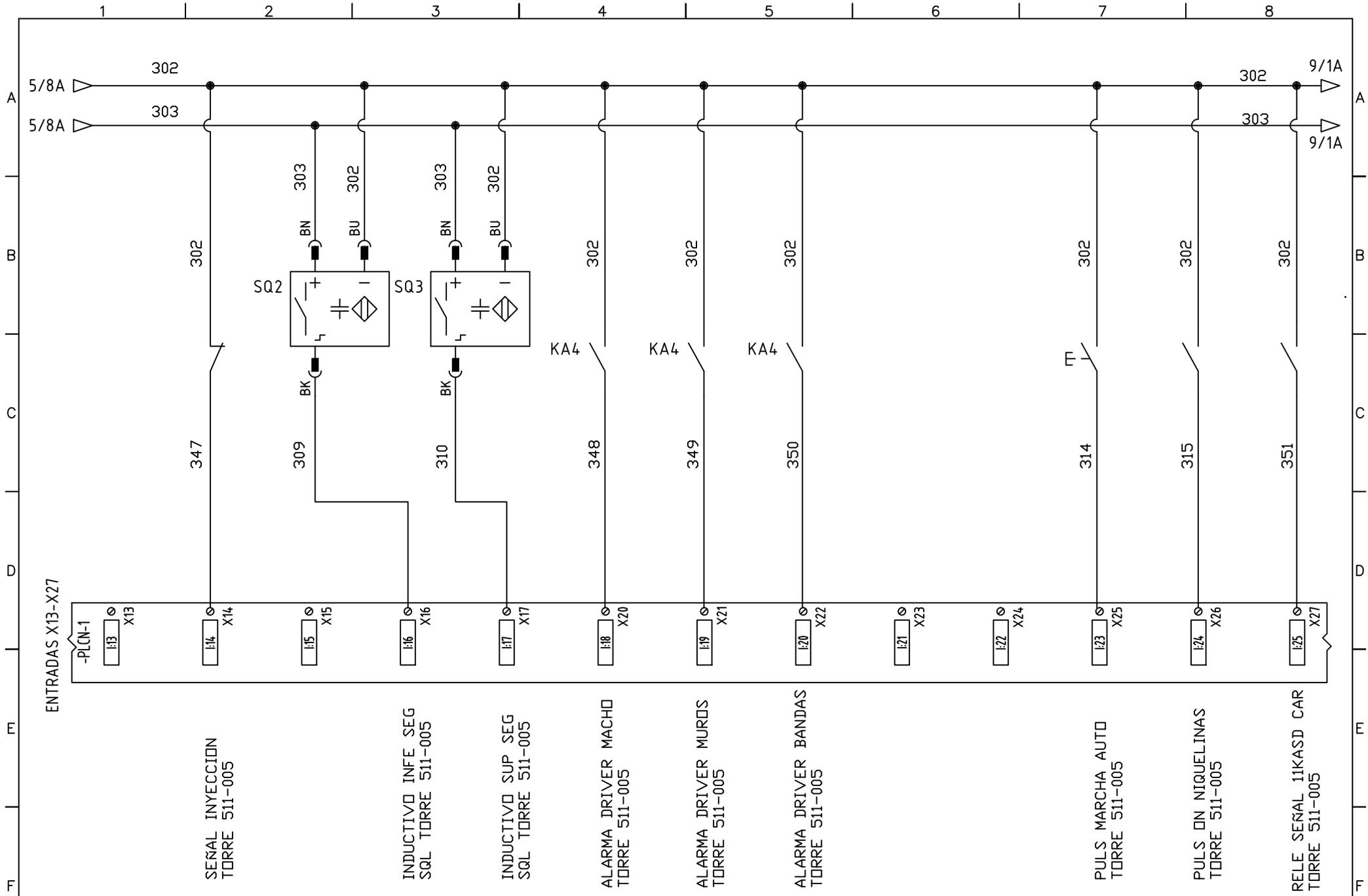
Hoja
1











Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

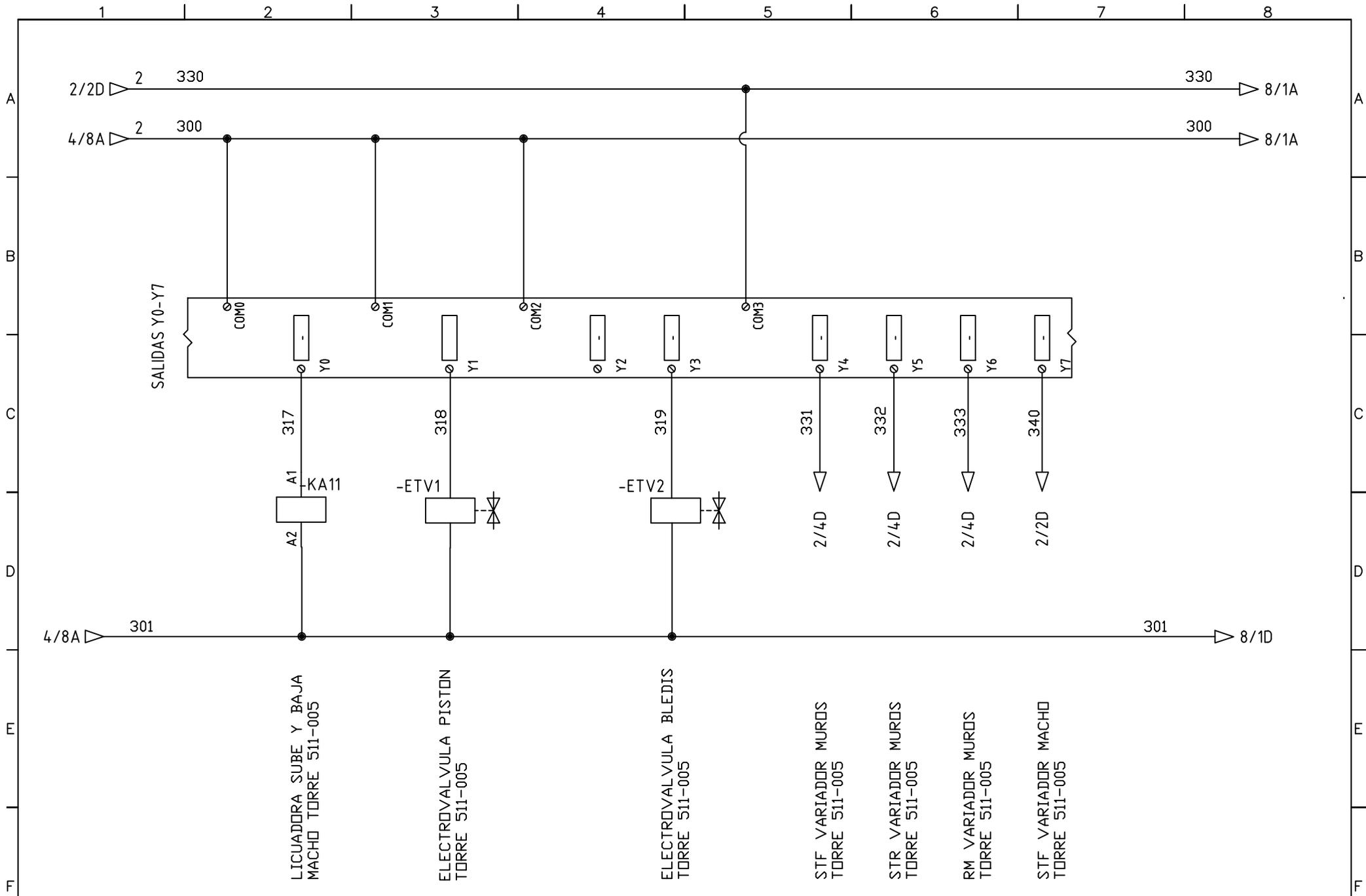
Nombre del proyecto
TORRE DE INYECCION 511-005

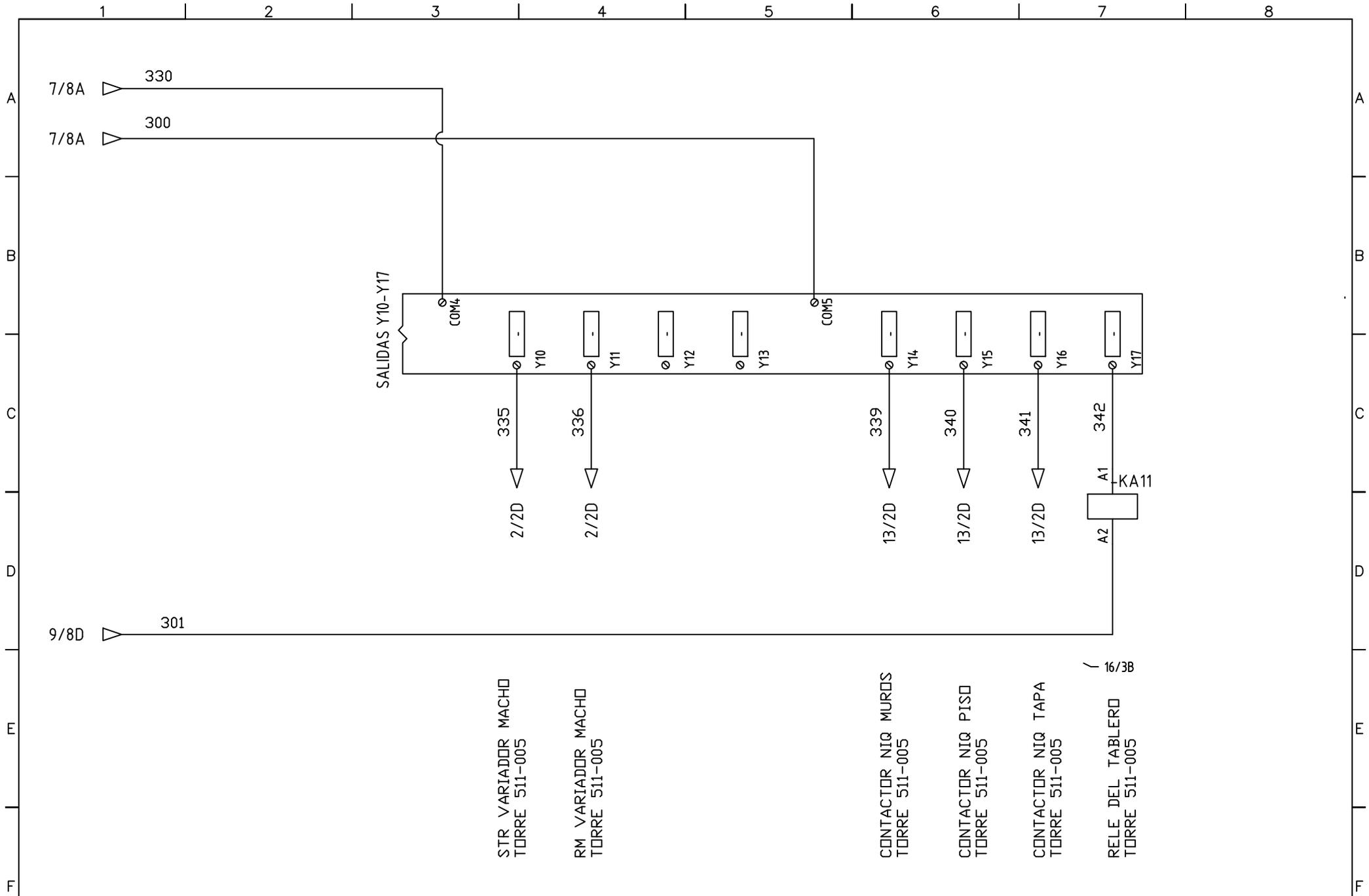
Nombre de la pagina
ENTRADAS X13 - X27 PLC

