

**Universidad del Valle de Guatemala**

**Facultad de Ingeniería**



**Automatización del Área de Manejo de Sólidos del Laboratorio  
de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de  
Guatemala**

**Trabajo de graduación presentado por Pablo Josué Fonseca Morales para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica**

**Guatemala**

**2011**



**AUTOMATIZACIÓN DEL ÁREA DE MANEJO DE SOLIDOS  
DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS EN LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Universidad del Valle de Guatemala**

**Facultad de Ingeniería**



**Automatización del Área de Manejo de Sólidos del Laboratorio  
de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de  
Guatemala**

**Trabajo de graduación presentado por Pablo Josué Fonseca Morales para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica**

**Guatemala**

**2011**

Vo.Bo.



---

Ing. Luis Reina

Tribunal:



---

MSc. Carlos Esquit



---

MSc. Gamaliel Zambrano



---

Ing. Pedro Obregon

Fecha de presentación: 7 de diciembre de 2011

## PREFACIO

Este trabajo de graduación surge como resultado del interés y pasión por el control automático aplicado a actividades que son hechas por el hombre, por el deseo de conocer sobre el funcionamiento de diferentes procesos industriales y como aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Electrónica en procesos reales para hacerlos funcionar automáticamente.

Este trabajo de graduación se realizó en apoyo al Megaproyecto: “Cuarta Fase de Automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala”, cuyo equipo de trabajo consta de una estudiante de Ingeniería Química y un estudiante de Ingeniería Industrial. Éste consiste en el diseño eléctrico, diseño de control, programación del control automático, configuración de las pantallas de control, armado de panel, instalaciones eléctricas, montaje de sensores y puesta en marcha de la automatización.

Al desarrollar el proyecto se tuvieron varios retos pues el equipo a controlar es grande y difícil de manipular, además estos funcionan con motores eléctricos, los cuales generan “ruido eléctrico” al estar operando, el cual es un problema para las señales de control, sin embargo, se logró resolver cada uno de los problemas de forma exitosa y con apoyo del Departamento de Ingeniería Química se logró la modificación del equipo a la forma deseada, además con el diseño planteado, se logró aislar el “ruido eléctrico” generado por los motores. El proyecto fue conducido superando todos los retos en el camino y llevado de forma fluida hacia una puesta en marcha exitosa y satisfactoria.

Doy gracias a Dios por ser quien guía mi vida y porque gracias a él pude concluir mis estudios de Ingeniería Electrónica. Agradezco a mis padres por el apoyo que me brindaron a lo largo de esta carrera y porque siempre han sido un ejemplo para mí, agradezco a mis hermanos por estar siempre a mí lado y por darme apoyo en todo momento, agradezco a mi novia Katya por ser mi gran amiga y por estar siempre a mi lado y sus sabios consejos a lo largo de esta carrera.

# TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABLAS .....	IX
RESUMEN .....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivos generales .....	3
B. Objetivos específicos .....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Sistemas de transporte de sólidos.....	4
B. Reductores de tamaño de sólidos .....	7
C. Sensores electrónicos .....	7
D. Variadores de frecuencia.....	11
E. Controlador lógico programable.....	12
IV. ANTECEDENTES .....	15
V. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA.....	16
VI. METODOLOGÍA .....	17
A. Diseño e investigación de proceso .....	17
B. Montaje e implementación .....	17
C. Programación y configuración .....	18
D. Puesta en marcha .....	18
VII. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
A. Investigación del proceso .....	19
B. Selección de componentes .....	20

C. Diagrama de control de proceso P&ID .....	28
D. Diagramas eléctricos de potencia.....	30
E. Diagramas eléctricos de control.....	32
F. Diagrama de panel de control.....	34
VIII. RESULTADOS .....	35
A. Estructura de soporte del panel de control.....	35
B. Tubería para cableado de control y potencia .....	36
C. Válvulas dosificadoras de tornillo .....	37
D. Panel de control.....	38
E. Instalación de cables y sensores .....	41
F. Interfaz gráfica .....	44
G. Programa del controlador lógico programable .....	52
H. Red Modbus RTU .....	53
IX. DISCUSIÓN.....	54
X. CONCLUSIONES .....	59
XI. RECOMENDACIONES .....	60
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	61
XIII. APÉNDICE .....	64
A. Programa del controlador lógico programable .....	64

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
1. Sistema de transporte neumático.....	5
2. Transportador de tornillo helicoidal .....	6
3. Esquema de un sistema automatizado .....	8
4. Ejemplo de sensores de proximidad capacitivos .....	10
5. Ejemplo de un transductor de velocidad de aire .....	10
6. Variador de frecuencia PowerFlex 4 .....	12
7. Controlador lógico programable Micrologix 1100 con varios módulos .....	14
8. Diagrama de bloques del proceso de manejo de sólidos .....	19
9. Imagen del área de sólidos a automatizar .....	20
10. Diagrama de entradas y salidas incorporadas al PLC Micrologix 1100 .....	21
11. Diagrama eléctrico de entradas del modulo Micrologix 1762-1Q8.....	22
12. Terminales del módulo Micrologix 1762-IF4 .....	23
13. Terminales del módulo Micrologix 1762-OF4.....	23
14. Diagrama eléctrico de conexión del variador de frecuencia Powerflex 4 .....	25
15. Diagrama eléctrico de conexión del variador de frecuencia Powerflex 40 .....	26
16. Diagrama P&ID del proceso parte 1.....	28
17. Diagrama P&ID del proceso parte 2.....	28
18. Diagrama P&ID del proceso completo .....	29
19. Diagrama eléctrico de potencia 220VAC.....	30
20. Diagrama eléctrico de potencia 110VAC.....	31
21. Diagrama eléctrico de potencia 110VAC a 24VDC.....	31
22. Diagrama de entradas digitales al PLC.....	32
23. Diagrama de entradas analógicas al PLC.....	33
24. Diagrama de salidas analógicas del PLC.....	33
25. Diagrama de distribución del panel de control.....	34
26. Imagen de la estructura metálica de soporte del panel de control.....	35
27. Imagen de la tubería instalada.....	36
28. Imagen del silo 1 con su dosificador de tornillo.....	37

29. Imagen del silo 2 con su dosificador de tornillo.....	38
30. Imagen de equipo montado en panel de control .....	39
31. Imagen de PLC instalado en el panel de control .....	40
32. Imagen de variadores de frecuencia instalados en el panel de control .....	40
33. Imagen del sensor de velocidad de aire .....	42
34. Imagen del sensor de nivel.....	42
35. Imagen del area de sólidos automatizada .....	43
36. Pantalla de inicio y configuración .....	45
37. Pantalla general del proceso .....	46
38. Pantalla del transportador de tornillo .....	47
39. Pantalla del transportador neumático .....	48
40. Pantalla del silo 1 .....	49
41. Pantalla del silo 2 .....	50
42. Pantalla del molino de cuchillas .....	51
43. Imagen del programa construido en la herramienta RSLOGIX 500 .....	52
44. Esquema de la red Modbus implementada .....	53

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
1. Características del PLC Micrologix 1100 .....	20
2. Características del Sensor de Proximidad Capacitivo PROXYMITY PSC .....	23
3. Características del Sensor de Flujo de Aire Dwyer Series 641 .....	24
4. Lista de sensores instalados con su descripción y rango de operación .....	40
5. Lista de descripción de las pantallas de la interfaz gráfica .....	44

# RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en la automatización de los distintos equipos utilizados en el área de sólidos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, para desarrollar un proceso automático y controlado desde una computadora. El objetivo primordial de este proyecto es dar una herramienta a los alumnos que realicen prácticas en el área de sólidos para que puedan aprender del proceso de una forma moderna con equipo automatizado.

Este trabajo busca poder aplicar la Ingeniería Electrónica para la automatización industrial a un proceso real, así como la configuración de una interfaz humano-maquina que permita controlar el proceso para que los alumnos puedan tener una herramienta sofisticada a su disposición para facilitar el aprendizaje y la realización de las prácticas en esta área de sólidos.

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala y en éste se presenta cómo se logró el control de todo el proceso, desde el diseño hasta la implementación de sensores, controlador programable, variadores de frecuencia e interfaz gráfica.

Al finalizar se logró, mediante la automatización del área de sólidos del laboratorio de Operaciones Unitarias, implementar una línea de producción que transporta sólidos la cual es controlada y monitoreada desde una computadora que trabaja en forma automática y manual. Finalmente se logró cumplir con los objetivos trazados y requerimientos del departamento de Ingeniería Química para esta área.

# I. INTRODUCCIÓN

En los años 2008, 2009 y 2010 se desarrollaron la primera, la segunda y la tercera fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Este trabajo de graduación se realizó en apoyo a la cuarta fase de automatización para así continuar con la modernización en dicho laboratorio y poder contribuir a la desarrollo del mismo.

La automatización de procesos industriales es un área muy importante en la actualidad de las industrias ya que, en los últimos años, los procesos industriales han sido expuestos a grandes cambios debido al crecimiento de la población mundial, lo que hace que exista una alta demanda de productos. Esta demanda ha obligado a que los procesos de producción sean automáticos para aumentar la eficiencia y velocidad de los mismos, y reducir los costos.

El proyecto consiste en automatizar el área de Manejo de Sólidos de la Universidad del Valle de Guatemala para apoyar al Departamento de Ingeniería Química para que pueda tener un lugar donde los alumnos puedan experimentar y aprender del proceso de transporte de sólidos con un equipo automatizado, que les permita utilizar todo el potencial del proceso y tener facilidad para realizar sus prácticas por medio de la utilización de software para la adquisición de información e implementación de variables.

El objetivo primordial de dicha automatización es montar una línea de producción de manejo de sólidos, cuyo proceso conste de: dos silos dosificadores, un transportador neumático, un transportador de tornillo, un ciclón y un molino de cuchillas. Para esto, se busca controlar el proceso automáticamente de tal forma que se pueda mantener un flujo constante de transporte y que dicho flujo varíe dependiendo del tipo de sólido a manejar. Para este proceso se utilizarán tres tipos de sólidos: frijol, maíz y maicillo.

El control se pretende realizar mediante el uso de sensores, variadores de velocidad, controlador lógico programable e interfaz humano-máquina, de tal forma que los alumnos puedan interactuar con el proceso y poder variar las características del mismo con la finalidad de

aprender y experimentar según sus prácticas de laboratorio lo requieran. Se pretende que existan dos funcionalidades, la primera donde el proceso funcione de forma automática, la segunda donde todo el equipo sea operado manualmente.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. Objetivos generales**

- ✓ Diseñar e implementar un sistema de automatización capaz de controlar el proceso de Manejo de Sólidos en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, para que este funcione automáticamente.
- ✓ Diseñar e implementar un sistema de automatización que sea capaz de variar el proceso según parámetros y configuraciones ingresados remotamente desde una computadora.

### **B. Objetivos específicos**

- ✓ Diseñar un sistema de control que actúe de manera automática para el control de velocidad de transporte de los sólidos, que base sus decisiones en la información proveniente de sensores de velocidad de aire y sensores capacitivos y que envíe una retroalimentación hacia un controlador lógico programable para que dicha velocidad se mantenga siempre estable según la configuración deseada.
- ✓ Implementar una red ModBus RTU que permita controlar los variadores de frecuencia para controlar la velocidad de los motores utilizados en el proceso.
- ✓ Crear una interfaz que permita visualizar, controlar e interactuar con el proceso desde una computadora.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Sistemas de transporte de sólidos

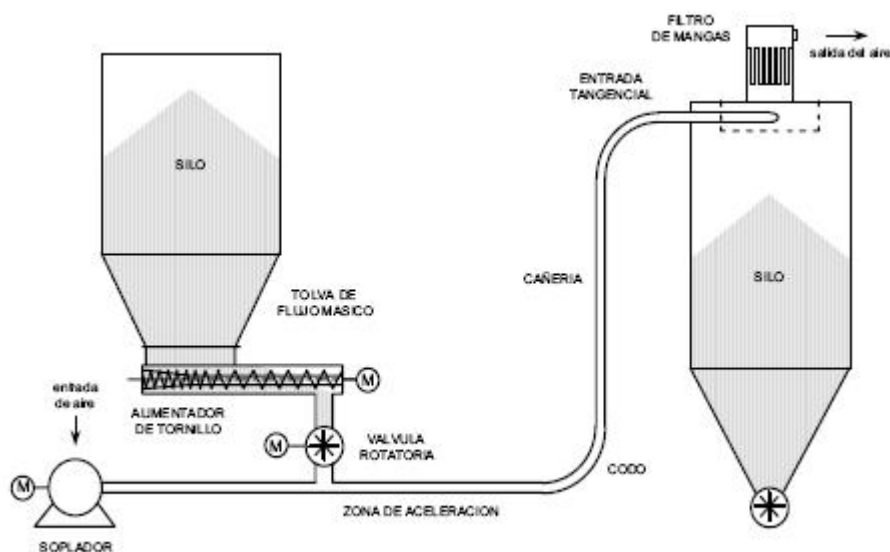
**1. Transportadores neumáticos.** Los sistemas de transporte neumático se utilizan ampliamente en la industria para transportar materiales secos, finos y a granel porque son extremadamente versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos. El transporte neumático de sólidos se ha practicado por más de un siglo en el mundo y hoy se puede encontrar sistemas de este tipo en las más variadas industrias: la minería, industria del cemento y construcción, química y farmacéutica, plásticos, de alimentos, papel, vidrio, energía; el transporte y descarga neumática de cemento, cal, azúcar, pellets plásticos en camiones a granel presurizados, sistemas de transporte e inyección neumática de concentrado de cobre seco, y sistemas similares para carbón pulverizado que alimentan calderas y hornos, sistemas de transporte neumático de fertilizantes, yeso, coke, cenizas, sal, alimentos, granos, aserrín, etc. [3]

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de aire a presión, ya sea positiva o negativa. La principal ventaja del transporte neumático de sólidos a granel es que los sistemas son cerrados, y por lo tanto, no-contaminantes. El material transportado se encierra totalmente dentro de la cañería, lo cual protege al producto del medio ambiente y al medio ambiente del producto en caso de transportar materiales peligrosos, explosivos, tóxicos, biológicos, etc. Además, son sistemas muy limpios, adecuados para muchos y variados procesos, flexibles para cambiar de dirección, requieren de un reducido espacio y son fáciles de automatizar. Dentro de las desventajas es importante destacar que no todos los materiales particulados se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sino sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad, y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir de excesiva atrición y materiales abrasivos pueden causar desgaste prematuro en las cañerías y codos. Otras limitaciones del transporte neumático son el tamaño máximo de

partícula, la capacidad máxima de transporte, la distancia a transportar y el mayor consumo de energía. [3]

Hoy en día se pueden encontrar sistemas de transporte neumático en las más diversas industrias. Incluso existen algunas aplicaciones algo inusuales como el transporte neumático de gallinas vivas en granjas, transporte neumático de botellas plásticas y/o latas de cerveza, transporte neumático de cubos de hielo en minas subterráneas, transporte de pellets para alimentar salmones, etc. En la **Figura 1** se puede observar un sistema de transporte neumático entre dos silos. [3]

**Figura 1. Sistema de transporte de sólidos neumático. [3]**

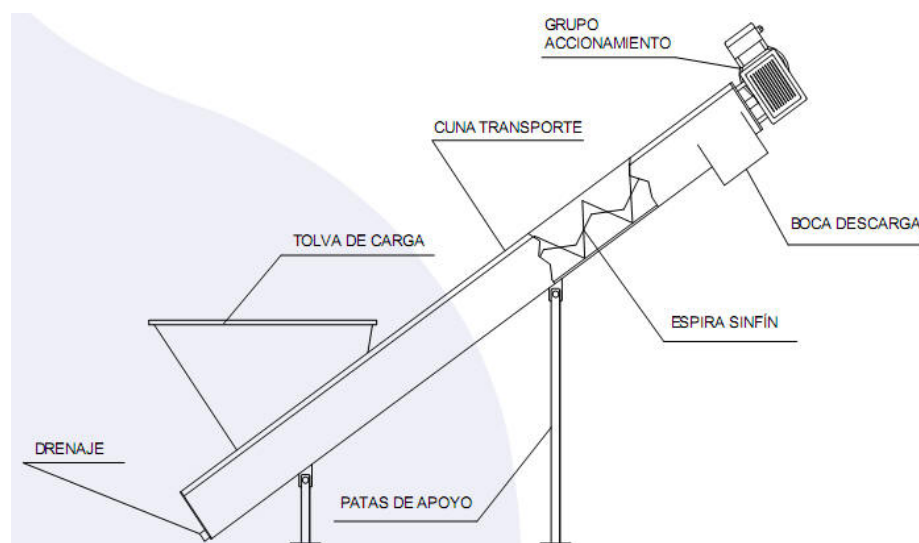


**2. Transportadores de tornillo helicoidal.** Los transportadores de tornillo helicoidal, sinfín o de gusano son uno de los tipos de transportadores más antiguos y versátiles. Consisten en un sistema de aspas helicoidales o seccionales montadas en una tubería o un eje y que giran en una artesa. La potencia de transporte debe transmitirse a través del eje o la tubería se ve limitada por el tamaño permisible de sus piezas. Además de su capacidad de transporte, los transportadores de tornillo sinfín pueden adaptarse a una gran variedad de operaciones de procesamiento. Se puede lograr casi cualquier grado de mezcla con transportadores de tornillo sinfín de aspas cortadas; cortadas y plegadas o reemplazadas mediante una serie de placas. El uso de aspas de caucho permite manejar materiales pegajosos. Las unidades de aspas

escalonadas o cónicas y de paso variable pueden proporcionar un control excelente para las aplicaciones de alimentación o en transportadores en los que se requiere control preciso del índice de desplazamiento. Se usan tornillos de pasos corto para aplicaciones de desplazamiento inclinado y vertical y unidades de paso corto y aspas dobles que evitan eficientemente la acción de inundación. Además de una gran variedad de diseños de componentes, los transportadores de tornillo sinfín pueden fabricarse en gran variedad de materiales que van desde hierro hasta acero inoxidable. [9]

El uso de tornillos huecos y tuberías para la circulación de fluidos calientes o fríos permite que los transportadores de tornillo sin fin se usen para operaciones de calentamiento, enfriamiento y desecación. Se pueden usar tuberías recubiertas con el mismo fin. Es relativamente sellar un transportador de gusano de la atmosfera exterior, para que pueda funcionar al aire libre sin protección especial. Otra ventaja adicional es el hecho de que se puede diseñar con una descarga por debajo para facilitar la limpieza, con el fin de evitar la contaminación cuando se deban manejar en el mismo sistema, materiales diferentes. En la **Figura 2** se observa un transportador de tornillo. [9]

**Figura 2. Transportador de sólidos de tornillo helicoidal. [1]**



## B. Reductores de tamaño de sólidos

**1. Molienda por corte de cuchillas.** La molienda por corte tiene como principal objetivo reducir el tamaño de partículas que sean expuestas a las cuchillas. Estas partículas pueden ser de naturaleza orgánica como es el caso de hojas, tallos y cortezas. También es aplicable a otras partículas semiorgánicas cuyas propiedades son similares tales como el papel, el cartón, láminas aglomeradas, telas y aquellas cuya conformación sea porosa y elástica como las espumas. [7]

Así mismo materiales pertenecen a las diversas categorías de polímeros y cuya plasticidad tiene un comportamiento similar a las estructuras fibrosas con la característica adicional de que su conformación molecular es más fuerte, más abrasiva y pueden ser termosensibles. Estos productos deben ser reducidos de manera metódica según su tamaño. La gran variedad de disposiciones en los molinos de cuchillas permiten procesar de manera eficiente y ofreciendo uniformidad en la granulometría. [7]

El tamaño máximo de reducción por molienda de corte de cuchilla varía entre los dos y seis milímetros según tamaño de entrada, características de cada producto, velocidad de corte y tamaño de las cuchillas. [7]

## C. Sensores electrónicos

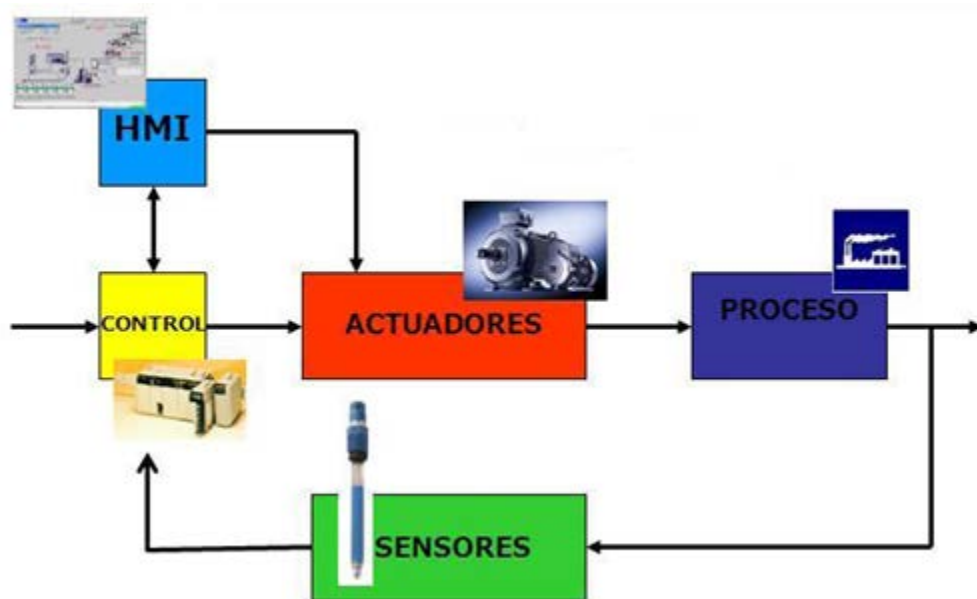
Los sensores electrónicos son parte fundamental en la automatización industrial, pues juegan un rol primordial en cualquier sistema automatizado. Cuando un proceso es automatizado, significa que en el proceso no se cuenta con la participación del ser humano, y solo lo hace para fijar instrucciones o bien modificarlas. Con este concepto podemos decir que en una operación controlada de manera automática se llevarán a cabo tres acciones: observar, decidir y por último actuar. [4]

Haciendo una analogía con referencia al ser humano; el ser humano realiza actividades similares a un proceso automatizado, pues puede sentir utilizando sus cinco sentidos, como: mirar, oír, oler, probar y tocar todo esto le sirve para enviar información al cerebro que es el sistema que procesa y toma decisiones. [4]

En los procesos industriales los sensores equivalen a los sentidos humanos y estos sirven para proporcionar información al dispositivo de control que puede ser un microprocesador el cual va a hacer las funciones del cerebro. Se dice entonces que se va a controlar una acción pensando; esto quiere decir que se va a decidir y por último actuar. [4]

En un sistema, el sentir se realiza mediante la utilización de elementos capaces de interpretar cambios a las variables que son expuestas, tales como: proximidad de un objeto, temperatura, velocidad, presión, etc. Algo importante de mencionar es que los sensores deben ser siempre calibrados, lo cual significa, que a un determinado valor de variable sensada conocida se obtiene un determinado valor de señal eléctrica conocida, de esta forma es posible el control mediante dispositivos electrónicos de un proceso industrial. [4]

Figura 3. Esquema de un sistema automatizado. [4]



**1. Sensores capacitivos.** Los sensores capacitivos son dispositivos electrónicos que están especialmente diseñados para lograr detectar la proximidad de materiales aislantes tales como el plástico, el papel, la madera, entre otros, no obstante también cuentan con la capacidad de detectar metales. Es importante tener en cuenta que los sensores capacitivos funcionan de manera inversa a los inductivos, es decir que a medida que el objetivo se va acercando al sensor las oscilaciones del mismo aumentan hasta que llega a un límite que activa el circuito que dispara las alarmas. Ahora bien, para que podamos comprender como funcionan los sensores capacitivos, debemos decir que en un principio estos constan de una sonda que se encuentra situada en la cara posterior en donde se encuentra colocada una placa condensador, y al aplicar una corriente al sensor por más mínima que sea, se produce una especie de campo electroestático cuya reacción se produce frente a los cambios de la capacitancia provocados por la presencia de un objeto cualquiera. [10]

En el caso de que el objeto se encuentre fuera del campo electroestático entonces el oscilador de los sensores capacitivos se encontrará inactivo, pero como bien decíamos anteriormente a medida que el objeto se va acercando al sensor, estos se activan. Para que podamos entender exactamente cómo funcionan los sensores capacitivos debemos decir que los mismos están compuestos con algunas piezas las cuales son el oscilador, que representa a la amplitud de oscilación variante según la distancia a la cual esté el objeto. [10]

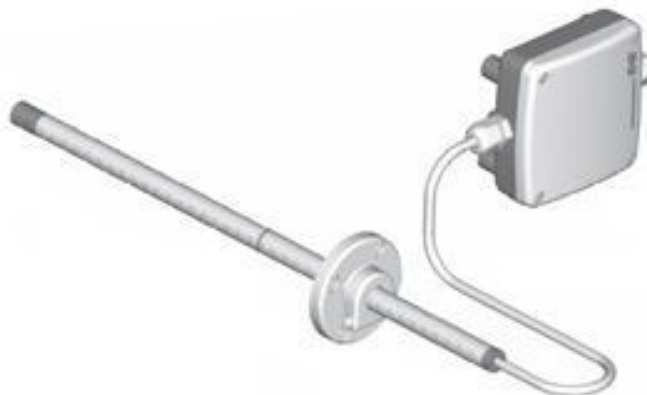
También está el rectificador, cuya función es convertir la señal alterna del oscilador de manera que la cercanía de un objeto a los sensores se verá traducida en una variación de la señal en la corriente constante; el potenciómetro el cual ayuda a que la señal de los sensores capacitivos pueda ajustarse con al finalidad de eliminar la detección de algunos medios, es decir que por ejemplo el nivel de un líquido puede llegar a medirse a través de las paredes de su recipiente. Por último, los sensores capacitivos cuentan con un circuito disparador en cual compara la señal proporcionada por el rectificador con la de un umbral que varía dependiendo de si los sensores capacitivos se encuentran activos o no. [10]

**Figura 4. Sensores de proximidad capacitivos. [5]**



**2. Sensores de velocidad de aire.** Un sensor de caudal de aire o velocidad de aire es un sensor que se utiliza para medir con precisión la velocidad del aire en los diferentes ámbitos como calefacción, ventilación y climatización, etc., y de esta forma variar la señal eléctrica de salida. El sensor de velocidad de aire se puede usar en prácticamente cualquier campo donde existan cambios en la velocidad de viento, pues se diseñan para detectar las diferencias de presión a la que son sometidos por el aire que ejerce fuerza sobre el sensor y hace que esté varíe la señal eléctrica de salida según sea ajustado el rango de medición en base a la señal de salida que se desea. Estos sensores generalmente se pueden instalar tanto en una tubería o en lugares abiertos y son útiles en aplicaciones donde el aire fluye libre mas no donde el aire lleva elementos sólidos, pues estos dañarán el sensor. [8]