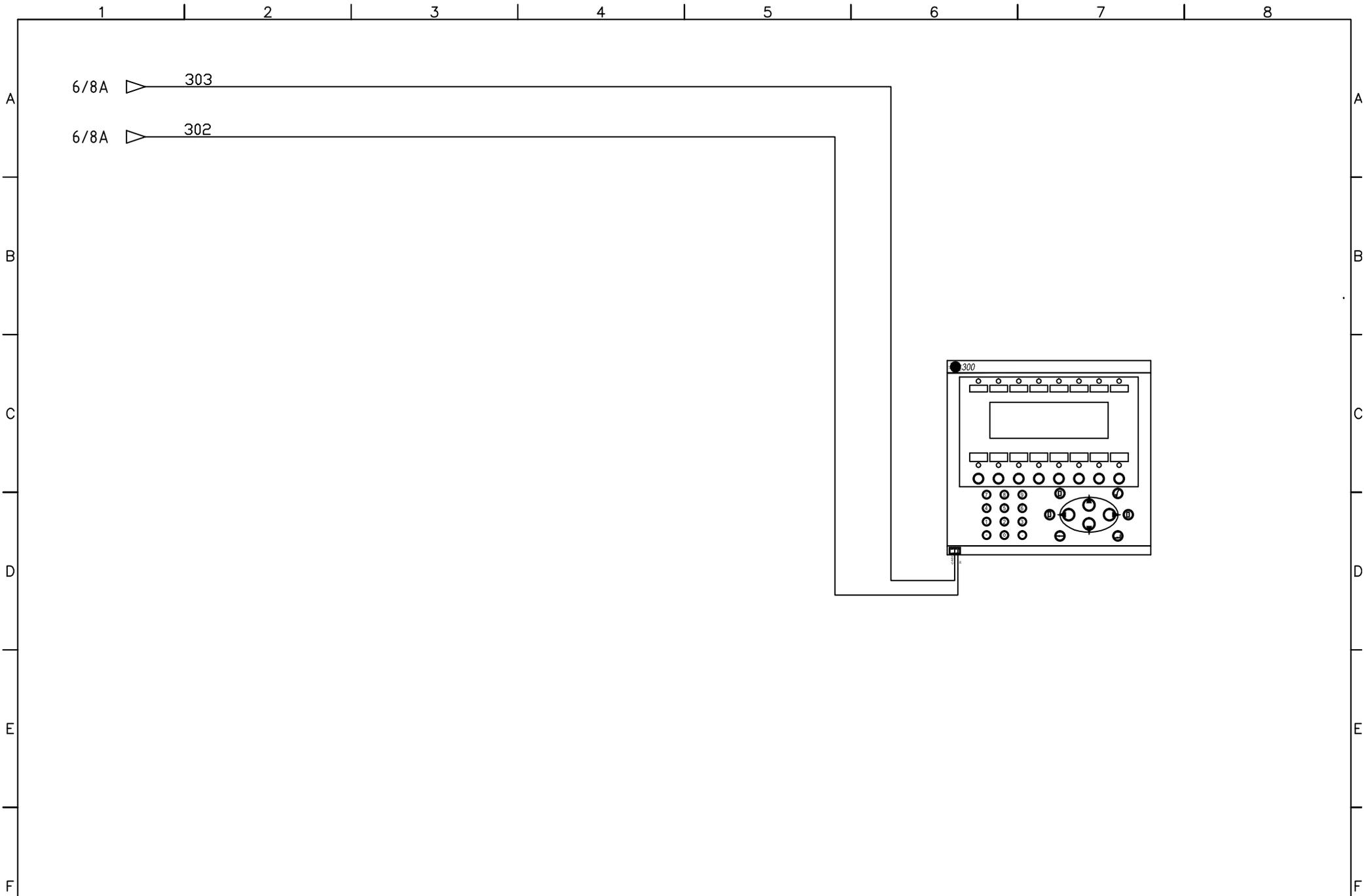
Observaciones:

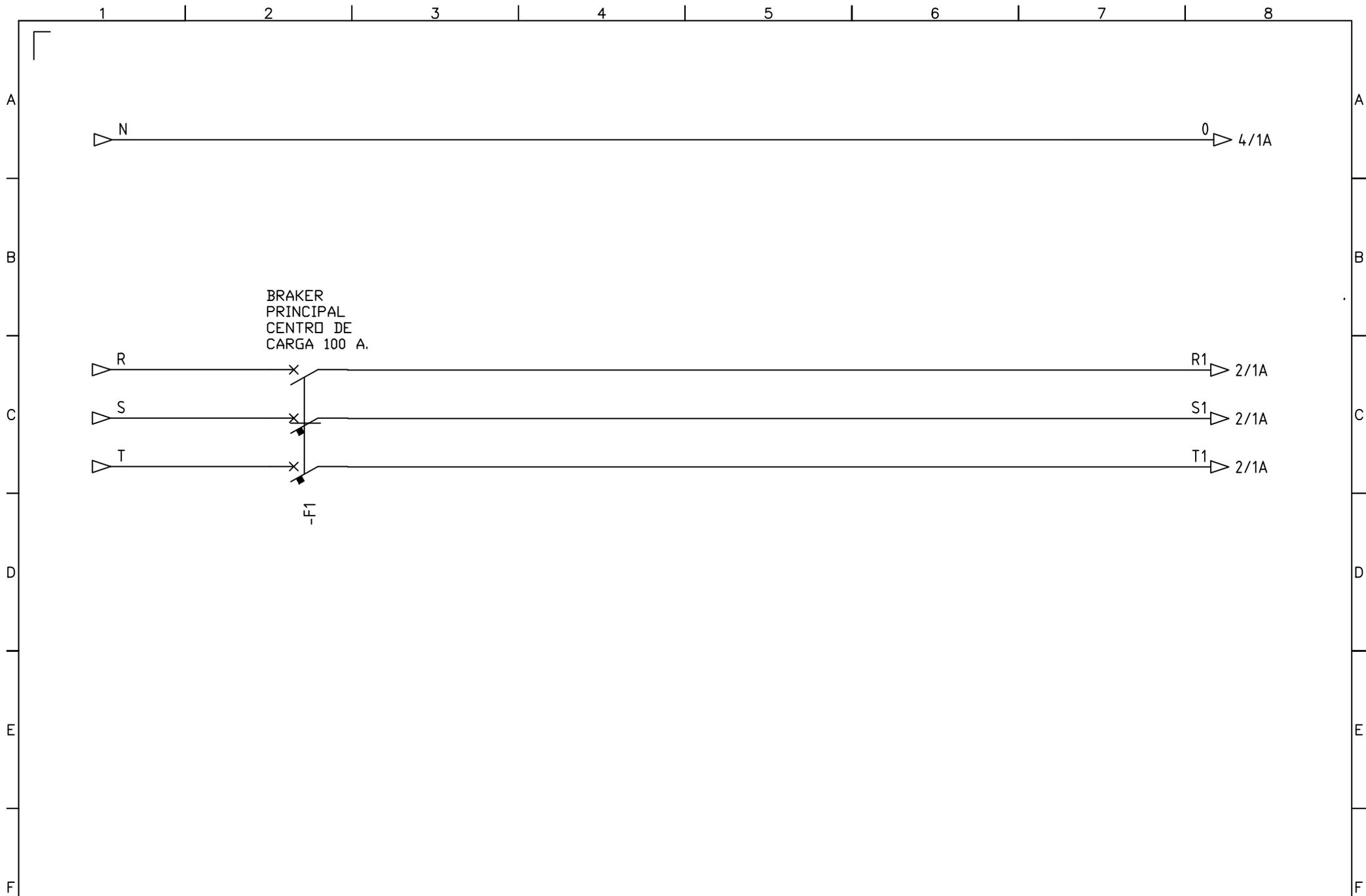
Archivo

Hoja
6









Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

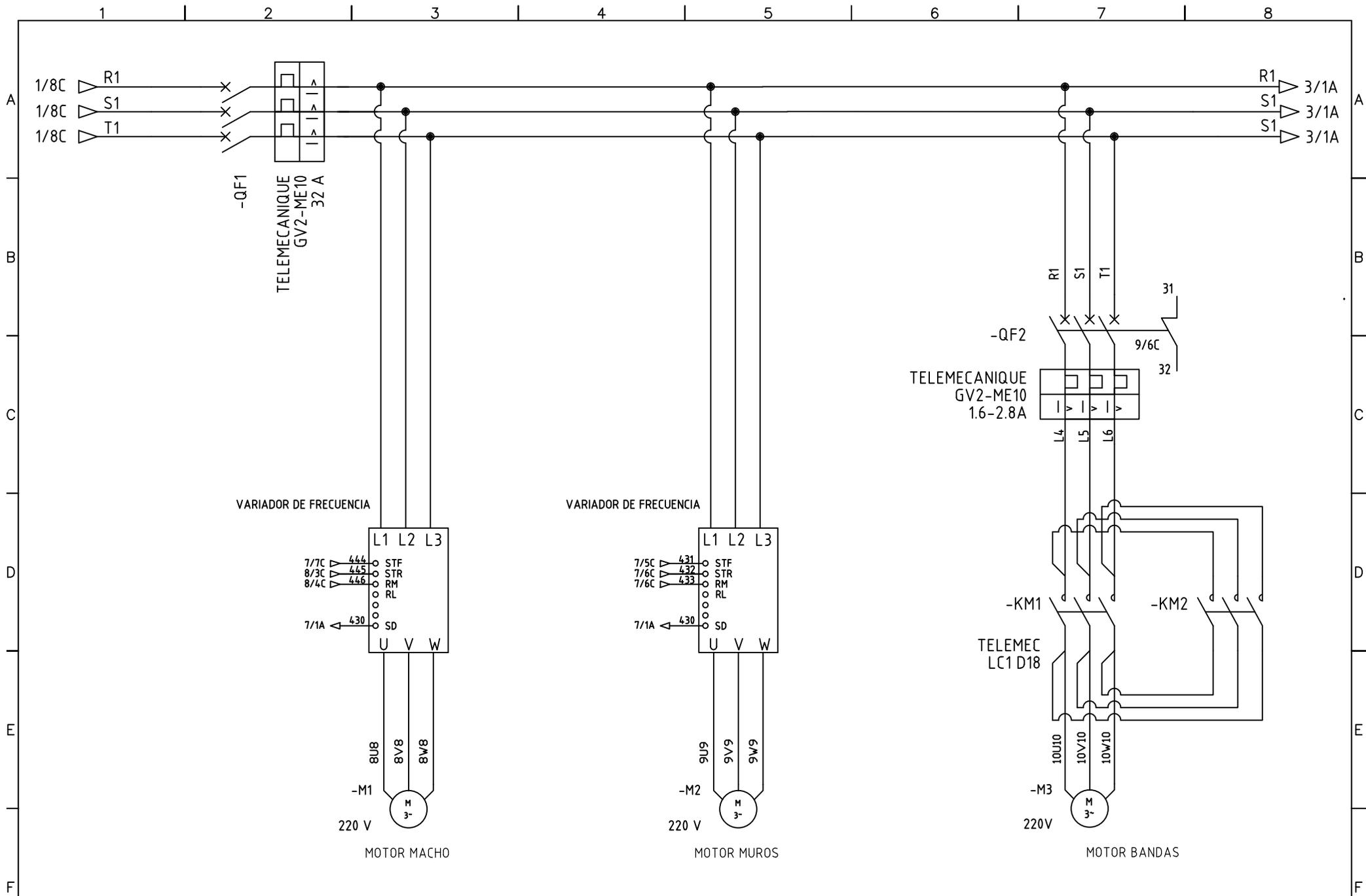
Nombre del proyecto	TORRE DE INYECCION 511-006
---------------------	----------------------------

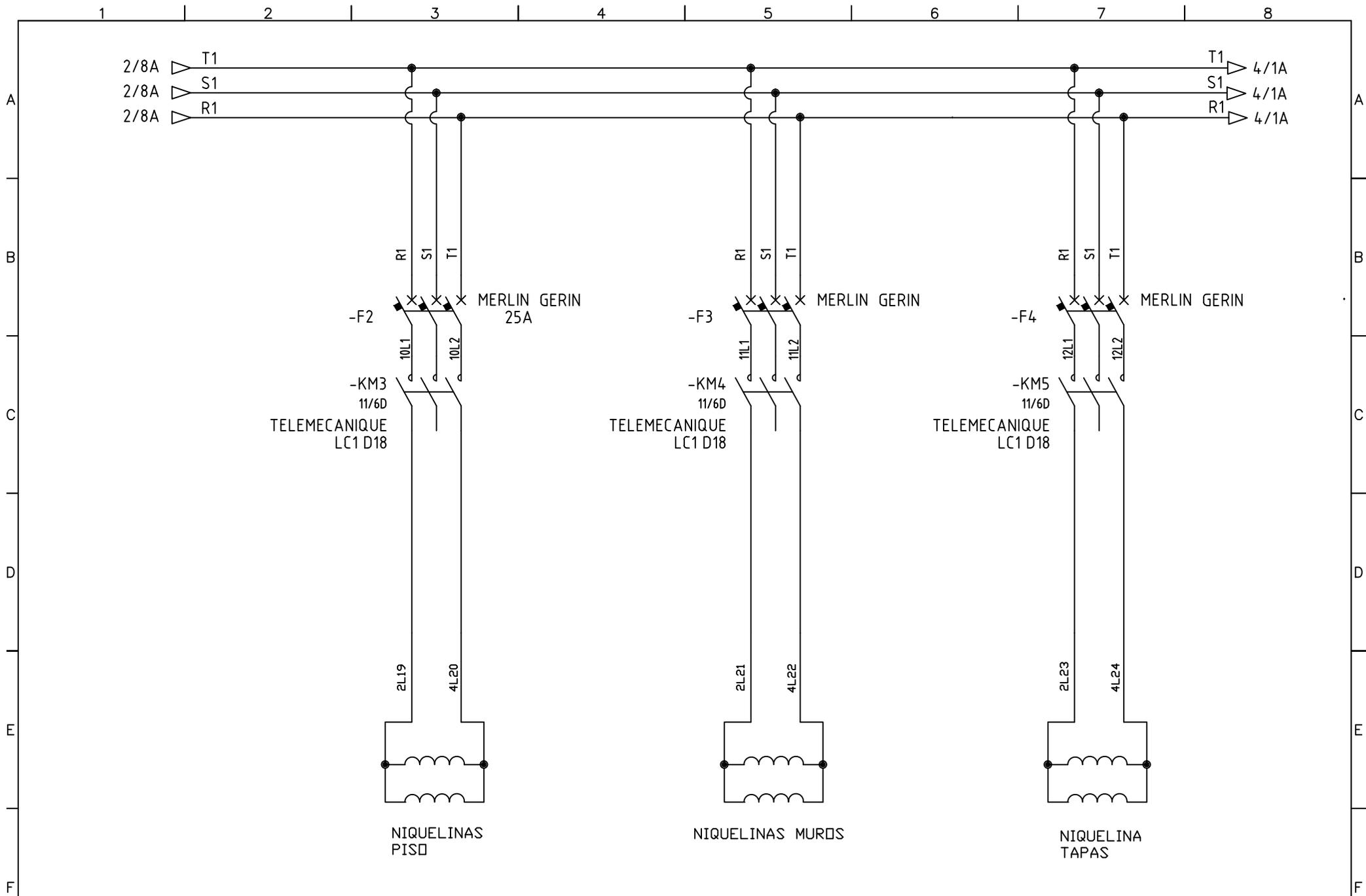
Nombre de la pagina	ALIMENTACION
---------------------	--------------