**Figura 5. Transductor de caudal aire. [8]**



## D. Variadores de frecuencia

Los accionamientos a base de motores eléctricos son los más numerosos de la mayoría de las aplicaciones, y dentro de ellos los basados en motores de corriente continua han gozado de una total hegemonía en el campo industrial durante décadas. Sin embargo los motores con menor nivel de exigencias en el mantenimiento son los motores asíncronos de jaula de ardilla, debido a que carecen de colector, tienen una relación peso-potencia mucho menor que los de continua, y por tanto un coste significativamente más bajo. Por estas razones, dada su capacidad de soportar sobrecargas y su elevado rendimiento, es el motor más atractivo para la industria. Desde hace aproximadamente veinte años, el elevado desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores ha permitido variar la velocidad de estos motores, de una forma rápida, robusta y fiable, mediante los reguladores electrónicos de velocidad. La elección de la instalación de un variador de frecuencia como método de ahorro energético supone: [2]

- ✓ Reducción del consumo.
- ✓ Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos.
- ✓ Minimizan las pérdidas en las instalaciones.
- ✓ Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento). [2]

Un regulador electrónico de velocidad, o variador de frecuencia, está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. [2]

Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor. El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual. La mayoría de las marcas incluyen dentro del propio convertidor protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobreintensidad, sobre temperatura, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc., además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones. Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones industriales donde se requiera. [2]

**Figura 6. Variador de frecuencia PowerFlex 4. [18]**



## E. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable, llamado PLC por sus siglas en inglés, nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores, finales de carrera, pulsadores, etc., por una parte, y los actuadores, bobinas, contactores, lámparas, pequeños receptores, etc., por otra. Los PLC se introdujeron por primera vez en la industria en los años sesentas aproximadamente. [6]

La razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relees y contactores. Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular a un gran fabricante de coches. Otras compañías propusieron a la vez esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8. El MODICON 084 Scheider resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente. [6]

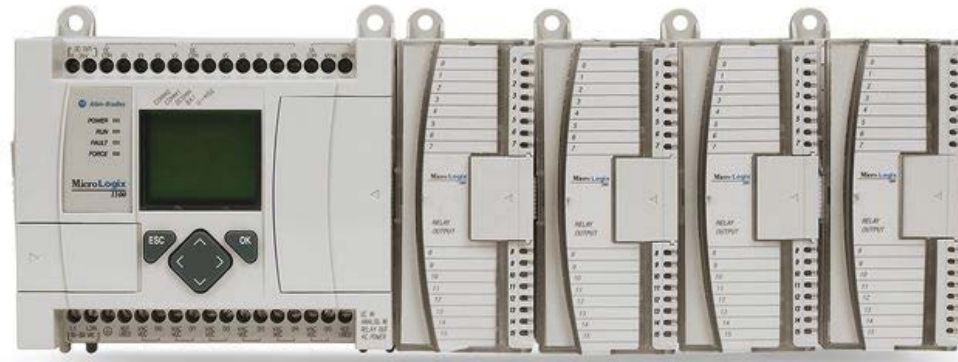
El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control. Esto comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada se requería un estricto mantenimiento planificado. Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento. Los nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se imponía que trabajaran sin problemas en entornos industriales adversos. [6]

Los Controladores Lógicos Programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta. Al detectarse cambios en las señales, el autómeta reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso. La secuencia básica de operación del autómeta se puede dividir en tres fases principales: Lectura de señales desde la interfaz de entradas. Procesado del programa para obtención de las señales de control. Escritura de señales en la interfaz de salidas. [6]

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas, entonces las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal. A ésta acude el procesador en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal conocida como imagen de

salida. Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida. [6]

**Figura 7. Controlador Lógico Programable Micrologix 1110 con varios módulos. [11]**



## **IV. ANTECEDENTES**

### **Megaproyecto 2008: Primera Fase de Automatización**

Este Megaproyecto se desarrolló completamente por el Departamento de Ingeniería Electrónica en el año 2008. El proyecto consistió en la automatización de la Torre de Absorción.

### **Megaproyecto 2009: Segunda Fase de Automatización**

Este Megaproyecto fue realizado con el objetivo de automatizar la Torre de Destilación, para este proyecto participaron tres estudiantes de ingeniería electrónica, un estudiante de Ingeniería Química y un estudiante de Ingeniería Industrial.

### **Megaproyecto 2010: Tercera Fase de Automatización**

En esta fase del Megaproyecto, se automatizó la Planta de Biodiesel, la Torre de Enfriamiento y la Columna de Extracción. Para esta fase participaron tres estudiantes de Ingeniería Electrónica, cuatro estudiantes de Ingeniería Química y un estudiante de Ingeniería Industrial, además de la automatización de los Intercambiadores de Calor y Condensadores de Vapor, donde participó un estudiante de Ingeniería Electrónica.

## V. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA

Este trabajo de graduación consiste en el diseño, el montaje y la implementación del sistema eléctrico y de control del proceso de manejo de sólidos, lo cual incluye, diseño y diagramación de control del proceso, instalación de sensores y actuadores, construcción del sistema de tubería eléctrica y soporte a panel de control, cableado estructurado, instalación de variadores de frecuencia y motores, diseño del HMI y programación del PLC.

El trabajo de graduación consiste principalmente en la implementación de un control automático a una línea de transporte de sólidos. Para esto es necesario diseñar un módulo de control que funcione y controle el proceso según los requerimientos del Departamento de Ingeniería Química, además construir las partes de soporte del equipo eléctrico, panel de control, sensores, etc. Comprende el montaje de la tubería eléctrica, tanto de líneas de control como de potencia, además del cableado estructurado del sistema.

Para el control del sistema se usan sensores capacitivos de proximidad, sensores de velocidad de caudal de viento, variadores de frecuencia, válvulas dosificadoras y motores. También comprende la instalación el panel de control, canaleta y riel DIN, dispositivos electromagnéticos, fusibles, breakers, borneras, variadores de frecuencia y el controlador lógico programable.

Para este sistema se necesita instalar una estación remota donde se podrá monitorear los parámetros de cada parte del mismo y se podrá controlar el sistema según los requerimientos del usuario.

## **VI. METODOLOGÍA**

A continuación se presenta los pasos a seguir para el diseño, el montaje, programación, configuración y puesta en marcha del proceso de automatización del área de manejo de sólidos.

### **A. Diseño e investigación del proceso**

Para lograr desarrollar la automatización del proceso, es necesario investigar el funcionamiento de dicho proceso y diseñar soluciones que puedan acoplarse al equipo que funcionará automáticamente. Para esto se trabajó en conjunto con ingenieros químicos para comprender el funcionamiento del proceso y diseñar nuevas soluciones que se acoplen a los componentes que lo controlaran.

En esta fase, se seleccionaron los componentes eléctricos y electrónicos que pueden cumplir con los requerimientos químicos del proceso y con los requerimientos eléctricos para poderlos controlar eficientemente. Además, se diseñó el sistema eléctrico del proceso, que incluye, conductores y tubería a instalar.

### **B. Montaje e implementación**

Para poder implementar la automatización del proceso, es necesario modificar partes del proceso y colocar nuevas soluciones, para esto, se modificó en distintas partes la forma como el proceso funciona, de tal forma que cumpla con los requerimientos químicos y también de control. En esta fase del proceso se instaló la tubería que lleva el cableado a todo el cuarto de sólidos, también se instalaron los cables, y se construyó el soporte para el panel de control así como el montaje del panel y los componentes que lleva dentro.

## **C. Programación y configuración**

En esta fase, es necesario determinar los pasos a seguir para que el proceso funcione de forma automática según los requerimientos químicos del proceso, para eso se programaron las diferentes rutinas y se diseñaron las pantallas donde se pueda controlar y observar los valores requeridos del proceso. Para este paso se utilizaron los programas: RSLOGIX 500 y FACTORY TALK VIEW ME.

## **D. Puesta en marcha**

Finalmente en esta fase se implementa el programa directamente en el proceso, realizando varias pruebas para que el proceso funcione de forma óptima. En estas pruebas se incluyen calibración de los sensores y modificaciones a parámetros que permitan que el proceso funcione de forma correcta a los requerimientos solicitados.

## VII. DISEÑO EXPERIMENTAL

### A. Investigación del proceso

Para poder desarrollar la automatización de forma correcta, es necesario conocer el proceso a automatizar, además de cumplir con los requerimientos y necesidades del Departamento de Ingeniería Química. El proceso de Manejo de Sólidos a automatizar se describe a continuación:

Inicialmente se llena la tolva del transportador de tornillo con los sólidos, esta tolva cuenta con un sensor de nivel, que indica cuando esta se vacíe. Al final de la tolva se encontrará un dosificador en forma de tornillo que controla el flujo del sólido que pasa hacia el transportador de tornillo. El transportador de tornillos consiste en un tornillo que gira sobre un eje y de esta forma son transportados los sólidos. Posteriormente los sólidos pasan al silo donde son almacenados, este silo también contara con un dosificador en forma de tornillo para controlar el flujo de entrada para que ingresen al transportador neumático, este silo también contara con dos sensores de nivel. Con un flujo controlado, los sólidos entran al transportador neumático, aquí los sólidos son transportados en una corriente de aire. En este equipo se va a controlar la velocidad del aire al inicio y al final de la tubería para ver las pérdidas que existen en dicha tubería. Al final del transportador neumático, los sólidos son descargados en un tercer silo, que posee también sensores de nivel y tornillo dosificador, este silo dosifica la entrada del sólido al molino de cuchillas donde los sólidos son cortados. El diagrama del proceso se puede observar en la **Figura 8**.

Figura 8. Diagrama de bloques del proceso de manejo de sólidos.

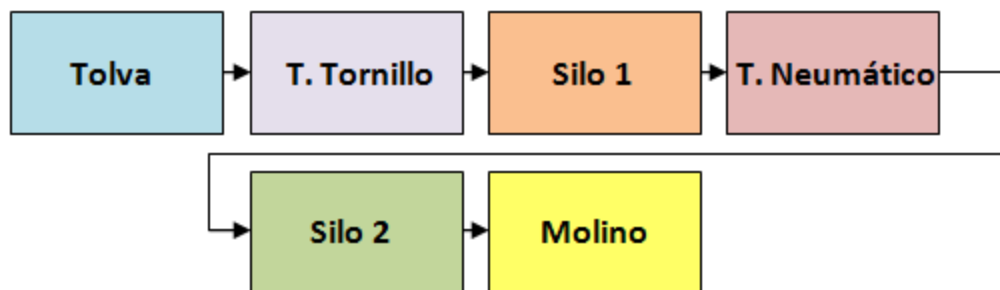


Figura 9. Imagen del área de sólidos a automatizar.



## B. Selección de componentes

**1. Controlador Lógico Programable.** Para poder automatizar el proceso, se procedió a seleccionar un Controlador Lógico Programable, también llamado por sus siglas en inglés PLC, el cual es el que controla todos los sensores y actuadores según la lógica de programación. Dicho controlador fue seleccionado según las necesidades del proceso, tomando en cuenta el tipo y número de variables a controlar, tanto sensores como actuadores y también las variables de retroalimentación. Luego de analizar todo esto, se seleccionó el Controlador Lógico Programable Allen Bradley de la familia MicroLogix, modelo 1100, serie 1763-L16AWA.

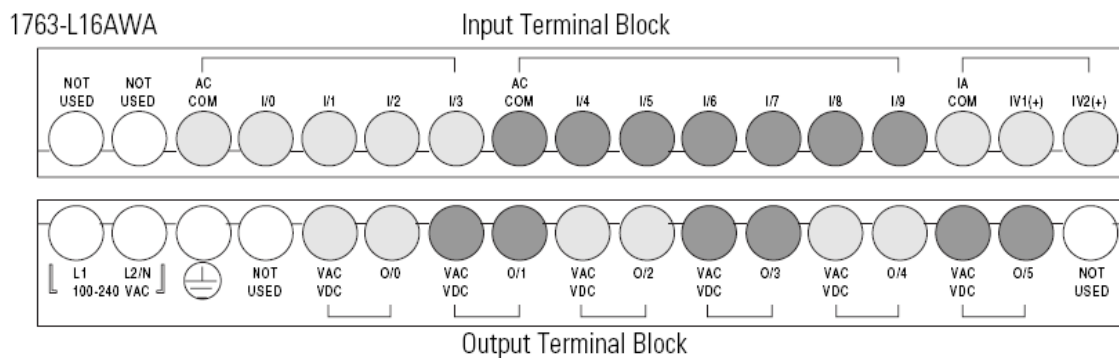
A continuación, en la **Tabla 1** se presentan las especificaciones de este Controlador Lógico Programable.