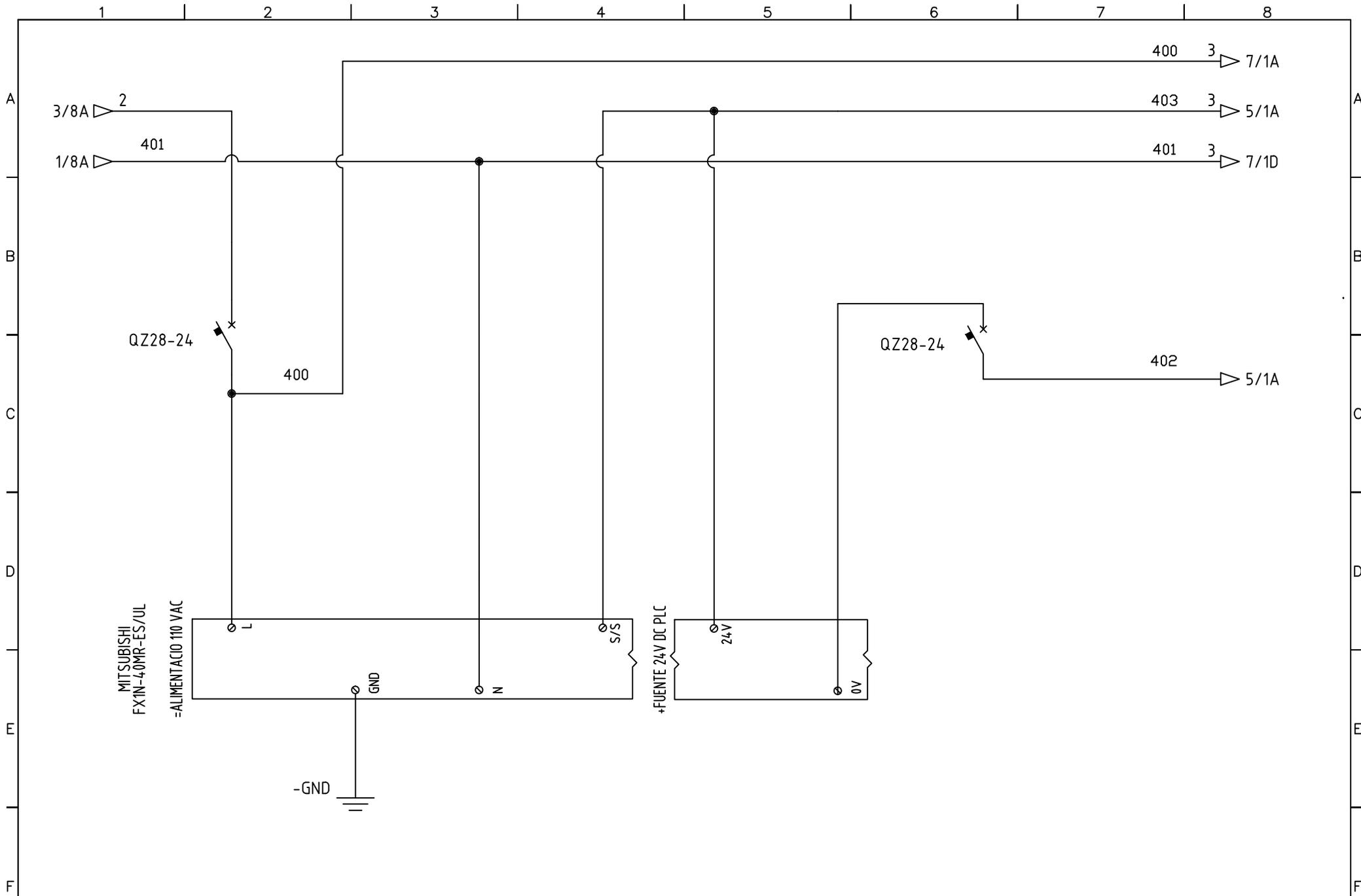
Observaciones:	
----------------	--

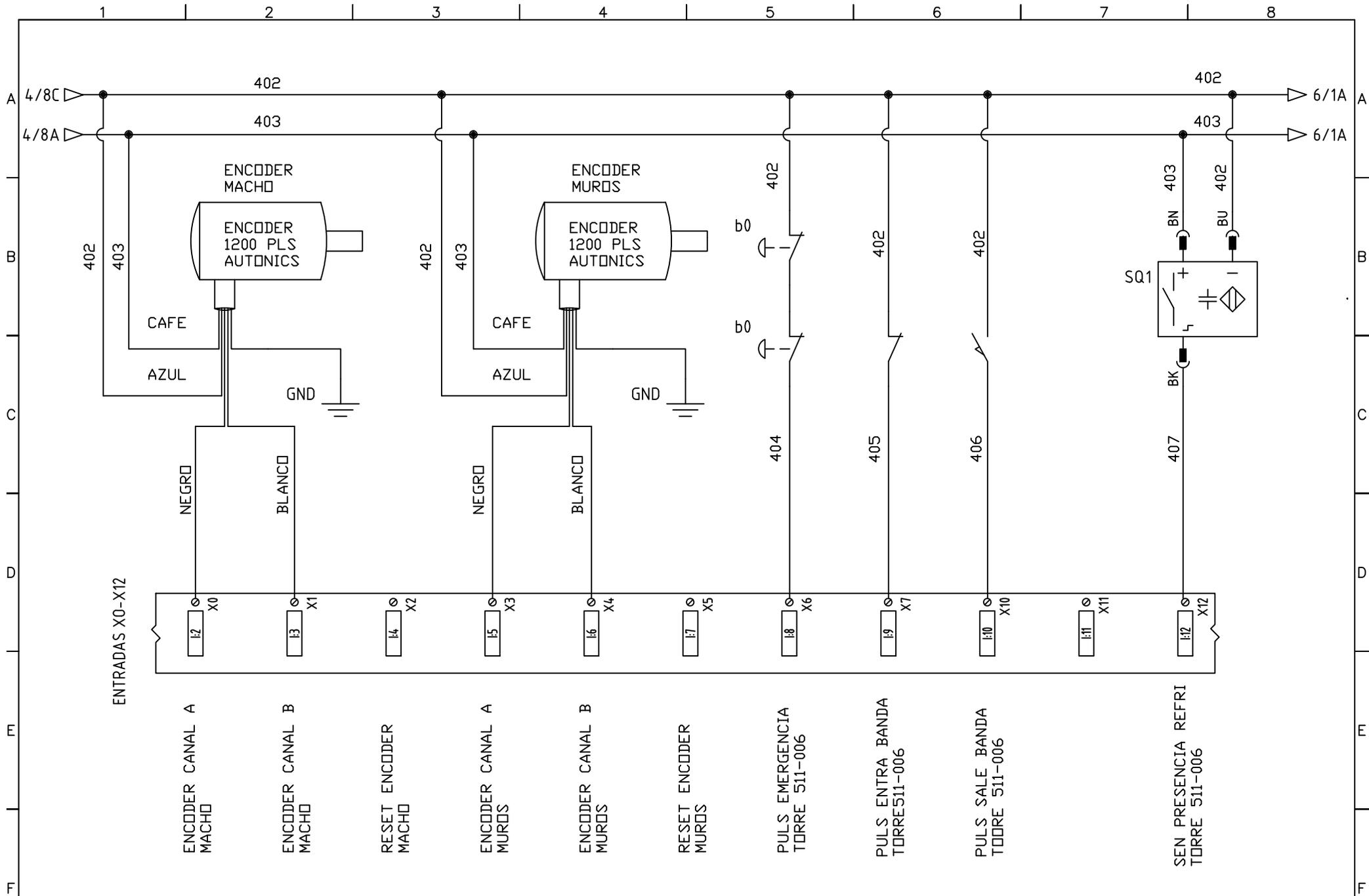
Archivo	
---------	--

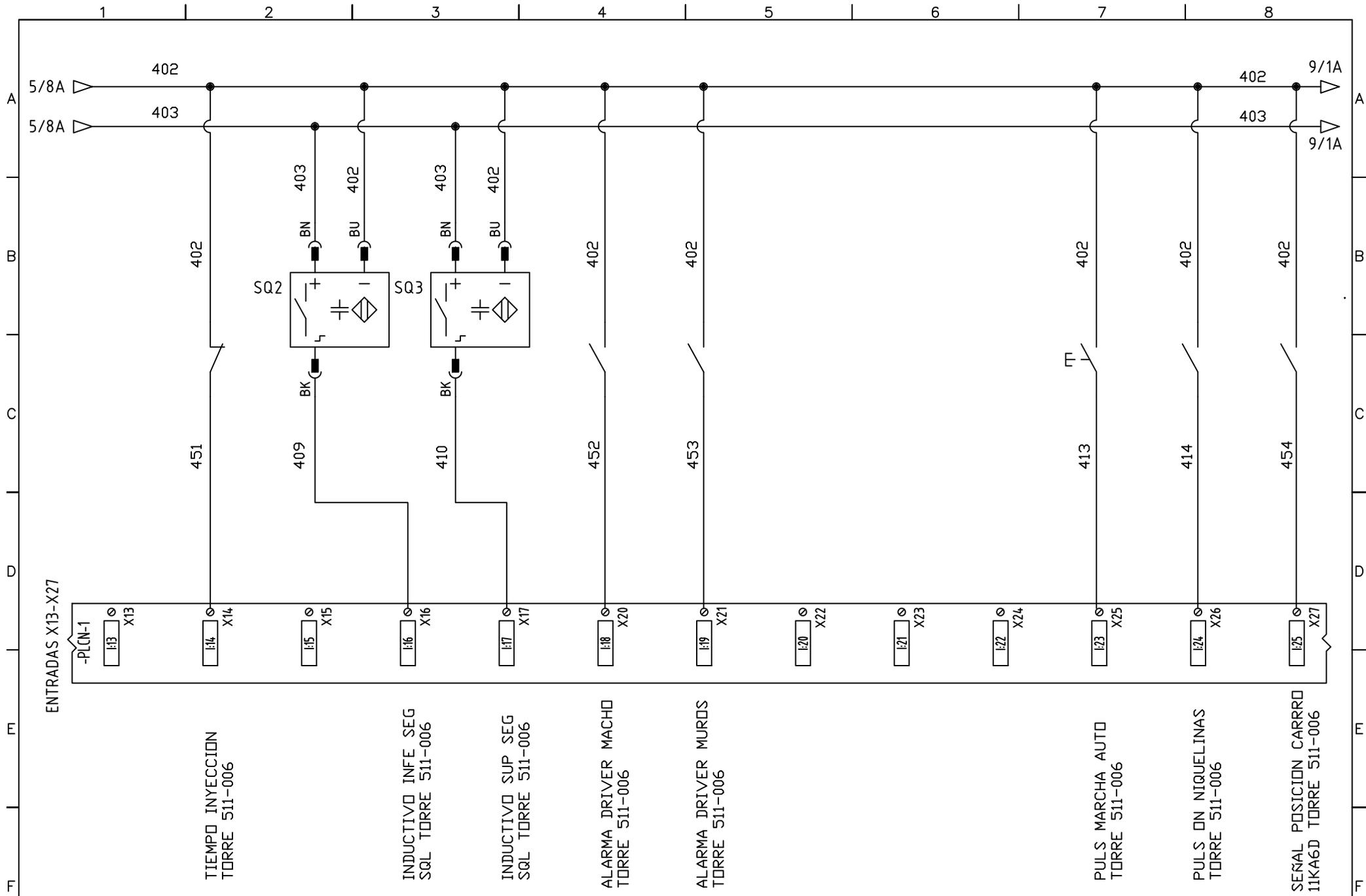
Hoja	1
------	---











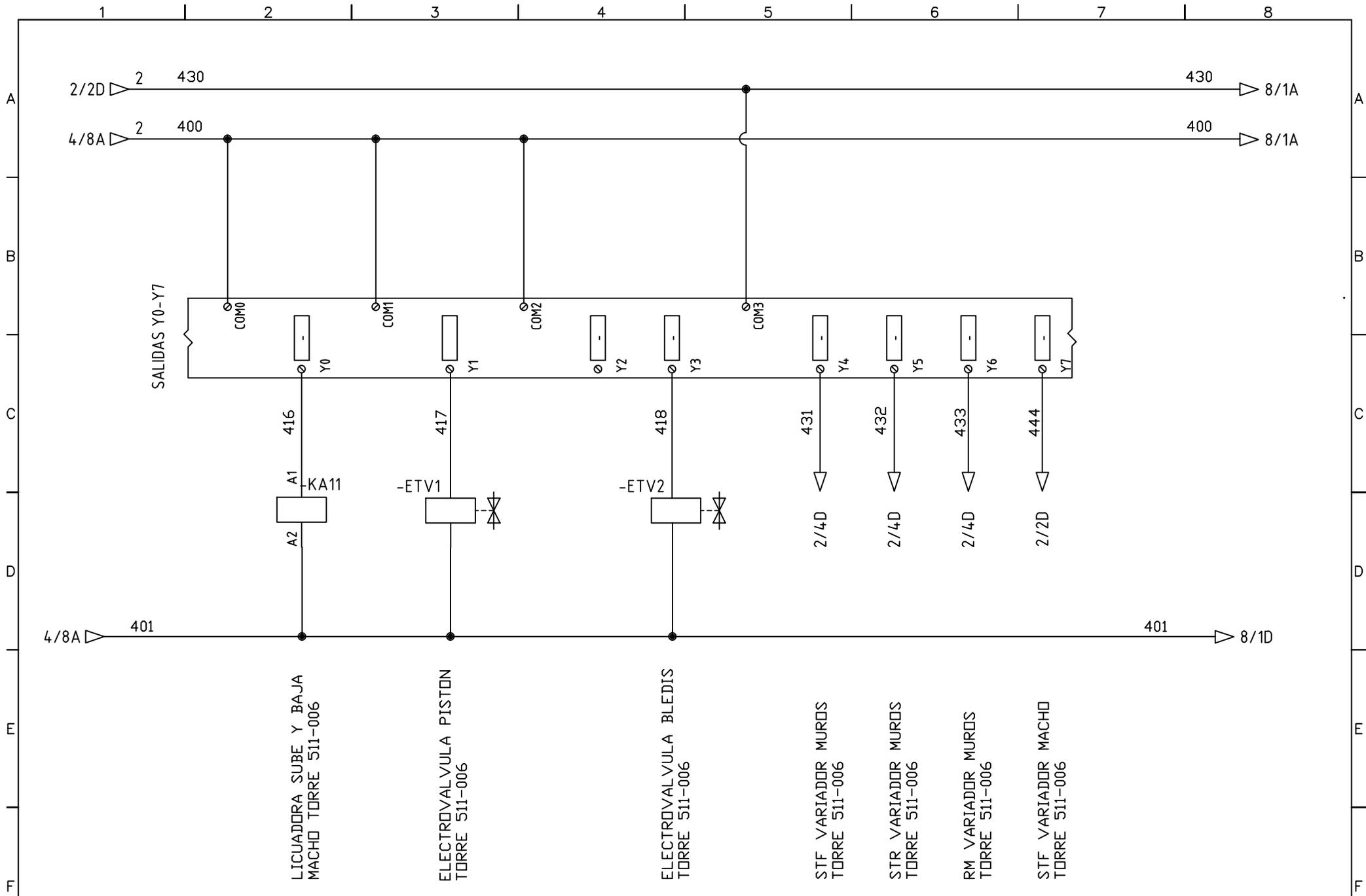
Fecha	13/01/2012
Dibujado	ALVARADO J. GALLEGOS J.
Norma	IEC