**Tabla 1. Características del PLC MicroLogix 1100 1763-L16AWA.**

Características	Descripción
Tipo de Memoria	Flash
Tamaño de Memoria	8KB
Pantalla LCD	Pantalla de texto 4x12
Puertos de Comunicación	RS-232/485, IP Ethernet RJ-45
Rendimiento Efectivo	2ms
Tensión de Línea	120/240 VAC
Número de Entradas	10 (120 VAC) y 2 (Analógicas)
Número de Salidas	6 (Relé de aislamiento)
E/S de Alta Velocidad	No
Soporte de Módulos Adicionales	4

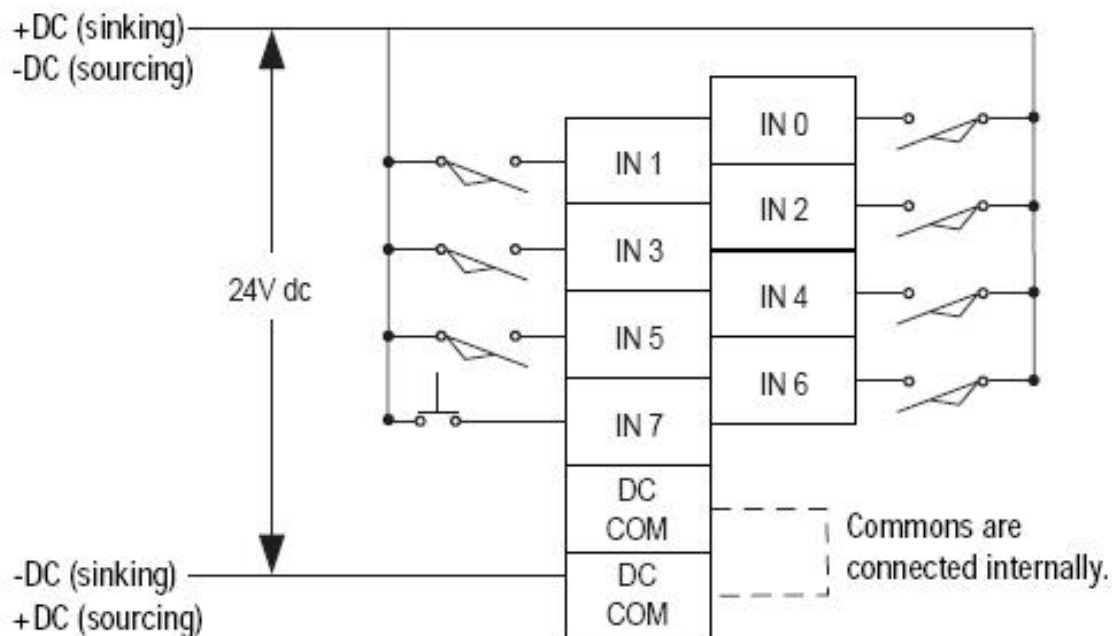
Después de seleccionar dicho Controlador Lógico Programable, se procedió a seleccionar los módulos que se utilizaron para los distintos tipos de entradas y salidas del programa. En la **Figura 10** se puede observar las entradas y salidas que trae incorporadas el PLC MicroLogix 1100 1763-L16AWA.

**Figura 10. Entradas y salidas incorporadas en el PLC MicroLogix 1100 1763-L16AWA. [13]**



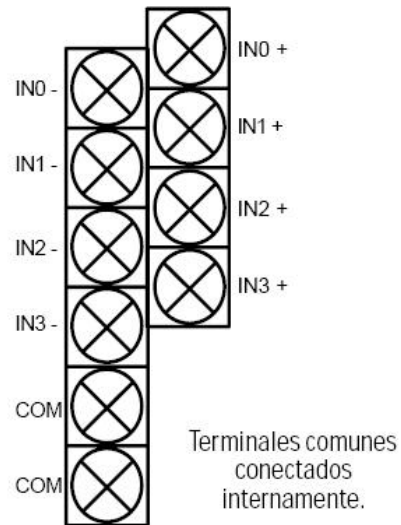
**2. Módulo de entradas digitales.** Para poder obtener entradas digitales de los sensores al PLC, es necesario agregar un módulo de entradas digitales, el cual tiene que ser compatible con el controlador. Para esto, se tomó en cuenta el voltaje que los sensores brindan y se seleccionó el módulo de entradas digitales MicroLogix 1762-IQ8. En la **Figura 11** se presentan las características de dicho módulo.

**Figura 11. Diagrama eléctrico de entradas del módulo MicroLogix 1762-IQ8. [15]**



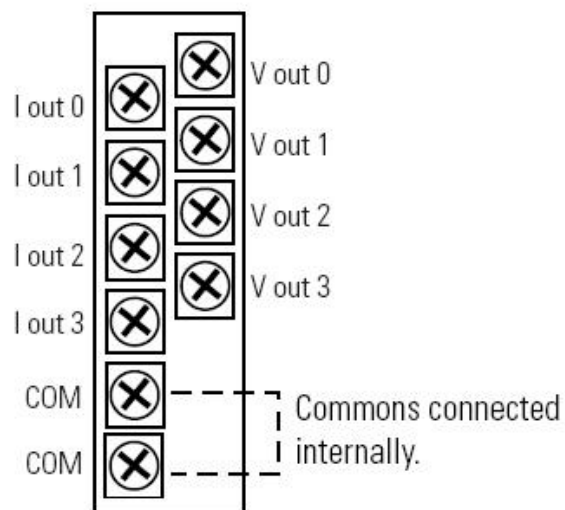
**3. Módulo de entradas analógicas.** Los sensores de velocidad de viento que se utilizan en el proceso tienen como salida 4-20ma, por lo que se necesita de un módulo de entradas analógicas para procesar dicha información. Para esto se seleccionó el módulo MicroLogix 1762-IF4. La distribución de las salidas se muestra en la **Figura 12**.

Figura 12. Terminales del módulo MicroLogix 1762-IF4. [14]



**4. Módulo de salidas analógicas.** Para poder controlar los motores, es necesario controlar variadores de frecuencia, los cuales, necesitan una entrada externa analógica, para esto, se necesita un módulo de salidas analógicas para que el controlador pueda controlar a los variadores de frecuencia y así los motores. Para esto se seleccionó el módulo MicroLogix 1762-OF4. La distribución de las salidas se muestra en la **Figura 13**.

Figura 13. Terminales del módulo MicroLogix 1762-OF4. [16]



**5. Sensores de proximidad.** Los sensores de proximidad son utilizados para poder detectar el nivel máximo y mínimo en los silos. Para esto se seleccionaron los Sensores de Proximidad marca PROXIMITY Serie PSC/PSI. Estos sensores son de tipo capacitivo y detectan cuando existe cualquier material cerca de ellos, lo que se acopla a las necesidades del proceso para detectar el nivel de los granos en los silos. Son sensores de 3 hilos NPN, y sus especificaciones se detallan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2. Características del sensor de proximidad capacitivo PROXYMITY PSC.**

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Señal de Salida</b>	3 Hilos NPN, N.O.
<b>Alimentación</b>	24 VDC
<b>Dimensiones</b>	Cuerpo Cilíndrico de 80 mm
<b>Distancia de Sensado</b>	20 mm
<b>Longitud de Cable de Conexión</b>	3m

**6. Sensores de flujo de aire.** Para obtener la velocidad del aire del transportador neumático, se seleccionaron sensores marca Dwyer Series 641 Air Velocity Transmitter, los cuales son sensores con una sonda que se puede introducir en las tuberías de forma fácil, lo cual se adecua a las necesidades del proceso, además brinda una salida analógica lineal lo que es óptimo para lograr la automatización. Las especificaciones eléctricas de dichos sensores se presentan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3. Características del Sensor de Flujo de Aire Dwyer Series 641.**

<b>Especificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Señal de Salida</b>	4-20ma
<b>Voltaje de Alimentación</b>	24 VDC
<b>Numero de Cables</b>	4
<b>Resistencia de Loop</b>	6000hms
<b>Peso</b>	12.6 oz

**7. Variadores de frecuencia.** Los variadores de frecuencia en este proceso tienen como objetivo manejar la velocidad de los motores que controlan el movimiento de los sólidos a lo largo del proceso. Para esto se seleccionaron dos tipos de variadores de frecuencia. Los variadores de frecuencia son marca PowerFlex 40 y PowerFlex 4. Esta selección se hizo ya que en el área de sólidos del Laboratorio de Operaciones Unitarias habían dos variadores marca PowerFlex 40 instalados y en uso. Las especificaciones de entradas y salidas se pueden observar en **Figura 14** y **Figura 15**.

**Figura 14. Diagrama eléctrico de conexión del variador de frecuencia PowerFlex 4. [17]**

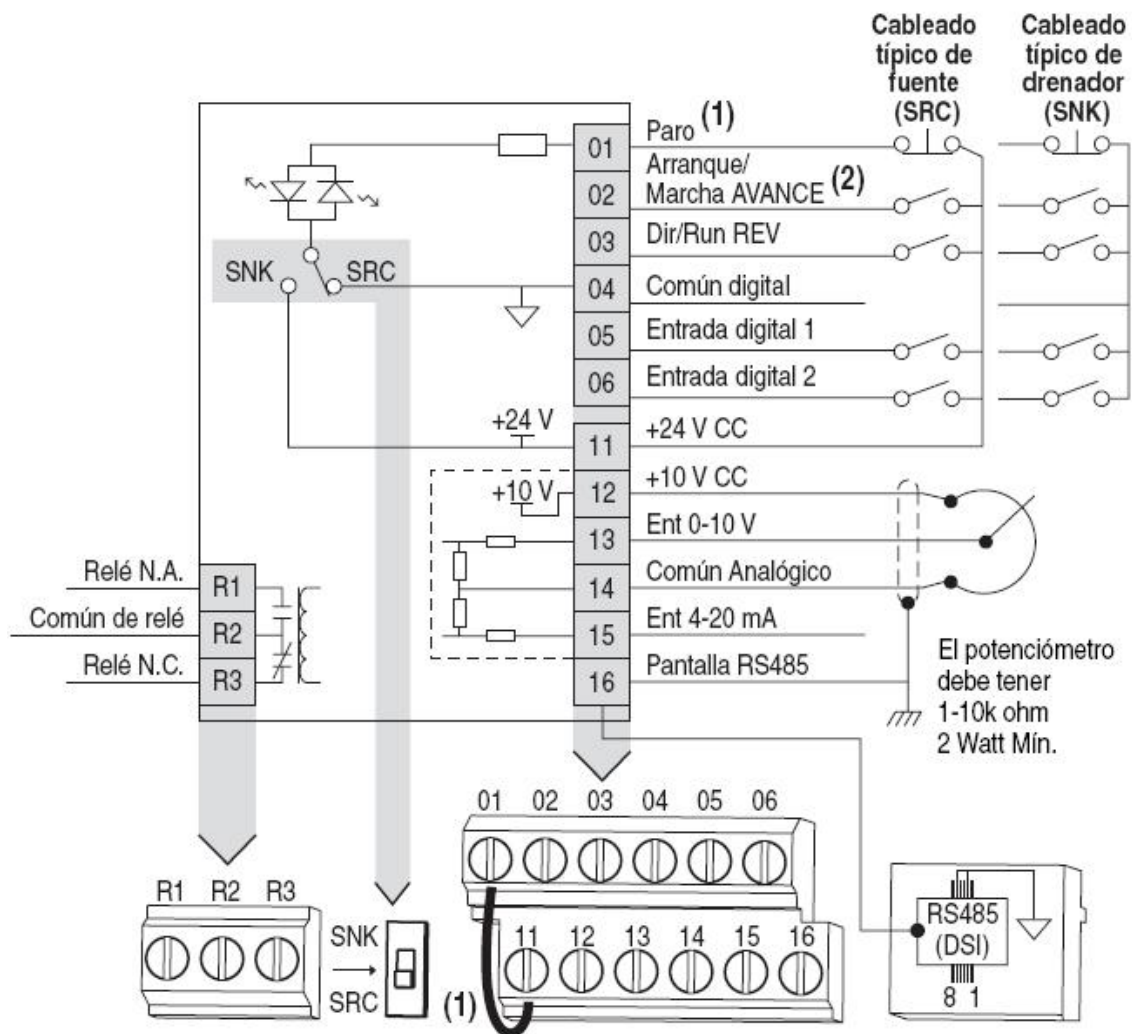
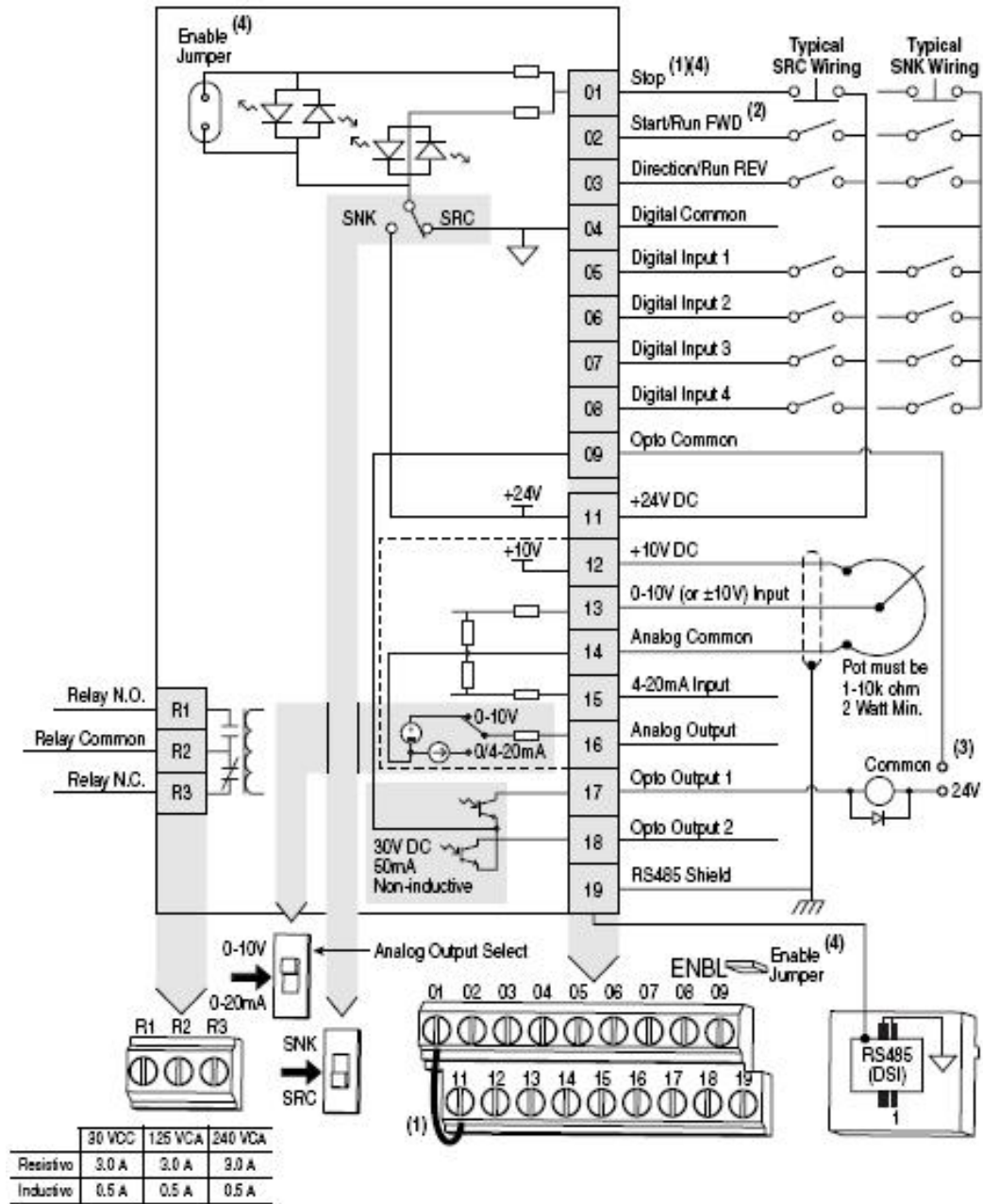