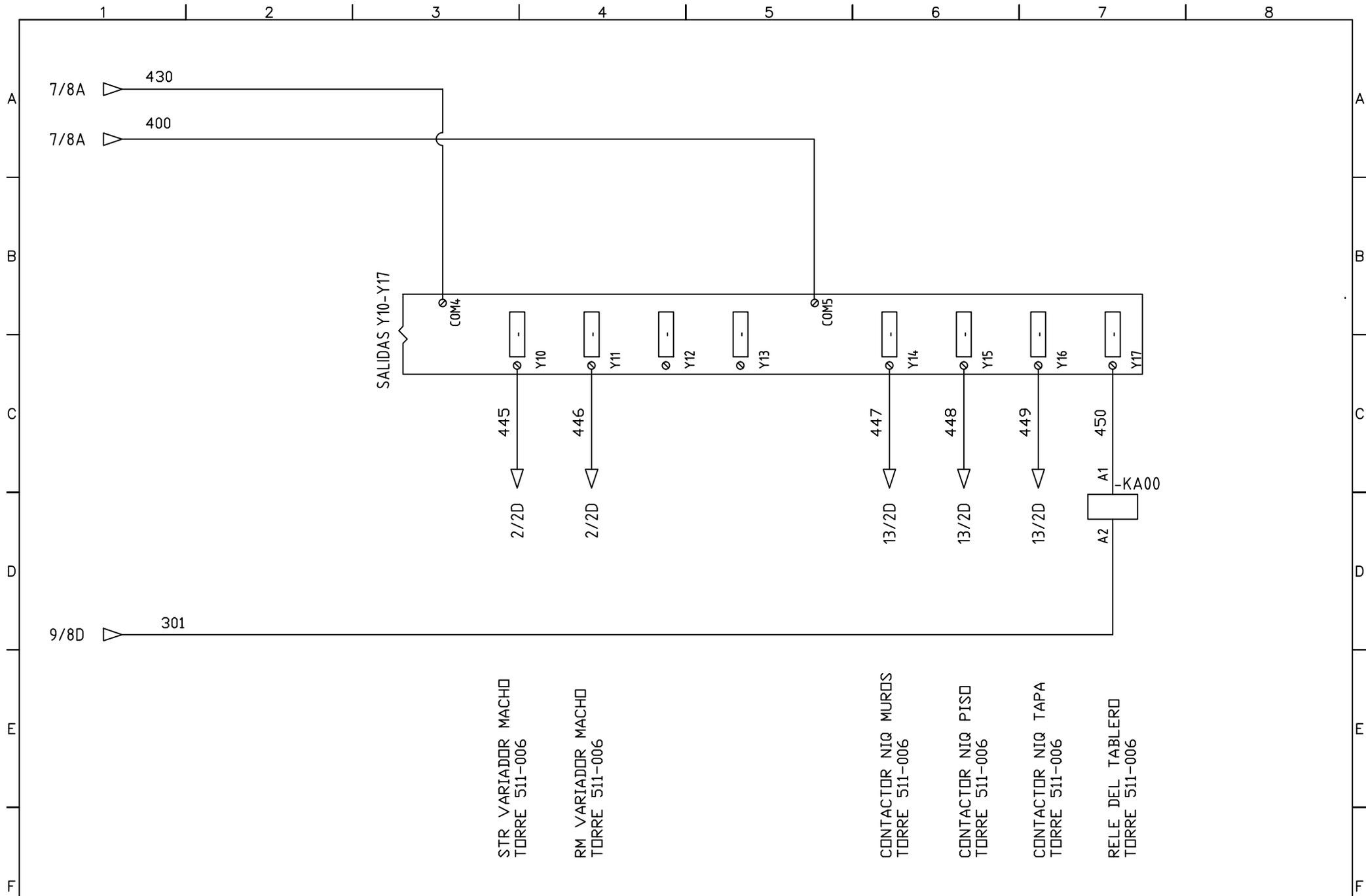
Nombre del proyecto	TORRE DE INYECCION 511-006
---------------------	----------------------------

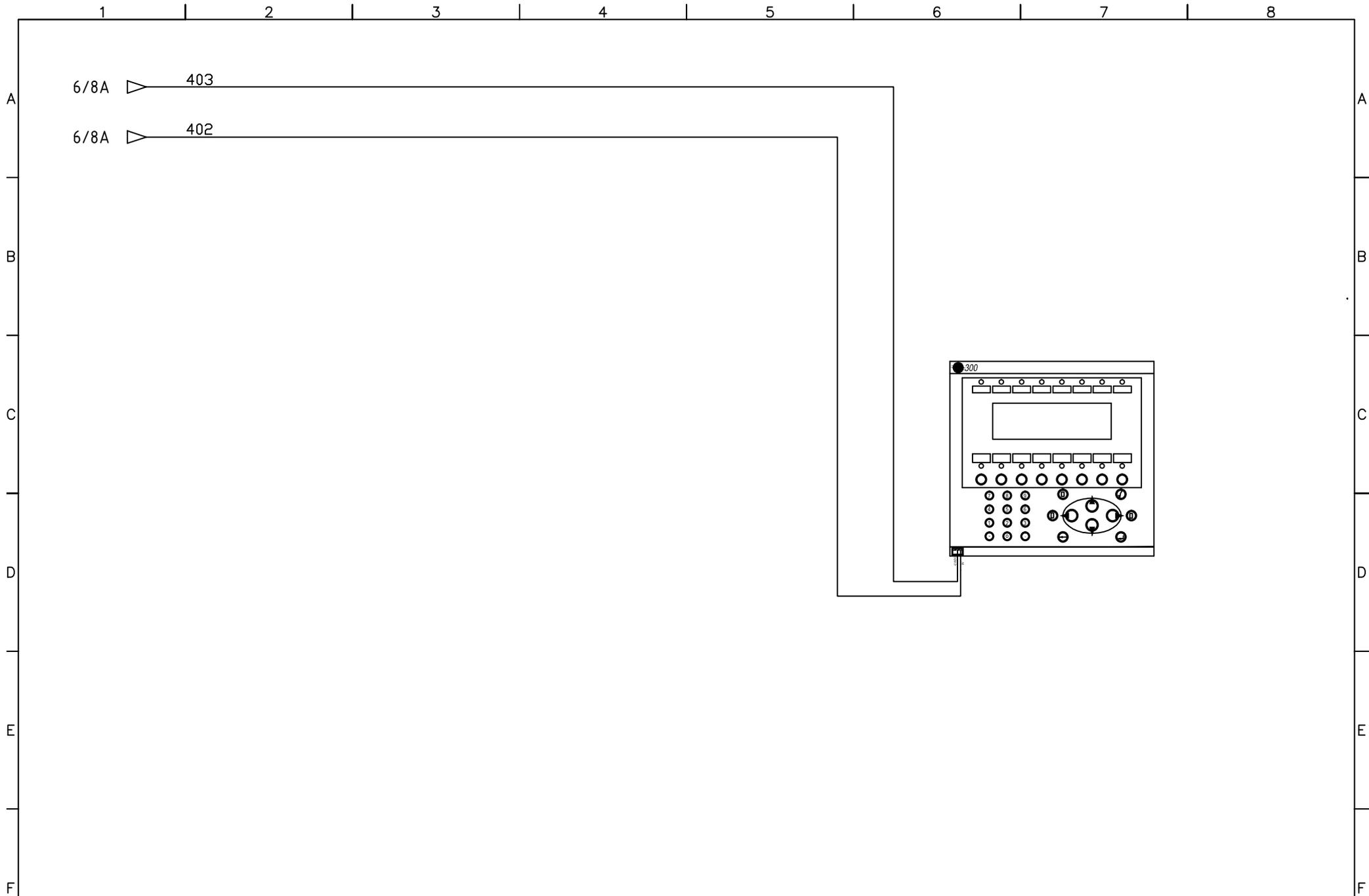
Nombre de la pagina	ENTRADAS X13 - X27 PLC
---------------------	------------------------

Observaciones:	Archivo
----------------	---------

Hoja	6
------	---







ANEXO 3

SISTEMA SCADA MITSUBISHI MC WORX

MANUAL PARA REALIZAR REGISTROS HISTÓRICOS

CONFIGURACIÓN EN EL TREND WORX

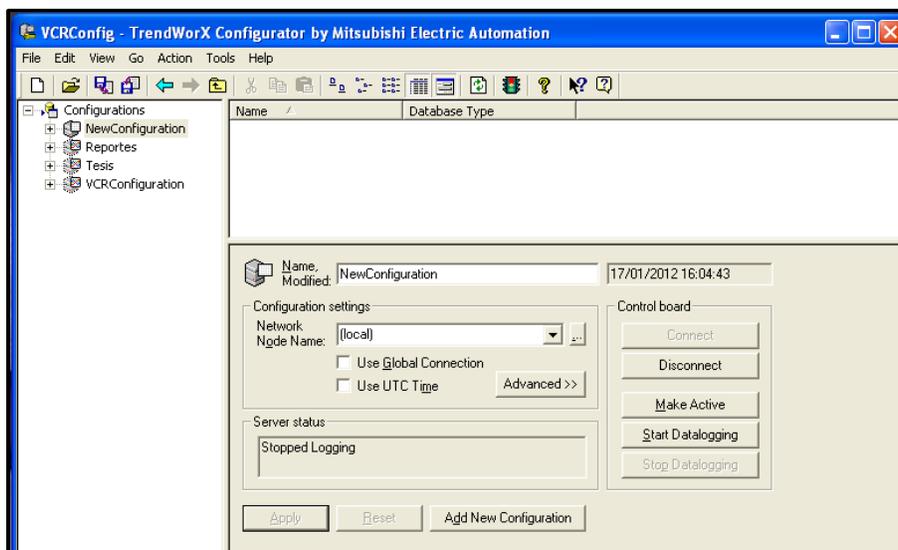
INICIO → Todos los programas → Mitsubishi MC-WORX SUITE → TrendWorX → TrendWorX Configurator

En la ventana de TrendWorX Configurator dirigirse a la parte izquierda donde se ubica el árbol, en la opción CONFIGURATION hacer click derecho → New Configuration:

Aparecerán las siguientes opciones que serán llenadas como se muestra:

Name, modified: (Nombre cualquiera)

Network Node Name: (local)



Click en Make Active.

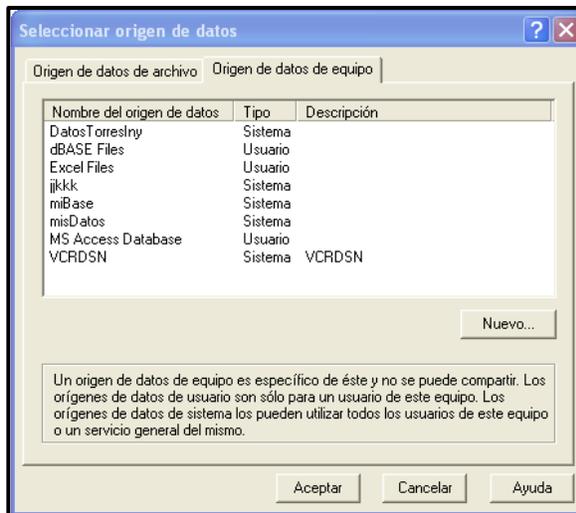
Click en Start Datalogging.

Click derecho en la configuración creada con los pasos anteriores: New → Database Group Name: (nombre cualquiera)

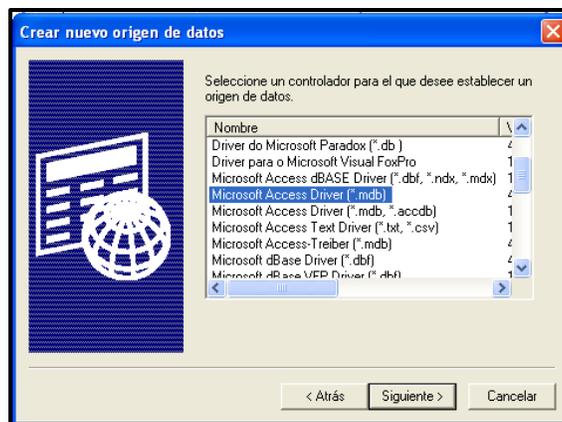
En Database conection settings:

ODBC dataSource → hacer click en Browse...

Dentro de la ventana Origen de datos de Equipo → Nuevo...



Ir a la pestaña: Origen de datos de Sistema.
 De la lista escoger: Microsoft Access Driver (*.mdb)
 Finalizar.



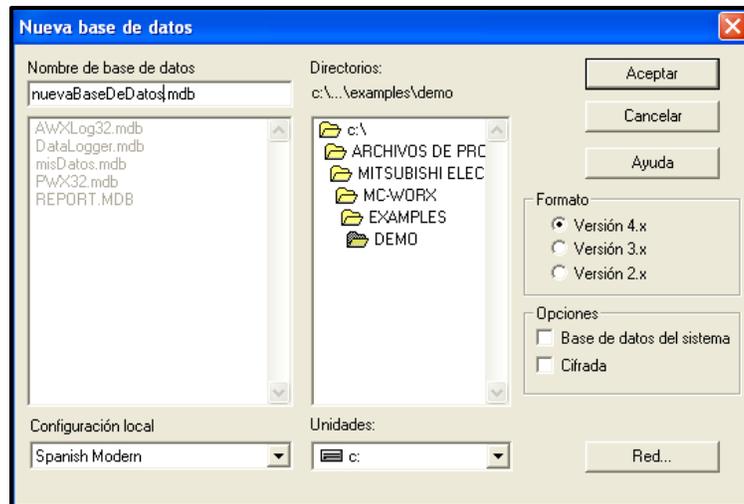
En la ventana de Configuración de ODBC Microsoft Access, en la parte de base de datos se selecciona CREAR:

Nombre de Base de Datos: nombre.mdb

Directorios: ubicación donde se encontrará la base de datos

(No se cambia nada ni en formato ni en opciones)

ACEPTAR



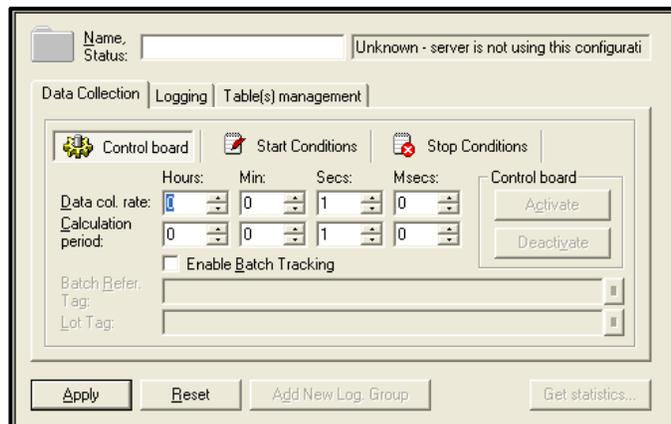
Se regresa a la ventana Configuración de ODBC:
 Nombre del origen de datos: (Nombre de la base de datos creada)
 ACEPTAR

En la ventana Seleccionar origen de datos:
 Seleccionar la base de datos ya creada.
 ACEPTAR.

Ventana de Conexión: ACEPTAR
 Ventana principal del VCRConfig (Principal): Apply

En la ventana principal de TrendWorX Configurator, dentro del árbol de la parte izquierda, hacer click derecho en la base de datos creada: New → Logging Group
 Name Status: (Nombre cualquiera)

En la pestaña Data Collection:
 Pestaña Control Board:
 Data col. rate: 1seg
 Calculation period: 1seg



Pestaña Start Conditions: activar la casilla On Start.

En la pestaña Table Management se modifica la opción Number of Tables (Número de tablas) según la necesidad de la base de datos.

Se activa la casilla Any time Logging Starts.

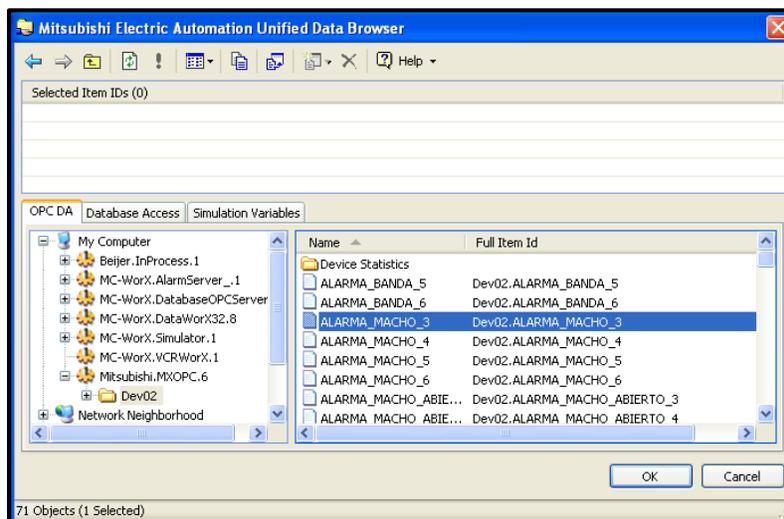
Click en Apply.

Se pueden crear tantos Logging Groups como sean necesarios.

Para agregar cada una de las variables a cada Logging group, en la parte de configuratios del árbol (parte izquierda de la ventana VCR Config) se selecciona la configuración creada y se escoge la opción stop datalogging, disconnect.

En cada Logging Group creado se da un click derecho: New → OPC Tags.

En la ventana Mitsubishi Electric Automation Unified Data Browser, dentro de la pestaña OPC DA, en el árbol de opciones se selecciona el dispositivo Mitsubishi y su respectivo device para seleccionar la variable del OPC (ventana derecha) que se va a utilizar.



Pulsar OK.

Crear todos los OPC Tags para cada Logging Group según sea necesario. Una que todas las variables se hayan añadido, se selecciona la configuración creada, se da un click en Connect, Make Active y Start Datalogging.

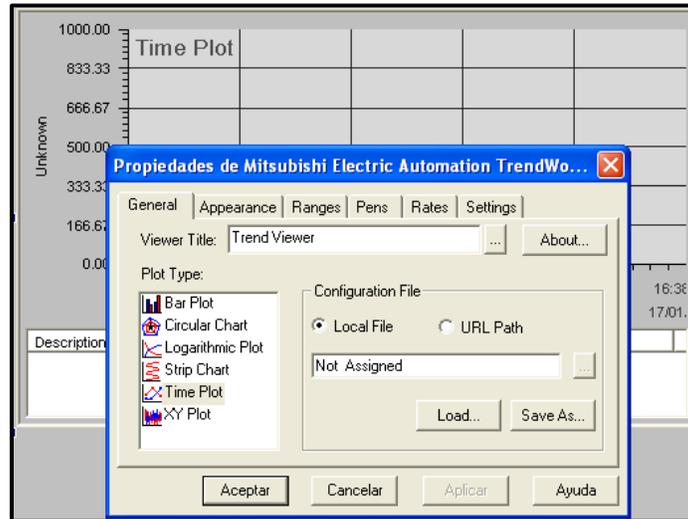
CONFIGURACIÓN EN EL GRAPH WORX

INICIO → Todos los programas → Mitsubishi MC-WORX SUITE → GraphWorX → GraphWorX.

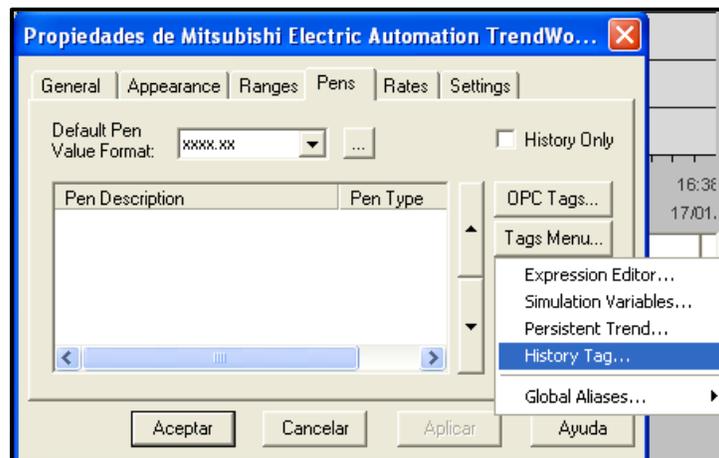
Dentro de GraphWorX, en la barra del ActiveX, escoger la opción TrendWorX Viewer.