Figura 15. Diagrama eléctrico de conexión del variador de frecuencia PowerFlex 40. [19]



**8. Tornillos dosificadores.** Para poder controlar el flujo del proceso, es necesario controlar la dosificación de cada silo, debido a que el proceso es de manejo de sólidos, fue necesario diseñar tornillos dosificadores, los cuales consisten de un tornillo que gira sobre su eje mientras va dosificando el sólido donde sea necesario. Para esto, cada tornillo consta de un motor trifásico y un variador de frecuencia para poder controlar la velocidad a la que gira y dosifica.

**9. Dispositivos de potencia.** Los dispositivos de potencia consisten de los accesorios que son necesarios para cumplir con los requerimientos eléctricos del proceso. Entre dichos dispositivos se encuentran:

**a. Fusibles.** Se seleccionaron fusibles marca General Electric, para tablero de distribución, estos fusibles son de 3x1 para manejar carga trifásica, soportan una corriente máxima de 5A. Estos fueron necesarios para poder tener la distribución de 220VAC en los motores.

**b. Breakers.** Se emplearon breakers para poder energizar el tablero de control, el PLC y para el ventilador. Se seleccionaron marca Allen Bradley y son especiales para riel DIN. Fueron seleccionados para soportar corriente máxima de 3A.

**c. Borneras.** Las borneras son utilizadas en las salidas y entradas de las señales de control y potencia, de esta forma se puede tener conexión al proceso más ordenada y sin necesidad de tocar el PLC al momento de realizar ampliaciones. Además se tiene mayor seguridad ante posibles accidentes eléctricos, pues se evita tocar los cables directamente.

## C. Diagrama de Control del Proceso P&ID

A continuación se muestran los diagramas P&ID elaborados para diseñar el control del proceso.

Figura 16. Diagrama P&ID del proceso parte 1.

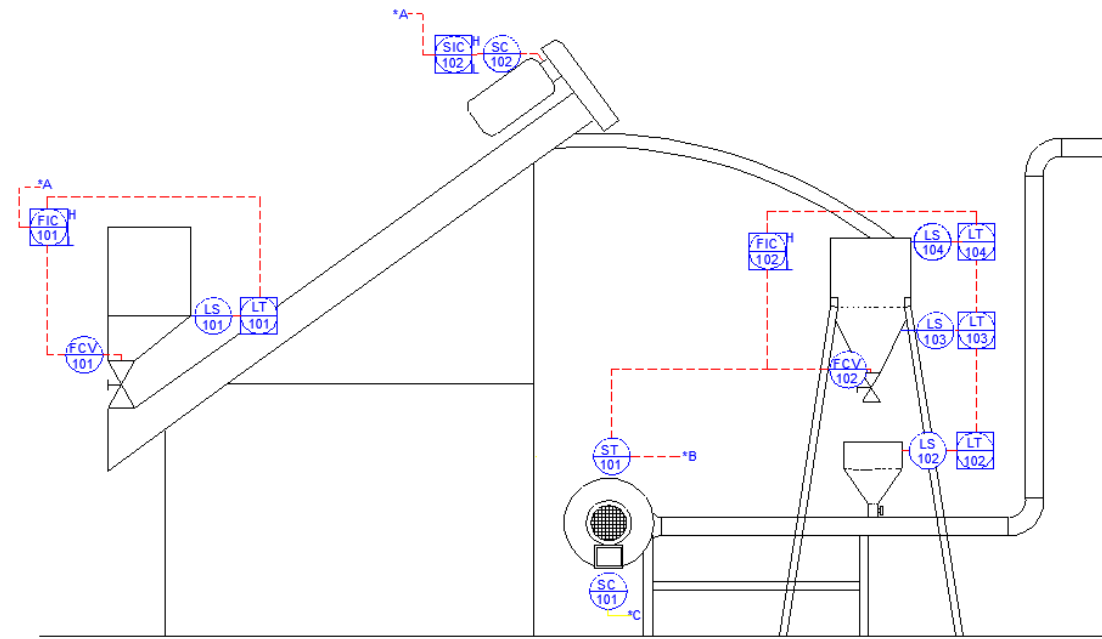


Figura 17. Diagrama P&ID del proceso parte 2.

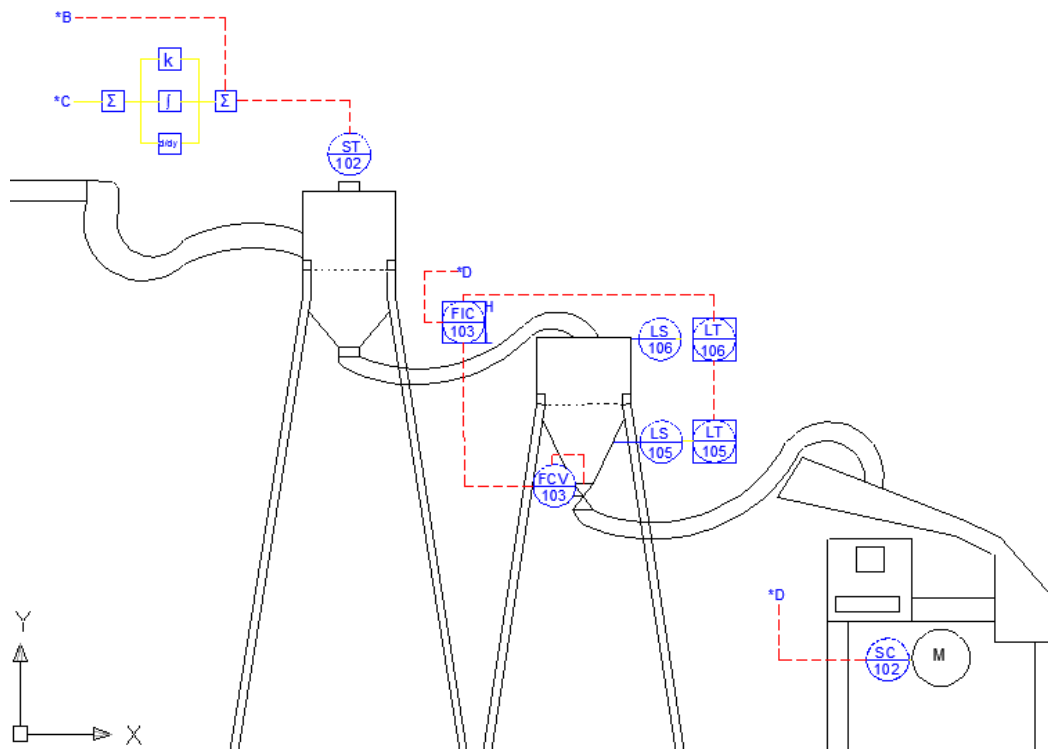
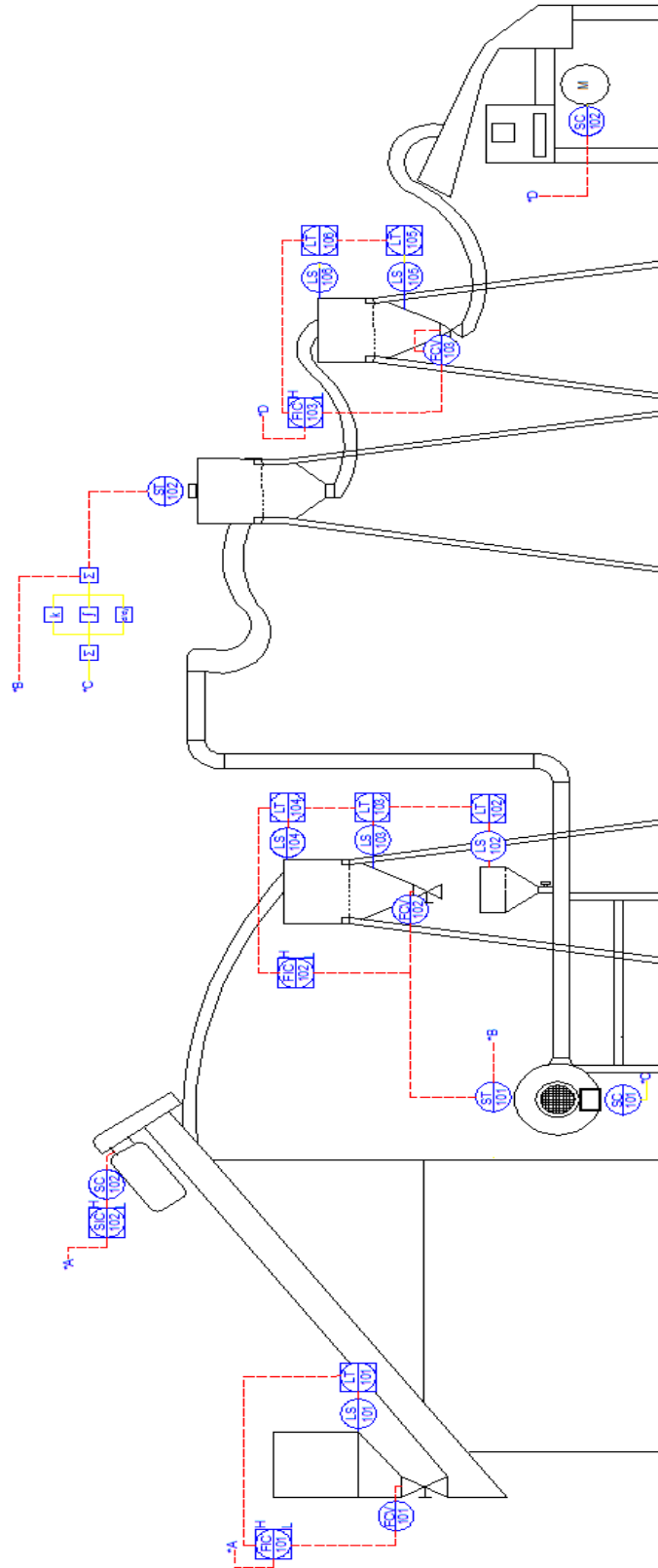


Figura 18. Diagrama P&ID del proceso completo.



## D. Diagramas eléctricos de potencia

Para energizar todos los equipos en este proceso se necesita alimentación de 220VAC, 110VAC y 24VDC. Para esto se tomó energía del tablero TD1 del Laboratorio de Operaciones Unitarias, colocando 3 flipones de tres seccionadores cada uno. De esta forma se lleva al panel de control 240VAC y 110VAC. Finalmente, se coloca una fuente de poder AC-DC, la cual brinda 24VDC.

Además de energizar el panel de control, es necesario energizar cada motor con 240VAC, lo cual se describe en los siguientes diagramas eléctricos.

Figura 19. Diagrama de Potencia 220VAC.