Doble click sobre el gráfico y en la tabla de propiedades de Mitsubishi:

Pestaña General: En Plot Type: escoger el tipo de gráfico



Pestaña PENS: Click en Tags Menú →History Tag...



En la ventana MITSUBISHI Electric Automation Unified Data Browser, dentro de la pestaña OPC HDA → My Computer → MC WORX..... → BaseDatosCreada → Logging Group respectivo y a la derecha se escoge la variable deseada. Finalmente ACEPTAR (OK).

Una vez añadidas todas las variables del Histórico se da un click en ACEPTAR.
File →Save.
Runtime.

MANUAL PARA REALIZAR REPORTES

CONFIGURACIÓN EN EL TREND WORX REPORTING

INICIO → Todos los programas → Mitsubishi MC-WORX SUITE → TrendWorX → TrendWorX Reporting.

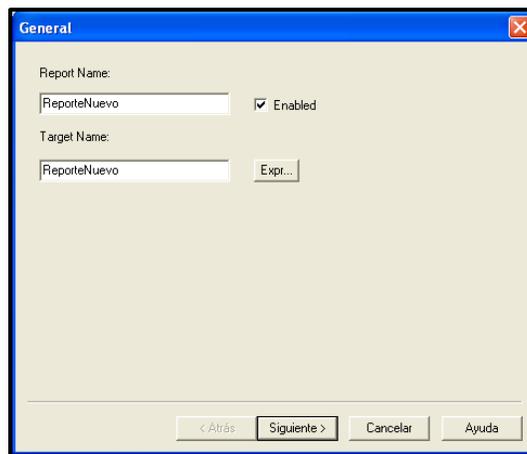
Lo primero que se debe hacer es guardar el archivo:

File → Save

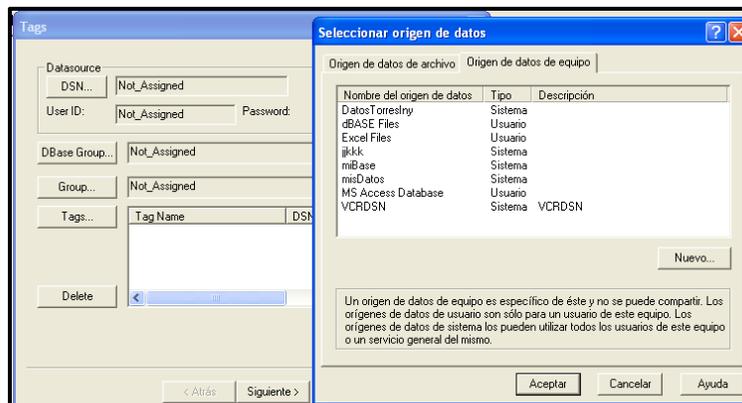
Se asigna un nombre y ubicación.

En la barra de tareas se escoge Edit → Add Report.

Se abrirán una serie de ventanas de configuración del reporte. La primera en aparecer será la General, la cual pedirá llenar las casillas de Report Name y de Target Name; se escribirá el mismo nombre para las dos. Se habilita la casilla Enabled y se da click en Next.



El siguiente paso será seleccionar la base de datos que contiene las variables del reporte, para esto se debe hacer click en DSN que abrirá la ventana Select Data Source, escoger la pestaña Machine Data Source y en la primera columna seleccionar la base de datos deseada; se da un click en ACEPTAR y en la conexión se pone OK.

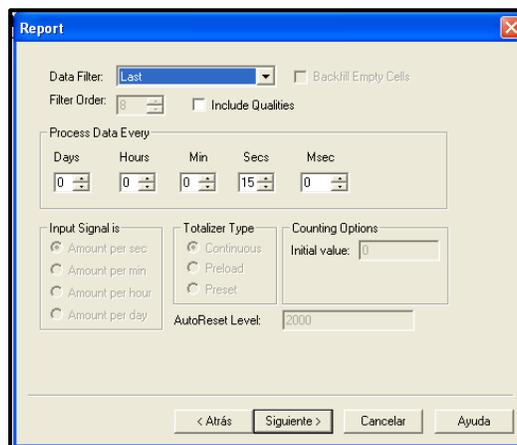


Después se hace click en DBase Group para seleccionar el grupo de base de datos para este reporte.

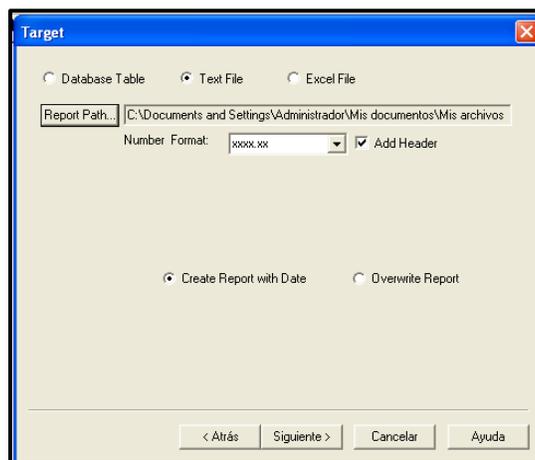
Para seleccionar el grupo correspondiente a dicho reporte (logging group) hacer click en Group y aparecerá la ventana Select Group Object, se escoge el grupo deseado y se da un OK.

Ahora se seleccionarán las variables que irán dentro de cada reporte haciendo click en Tags, con lo cual se abrirá la ventana Select Group Signals y se escogen la o las variables (Tags) necesarias. Click en OK y luego en Next.

En la ventana Report, se despliega la lista de Data Filter para seleccionar el filtro de datos y si se desea se puede asignar un tiempo a Process Data Every según como se quiera adquirir los datos (tasa de adquisición).

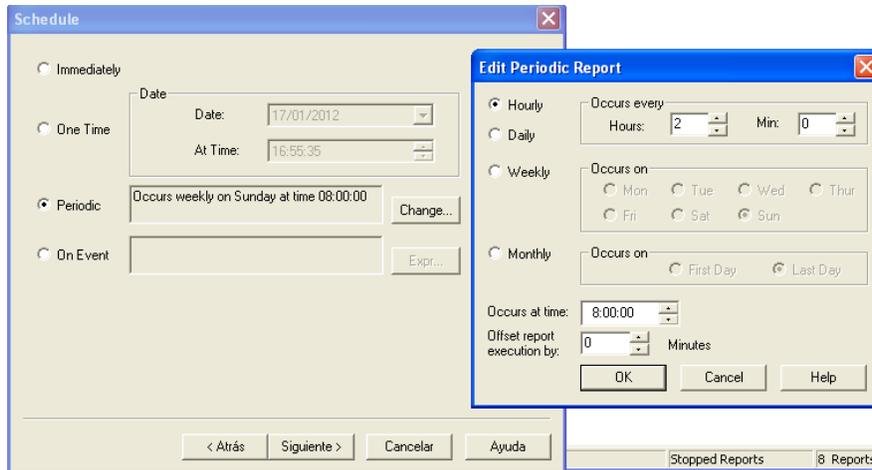


Se da un click en Next y en la ventana Target se elige el formato en el que se desea guardar los datos del reporte, se recomienda escoger la opción Text File. Dar un click en Report Path para direccionar el archivo.

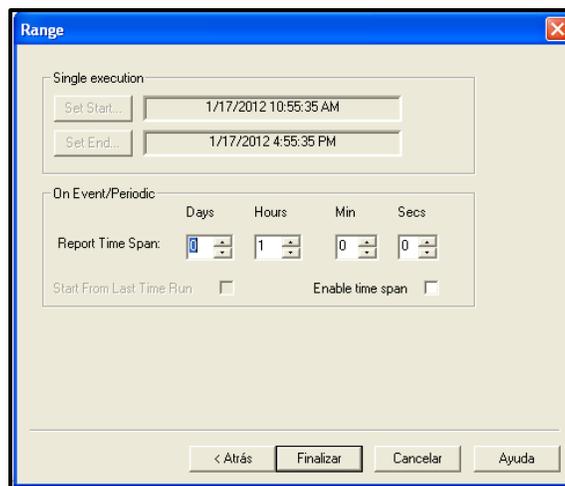


Se puede elegir entre Crear un reporte con fecha (uno por cada fecha y/u hora) o sobrescribir el reporte. Click en Next.

La siguiente ventana es Schedule, aquí se selecciona forma de adquisición de datos que pueden ser: Continuamente (Inmediatly), en una fecha y hora determinada (On Time), cada cierto tiempo (Periodic) o por la ocurrencia de un evento (On Event). Si se selecciona la opción Periodic se debe hacer click en el botón Change para cambiar sus propiedades. Click en Next.



La última ventana en salir es la de Range, la cual está habilitada únicamente cuando se ha escogido la opción On Event o Periodic. Aquí se selecciona el tiempo durante el cual se están recolectando datos para agregarlos a un reporte.



Por último se hace click en Finish dando por terminada la configuración.

Se selecciona File → Save y luego Actions → Start Reports, o se puede acceder desde la barra de herramientas dando un click en el semáforo para habilitar el TrendWorX Report Application.

Para visualizar el o los reportes se debe ir a la carpeta en donde estos se direccionaron y abrirlos ya sea con Bloc de notas, Word Pad o en Excel.

MANUAL PARA REALIZAR UN SISTEMA DE ALARMAS

CONFIGURACIÓN EN EL ALARM WORX

INICIO → Todos los Programas → MITSUBISHI MC-WORX Suite → AlarmWorX → Alarm Server Configurator.

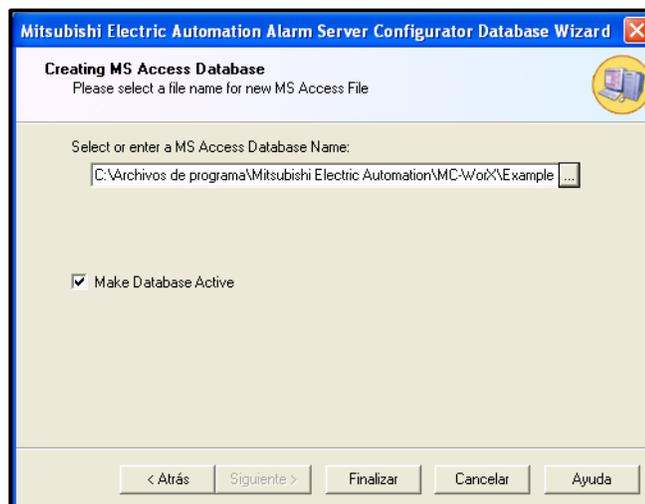
Seleccionar File → New para crear una nueva Configuration Database.