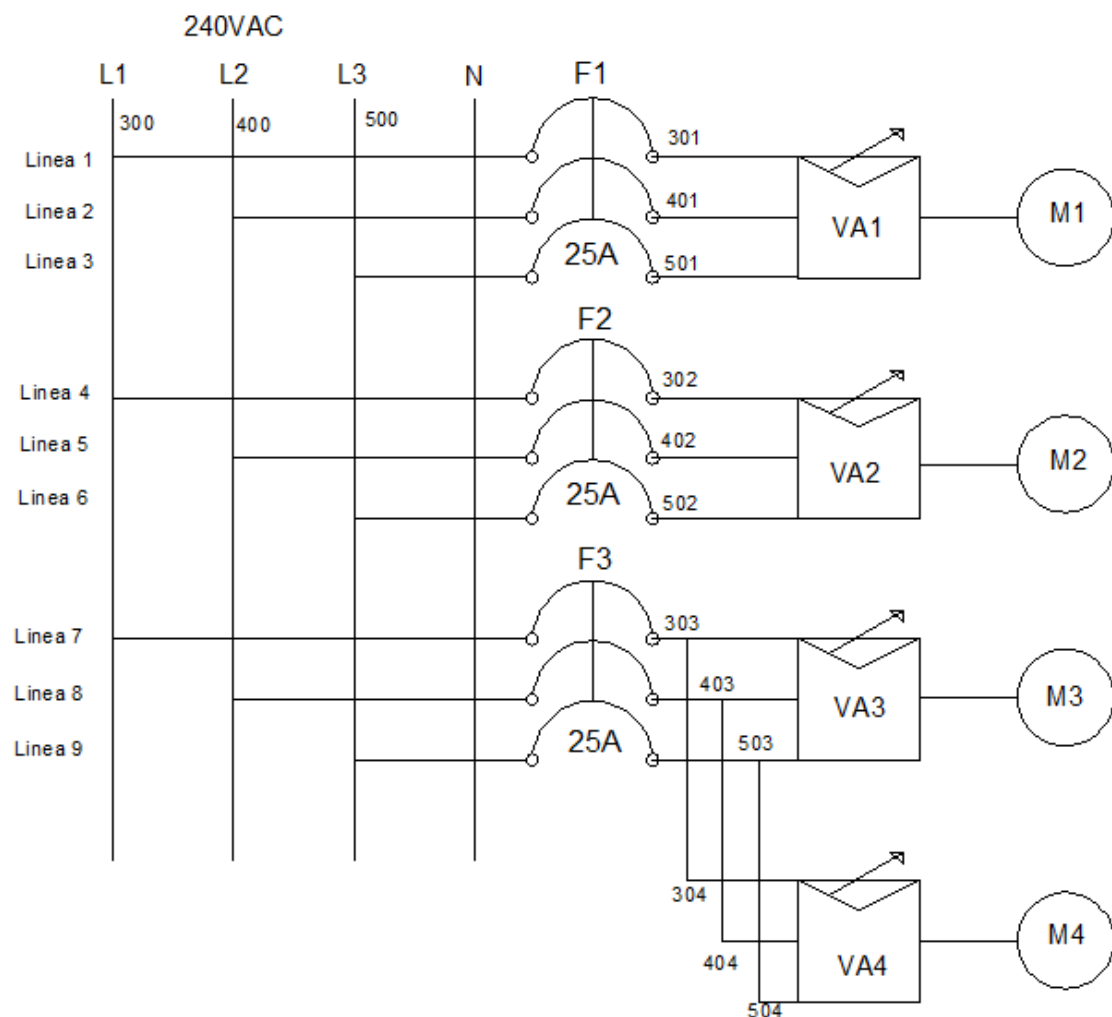


Figura 20. Diagrama de Potencia 110VAC.

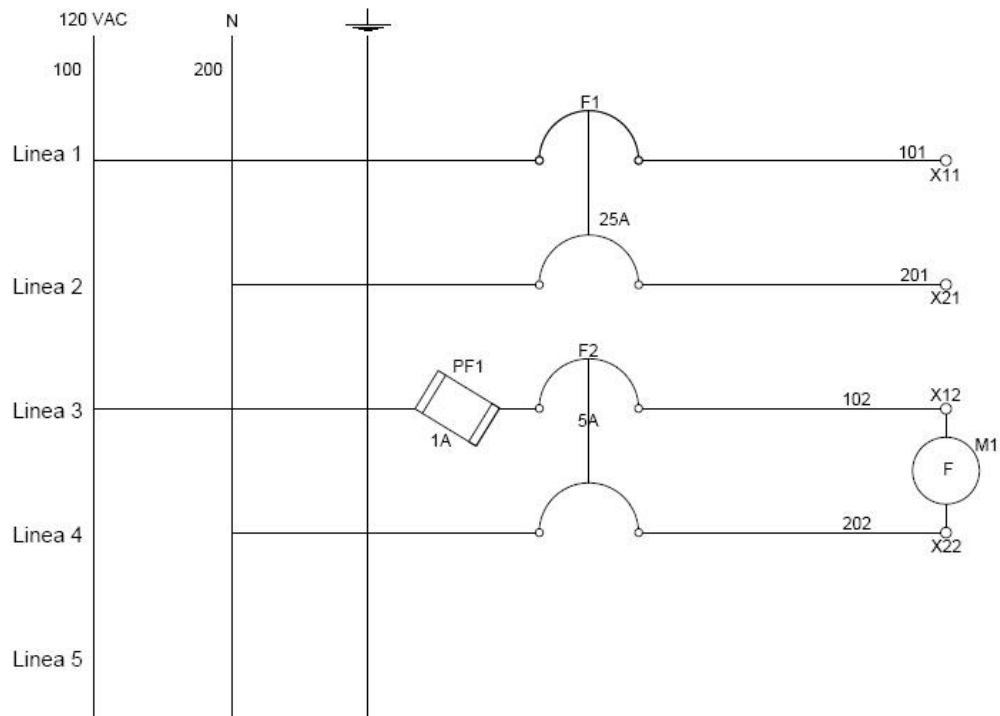
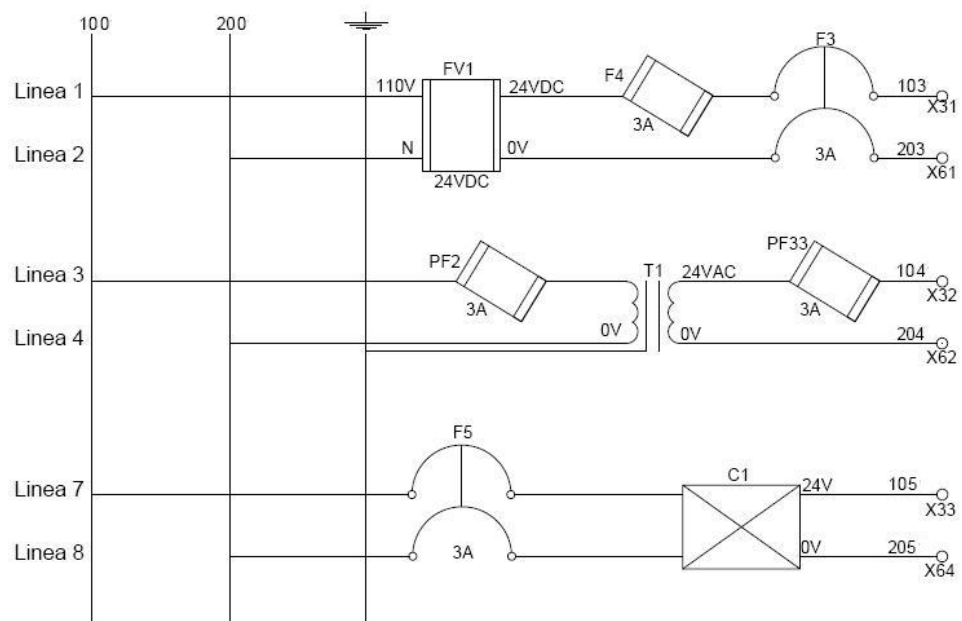


Figura 21. Diagrama de Potencia 110VAC a 24VDC.



## E. Diagramas eléctricos de control

Para poder diseñar el sistema de automatización, es necesario diseñar el sistema de control. Para esto se diagramaron las entradas y salidas hacia el PLC, indicando el número de línea y bornera en la que está colocados los sensores hacia el PLC.

Figura 22. Diagrama de Entradas Digitales al PLC.

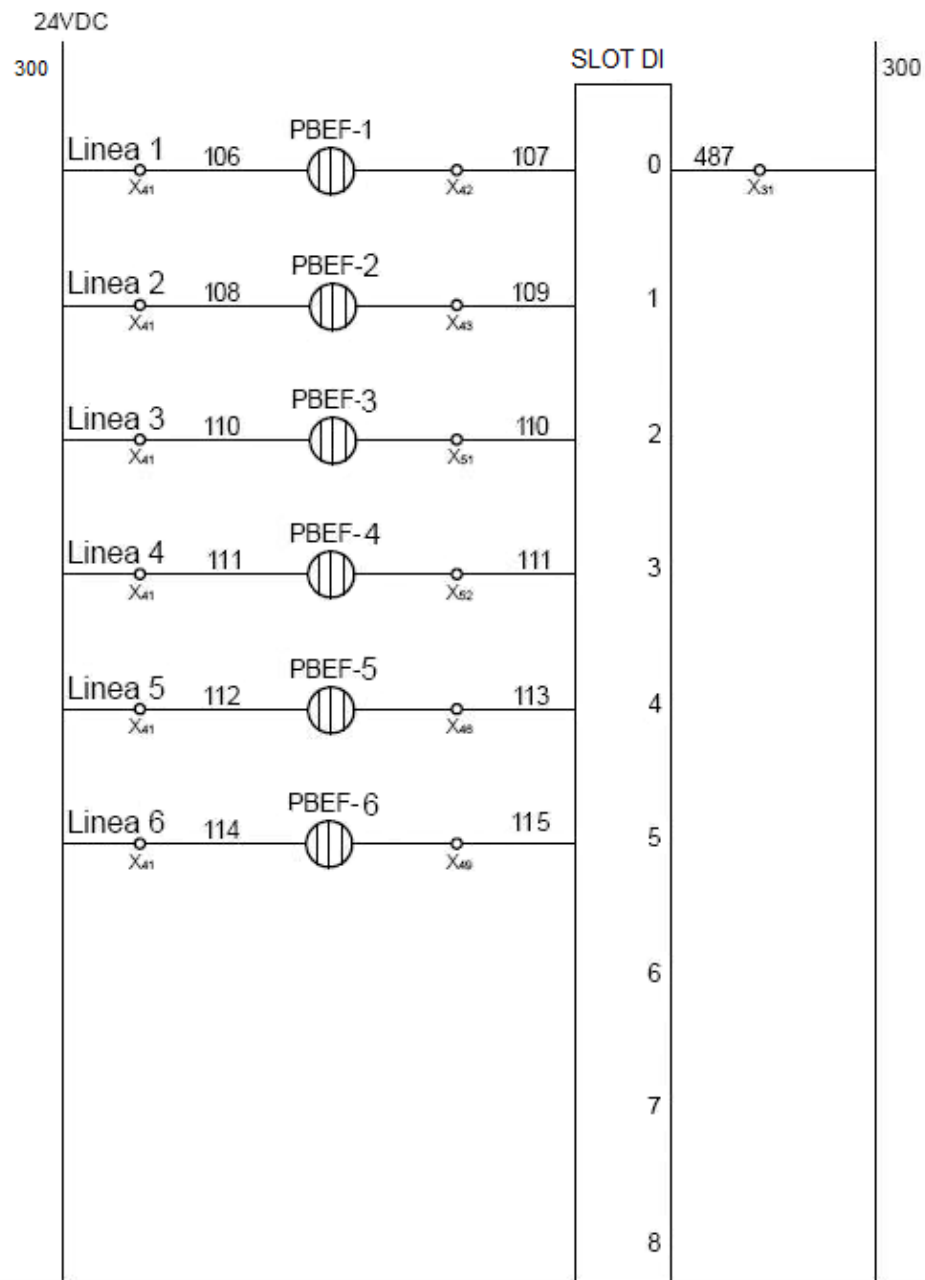


Figura 23. Diagrama de Entradas Analógicas hacia el PLC.

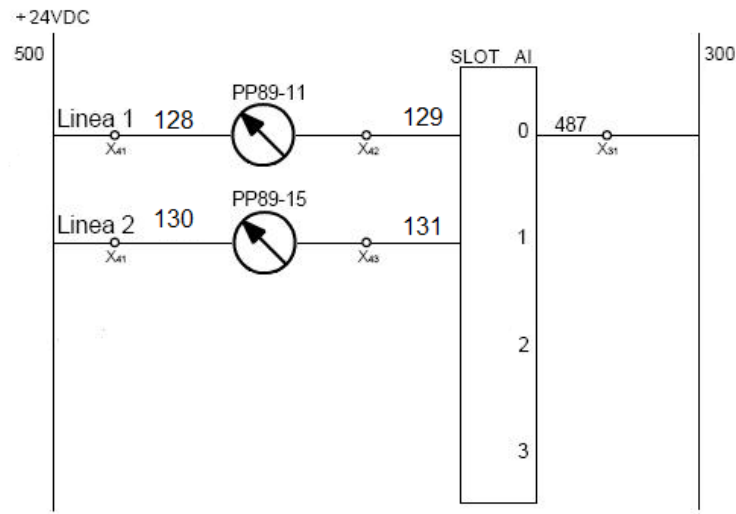
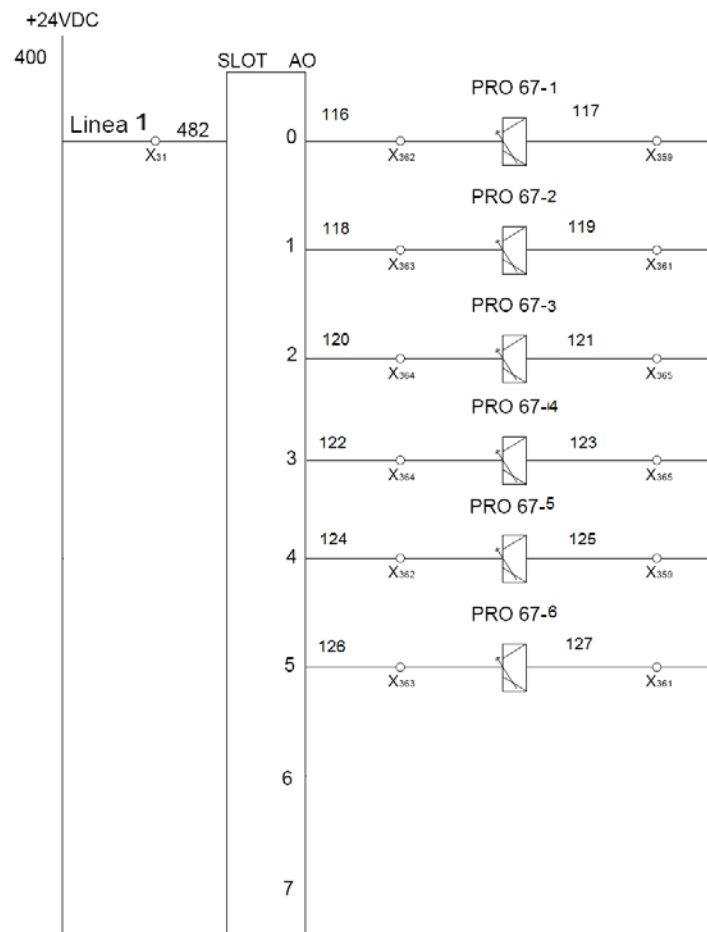


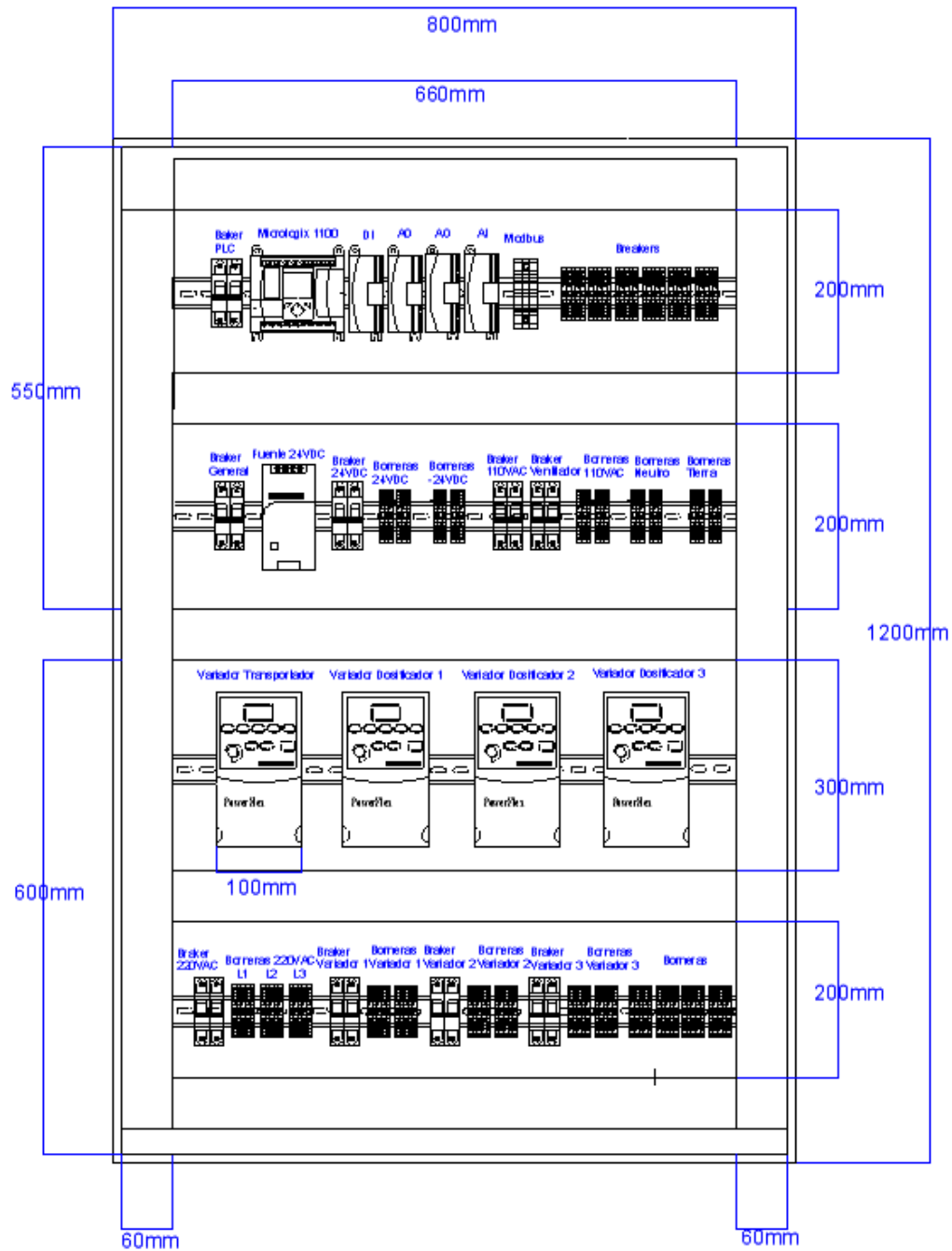
Figura 24. Diagrama de Salidas Analógicas del PLC.



## F. Diagrama del panel de control

A continuación se muestra el diagrama de diseño del panel de control.

Figura 25. Diagrama de distribución del panel de control.



## VIII. Resultados

### A. Estructura de soporte del panel de control

Como primera etapa del proyecto, se construyó la estructura metálica que soporta al panel de control. Esta estructura sostiene al panel de control ya que éste es bastante grande y pesado, por lo que no es soportado solamente anclado a la pared. Para la construcción de dicha estructura se utilizó tubo metálico cuadrado vacío, el cual fue cortado, soldado y pintado para dar la forma que se observa en la **Figura 26**.

**Figura 26.** Imagen de la estructura de soporte del panel de control.



## B. Tubería para cableado de control y potencia

En esta etapa del proyecto, se procedió a instalar la tubería eléctrica de control y de potencia. Para evitar problemas de “ruido eléctrico” se utiliza tubería separada para las señales de control y para los cables de potencia. La tubería escogida fue EMT metálica, utilizando tubería de 2 pulgadas para la línea de potencia de entrada y de 1 pulgada para las señales de control y potencia de salida. Para conectar la tubería en el área de sólidos, se utilizaron cajas condulet en sus diferentes formas y respectivos tamaños. La tubería EMT está anclada a las paredes y techo con abrazaderas hanger y a las cajas condulet con adaptadores EMT a condulet roscado.

Finalmente, para llegar desde las cajas condulet hacia los puntos terminales, se utilizó manguera con alma de acero, la cual guía el cableado hacia su destino final. Estas mangueras están conectadas a las cajas condulet con reducidos roscados bushing. En la **Figura 27** se puede observar parte de la tubería instalada en el área de sólidos.

**Figura 27. Imagen de tubería instalada.**



## C. Tornillos dosificadores

Para poder tener control de los silos almacenadores, se fabricaron e instalaron tornillos dosificadores, los cuales constan de un tornillo helicoidal en cada silo que permite el paso del sólido. Estos tornillos fueron instalados en dos silos y son manejados por motores trifásicos.

Adicionalmente a la instalación de tornillos dosificadores en los silos, se instaló un sistema que permite subir y bajar de altura cada silo, de esta forma se puede ajustar el sistema a varias alturas, dependiendo como el proceso lo requiera. En la **Figura 28 y Figura 29** se muestran los tornillos instalados en los silos.

**Figura 28. Imagen del Silo 1 con su tornillo dosificador.**



Figura 29. Imagen del Silo 2 con su tornillo dosificador.



#### **D. Panel de control y equipo eléctrico.**

Se instaló el panel de control sobre el soporte previamente construido. Este panel de control tiene 1.20 metros de altura y 0.8 metros de ancho. Para poder distribuir el cableado dentro del panel e instalación de los dispositivos eléctricos y electrónicos, se instaló canaleta dentada de 40x60mm y riel DIN marca Allen Bradley.

El panel en su interior consta de 4 niveles, donde en el primer nivel está colocado el área de distribución de voltaje 110VAC, la fuente de voltaje 24VDC así como los brakers principales y borneras de voltaje. En el segundo nivel se encuentra instalado el PLC con sus módulos y las borneras de control. En el tercer nivel están instalados 4 variadores de frecuencia PowerFlex4 y en el cuarto nivel se encuentra instalada el área de distribución 220VAC y potencia con sus brakers y borneras especiales de doble piso.

**Figura 30. Imagen del equipo montado en panel de control.**



Figura 31. Imagen del PLC instalado en el panel de control.

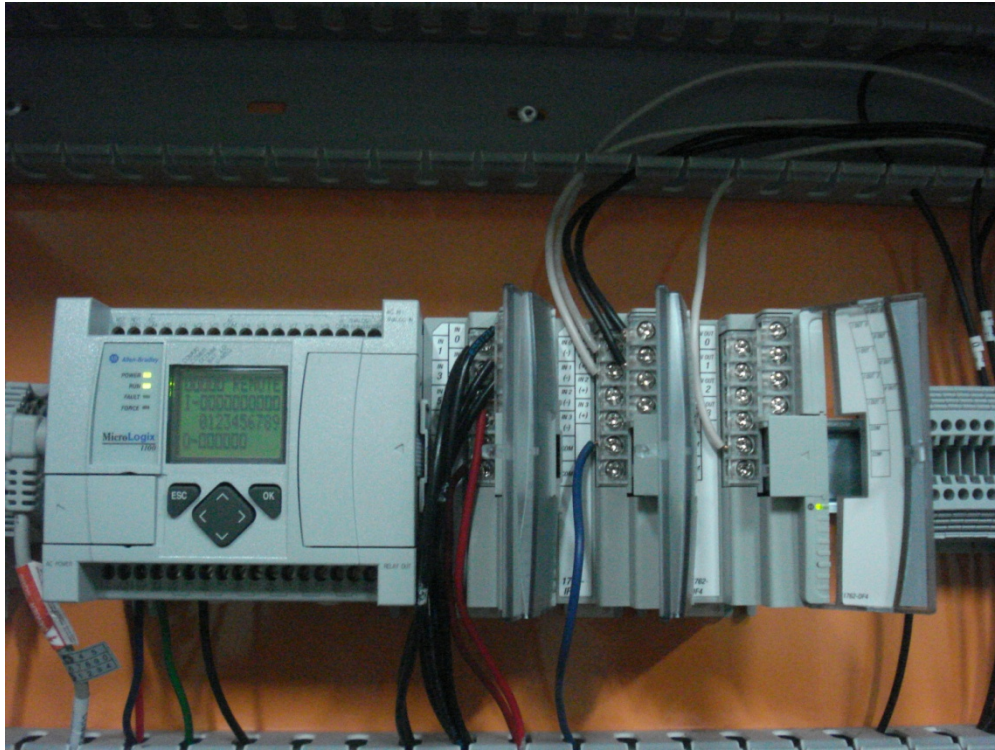


Figura 32. Imagen de variadores de frecuencia instalados en el panel de control.



## E. Instalación de cables y sensores

Para poder llevar el voltaje de alimentación hacia el panel y motores, y las señales de control hacia los sensores y actuadores, se colocaron los respectivos cables en la tubería previamente instalada. Los cables utilizados fueron AWG No. 18 para las señales de control digital, cable blindado No. 18 Belden para señales analógicas y cable TSJ de 3X14 para la distribución de potencia. Cabe mencionar que para dicho cableado, se utilizó el respectivo código de colores, respetando las normas internacionales dictadas por el NEC (National Electrical Code).

Además, en esta fase del proyecto, se procedió a la instalación de los sensores a utilizar para la automatización. También se instalaron los variadores de frecuencia y los motores. En la **Tabla 4** se puede observar la distribución de los sensores, variadores y motores.

**Tabla 4. Lista de sensores instalados con su descripción y rango de operación.**

No.	Tipo	Descripción	Rango
1	Sensor de nivel bajo	Indica cuando se vacíe la tolva	0/24VDC
2	Sensor de nivel alto	Indica cuando se llene la tolva	0/24VDC
3	Variador	Variador para el motor del dosificador	4-20mA
4	Variador	Variador para el transportador de tornillo	4-20mA
5	Sensor de nivel bajo	Indica cuando se vacíe el silo 1	0/24VDC
6	Sensor de nivel alto	Indica cuando se llene el silo 1	0/24VDC
7	Variador	Variador para el motor del dosificador del Silo 1	4-20mA
8	Variador	Variador del transportador neumático	4-20mA
9	Sensor Velocidad aire 1	Sensor que mide la velocidad del aire al inicio	4-20mA
10	Sensor Velocidad aire 2	Sensor que mide la velocidad del aire al final	4-20mA
11	Sensor de nivel bajo	Indica cuando se vacíe el silo 2	0/24VDC
12	Sensor de nivel alto	Indica cuando se llene el silo 2	0/24VDC
13	Variador	Variador para el motor del dosificador del Silo 2	4-20mA
14	Variador	Variador del motor del molino	4-20mA

Figura 33. Imagen de sensor de velocidad de aire.



Figura 34. Imagen de sensor de nivel.



Figura 35. Imagen del área de sólidos automatizada.



## F. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica de este proyecto, conocida como HMI por sus siglas en inglés, fue realizada mediante la herramienta Factory Talk View ME, propiedad de Rockwell Automation. Esta interfaz permite controlar todo el proceso mediante una computadora y observar los diferentes parámetros del proceso. En la **Tabla 5** se describe el funcionamiento de cada pantalla y en las imágenes siguientes como se observan en funcionamiento.