Aparecerá la ventana Configurator Database Wizard, se hace un click en NEXT (Siguiente).



Escoger la opción Create new configuration in MS Access database y nuevamente NEXT.

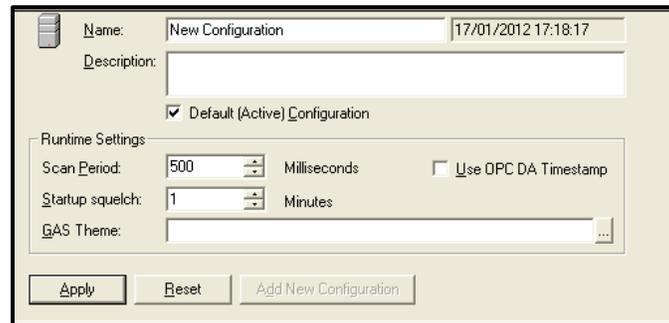
En el recuadro: Select or enter a MS Access Database name, se escoge una ubicación en donde se almacenarán los datos de las alarmas y se le da un nombre cualquiera. FINISH.



Para crear una nueva configuración de Alarmas se da un click derecho en Alarm Configurations, ubicado en el árbol de la izquierda, New → Configuration.

En Name se le da un nombre cualquiera y se selecciona la casilla Default Configuration, por ser la única configuración que se va a tener.

En Scan Period se da un valor de 500 milisegundos. Finalmente se presiona el botón Apply.

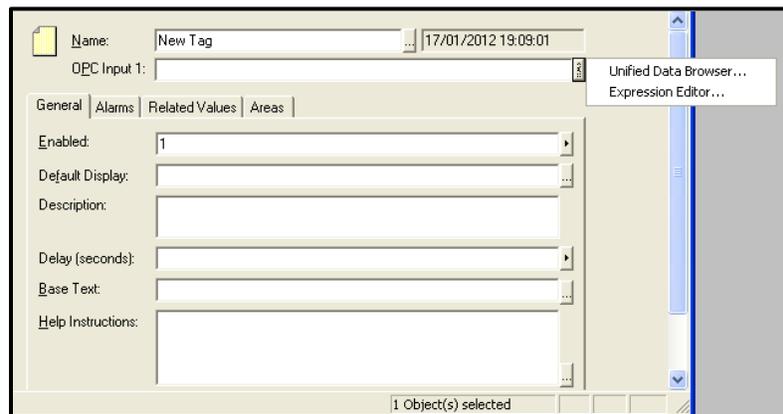


Se necesitan crear Áreas que estarán enlazadas a las variables de las diferentes alarmas, para esto se da un click derecho en Areas en el árbol de control y se selecciona New → Area.

Se asigna un nombre cualquiera y se da un click en Apply. Se crearán tantas áreas como sean necesarias.

Para agregar las variables de las alarmas se selecciona la configuración de alarmas ya creada, dentro del árbol Alarm Configuration y se da un click derecho New → Tag.

Se asigna un nombre cualquiera y en la flecha ubicada a la derecha de OPC Input 1: se da un click para seleccionar Unified Data Browser, para buscar las variables dentro del árbol ubicado en la pestaña OPC DA, My Computer → Mitsubishi.MXOPC.6, dentro del respectivo device, en la ventana del lado derecho se hace un click en la variable a insertar y se da un OK.



Al hacer esto se regresa a la ventana principal y dentro de la pestaña GENERAL se da un 1 a Enabled. En la casilla Base Text se escribe el texto base que aparecerá al inicio del indicador de dicha alarma.

En la pestaña Alarms se escogerá el tipo de alarma correspondiente a cada variable, puede ser Limit, Deviation, Rate of Change o Digital.

The screenshot shows a configuration window for a 'New Tag'. At the top, the 'Name' is 'New Tag' and the timestamp is '17/01/2012 19:09:01'. Below this is the 'OPC Input 1' field. The 'Alarms' tab is selected, showing four alarm types: 'Limit', 'Deviation', 'Rate Of Change', and 'Digital'. The 'Digital' option is currently selected. Below the alarm type selection is the 'OPC Override Input' field. Further down are fields for 'Alarm State Value', 'Message Text', 'Severity' (set to 500), 'Req. Ack.' (set to 1), and 'Return To Normal' (set to 0). At the bottom, there are three buttons: 'Apply', 'Reset', and 'Add New Tag'.

La opción Limit se utilizará en el caso de tener valores de tipo Word, DWord o Double, en los cuales se tendrán alarmas si sobrepasan los límites inferior o superior, los cuales serán asignados en las casillas Lo, LoLo, Hi y HiHi; para cada una de estas casillas se escribirá un mensaje de texto (Message Text) que indicará su estado, así como para cuando se encuentre trabajando con normalidad.

La opción Digital sirve en el caso de que las variables sean del tipo Boolean, es decir que tengan valores de 0-1, true-false, etc. En este caso se debe ingresar el valor de la variable con el que se activará la alarma y de la misma forma que en el caso anterior, el mensaje de texto que indicará su estado de alarma o de Normalidad (Message Text).

Se da un click en Apply y se escoge la pestaña Areas.

En esta parte se da un click en Add para agregar el área que irá enganchada a dicha variable; se hace doble click en el área escogida y se da un OK.

Se repiten los pasos anteriores para crear tantas variables de alarma como sean necesarias.

Una vez creadas todas las variables se debe activar la base de datos en File → Make Active y luego en el cuadro de diálogo que aparece se pone YES.

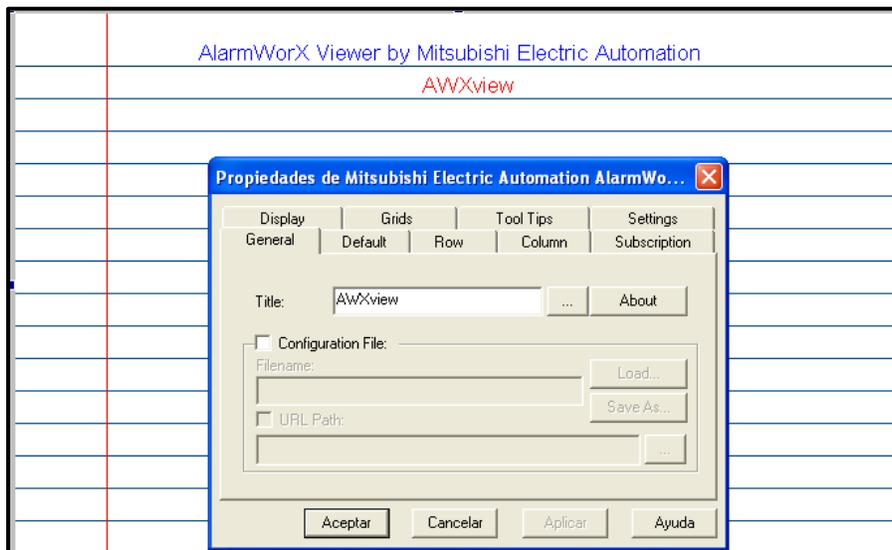
Después seleccionar Action → Start Alarm Server y por último File → Exit.

CONFIGURACIÓN EN EL GRAPH WORX

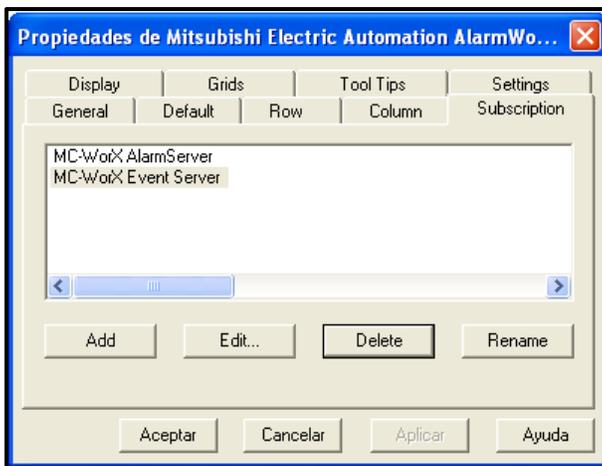
Para visualizar las alarmas se utilizará el Graph WorX.

INICIO → Todos los programas → Mitsubishi MC-WORX SUITE → GraphWorX → GraphWorX.

Primero se inserta un nuevo Alarm Viewer ActiveX desde la barra de herramientas, se hace doble click en el gráfico para ir a la ventana de propiedades, en la pestaña General se le asigna un título al visualizador de alarmas.

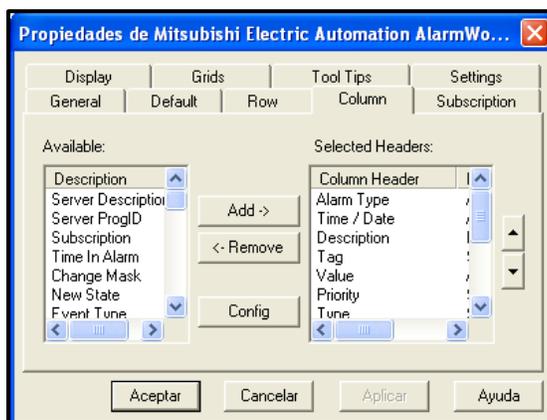


Luego en la pestaña Subscription se elimina el MC-WORX Event Server con el botón Delete, se selecciona MC-WORX Alarm Server y se da un click en Edit.



En la ventana que se abre se va a la pestaña Attributes, se escoge Limit de la lista desplegable Event Category; en la columna de la izquierda se elige Area y se da un click en ADD. Se repite el mismo paso para las categorías Deviation, Digital, y Rate Of Change. Un click en OK.

En la pestaña Columns dentro de la lista Selected Headers se selecciona Time / Date, Priority, Type, Quality y Node y se presiona Remove; luego se escoge Event Time y mediante las flechas se lo lleva hasta la segunda posición.



De la lista Available se escoge Attribute 4 y se pone Add. En la lista Selected Headers se hace click derecho en Attribute 4, se pone Rename y se cambia el nombre por Area. Enter, Apply y OK.

Se elige la pestaña Display, un click en Sort y en la lista desplegable Sort Alarms by se selecciona Event Time y luego OK.

Finalmente, en la pestaña ToolTips se recomienda establecer el ancho (Width) en 50 y se pone OK.

Se guardan los cambios en el programa File → Save y para correr el programa: Runtime.