**Tabla 5. Lista de descripción de las pantallas de la interfaz gráfica.**

Número de pantalla	Nombre de pantalla	Descripción de pantalla
1	Inicio y configuración	Esta pantalla se presenta al iniciar el proceso para que el usuario elija el modo de operar y prepare el proceso.
2	Pantalla general	Es una pantalla donde se puede observar todo el proceso al mismo tiempo así como configurar los parámetros de todo el proceso.
3	Transportador de tornillo	En esta pantalla se observa y configura la velocidad del transportador y su estado.
4	Silo 1	En esta pantalla se observa si el silo está lleno o vacío, así como si está dosificando y se observa y/o configura a qué velocidad dosifica.
5	Transportador neumático	En esta pantalla se observa y configura la velocidad del aire de entrada y salida del transportador.
6	Silo 2	En esta pantalla se observa si el silo está lleno o vacío, así como si está dosificando y se observa y configura a qué velocidad dosifica.
7	Molino de cuchillas	En esta pantalla se observa y configura el estado del molino de cuchillas y la velocidad de corte.

Figura 36. Pantalla de inicio y configuración.

**1966**  
**UNIVERSIDAD**  
**UVG**  
**DEL VALLE DE**  
**GUATEMALA**  
*Excelencia que trasciende*  
**DEL VALLE**  
 GRUPO EDUCATIVO

**LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**  
**Ingeniería Química**

**Modo de Operación:**

Automático Manual

**Grano a Procesar:**

Frijol Maiz Maizillo

**Peso del Grano:**

30.00 Kg

**Revisión Equipos del Proceso:**

Equipo Limpio Silos Vacios Extractor de Aire Encendido

**EMPEZAR**

Módulo de Control y Visualización hecho por:  
 Pablo Jusué Fonseca Morales  
 Ingeniería Electrónica

Figura 37. Pantalla general.

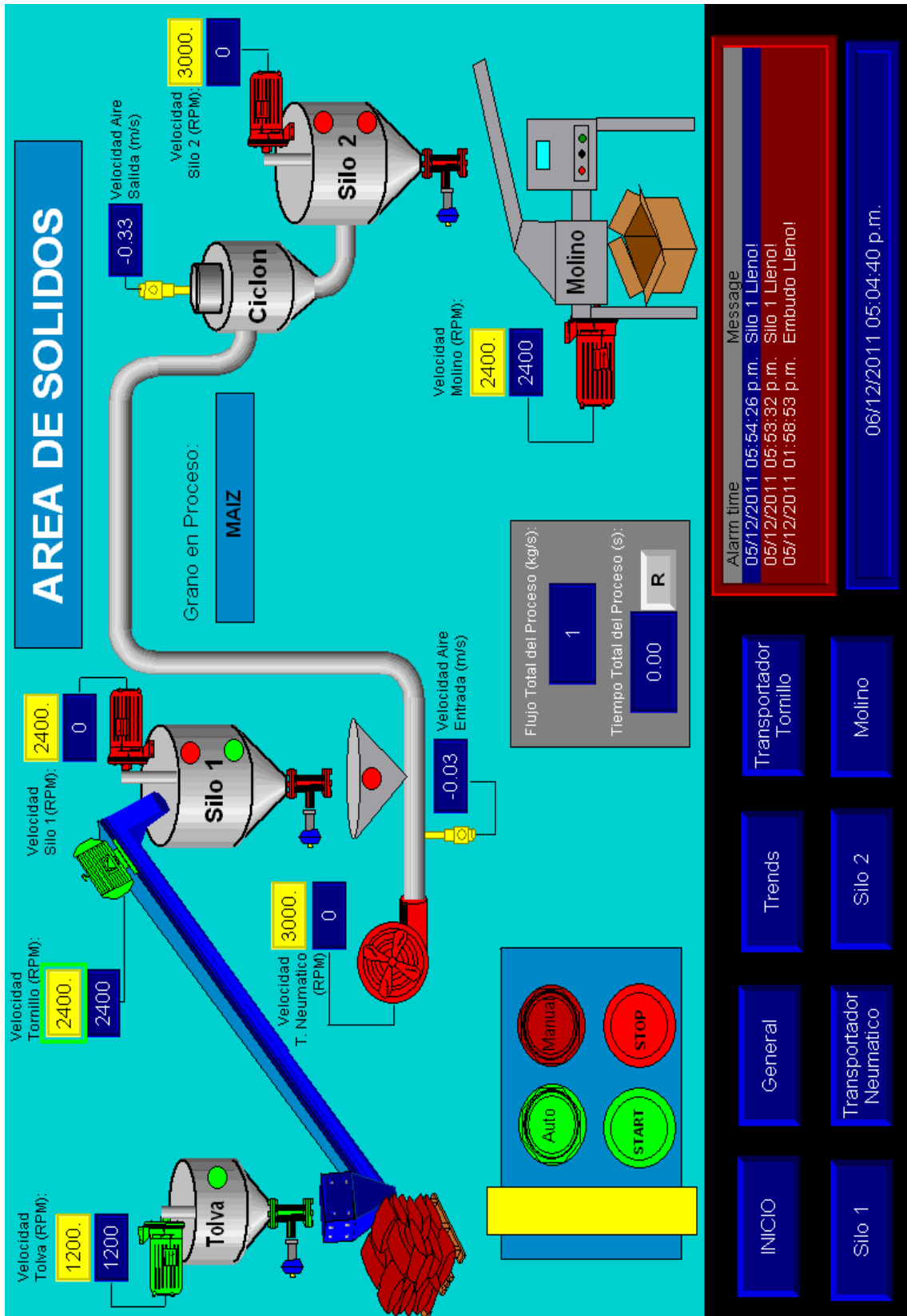


Figura 38. Pantalla del transportador de tornillo.

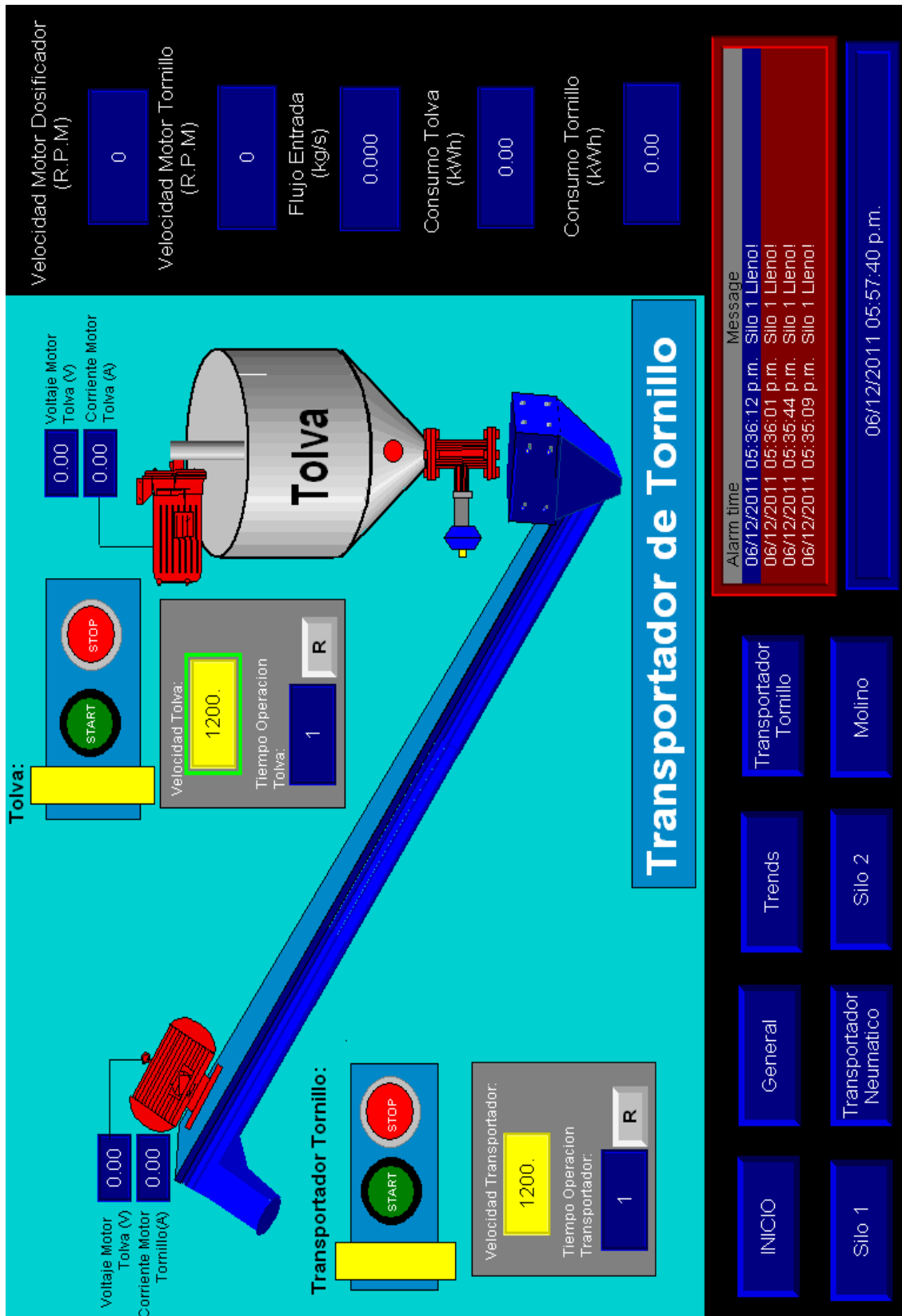


Figura 39. Pantalla del silo 1.

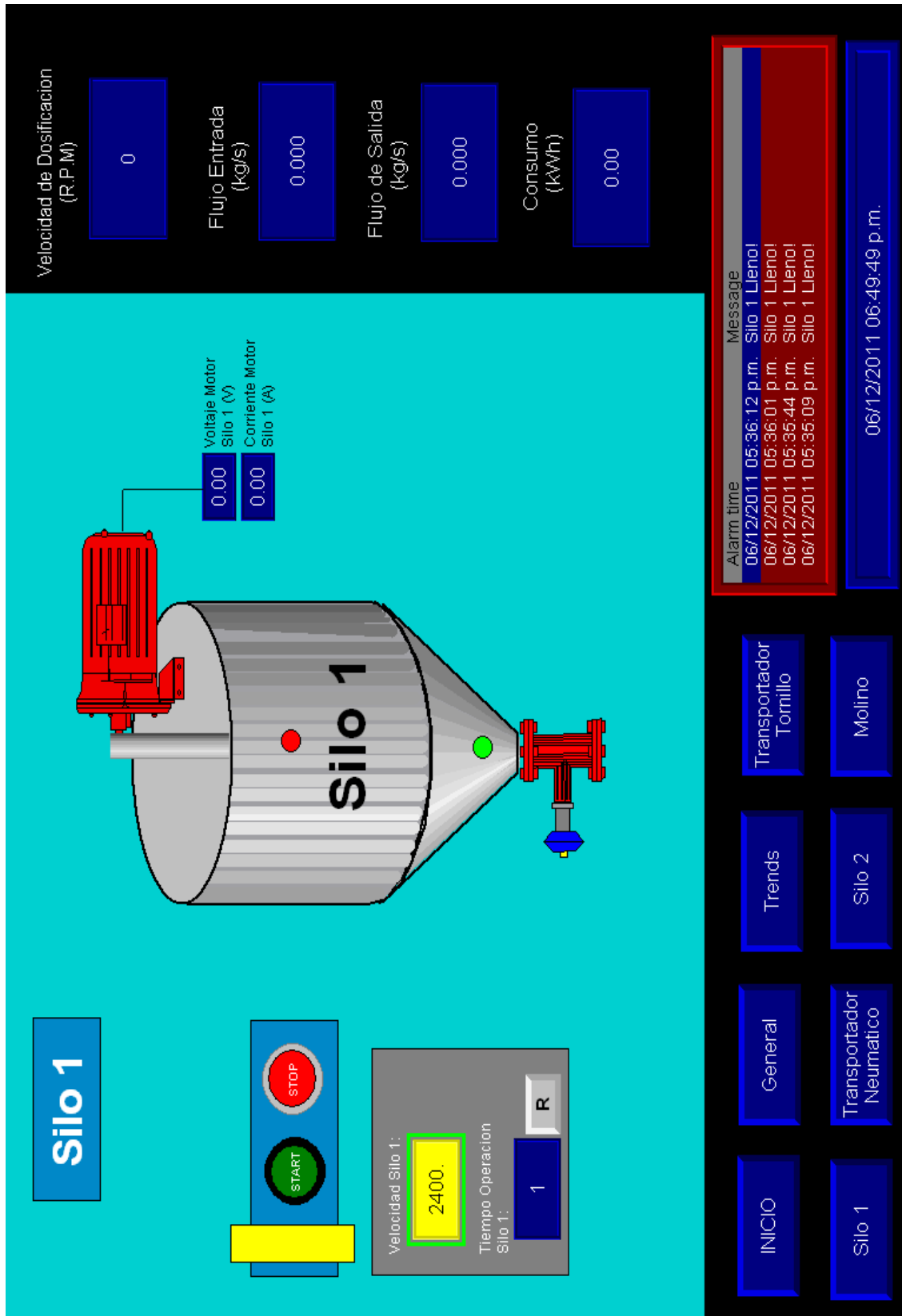


Figura 40. Pantalla del transportador neumático.

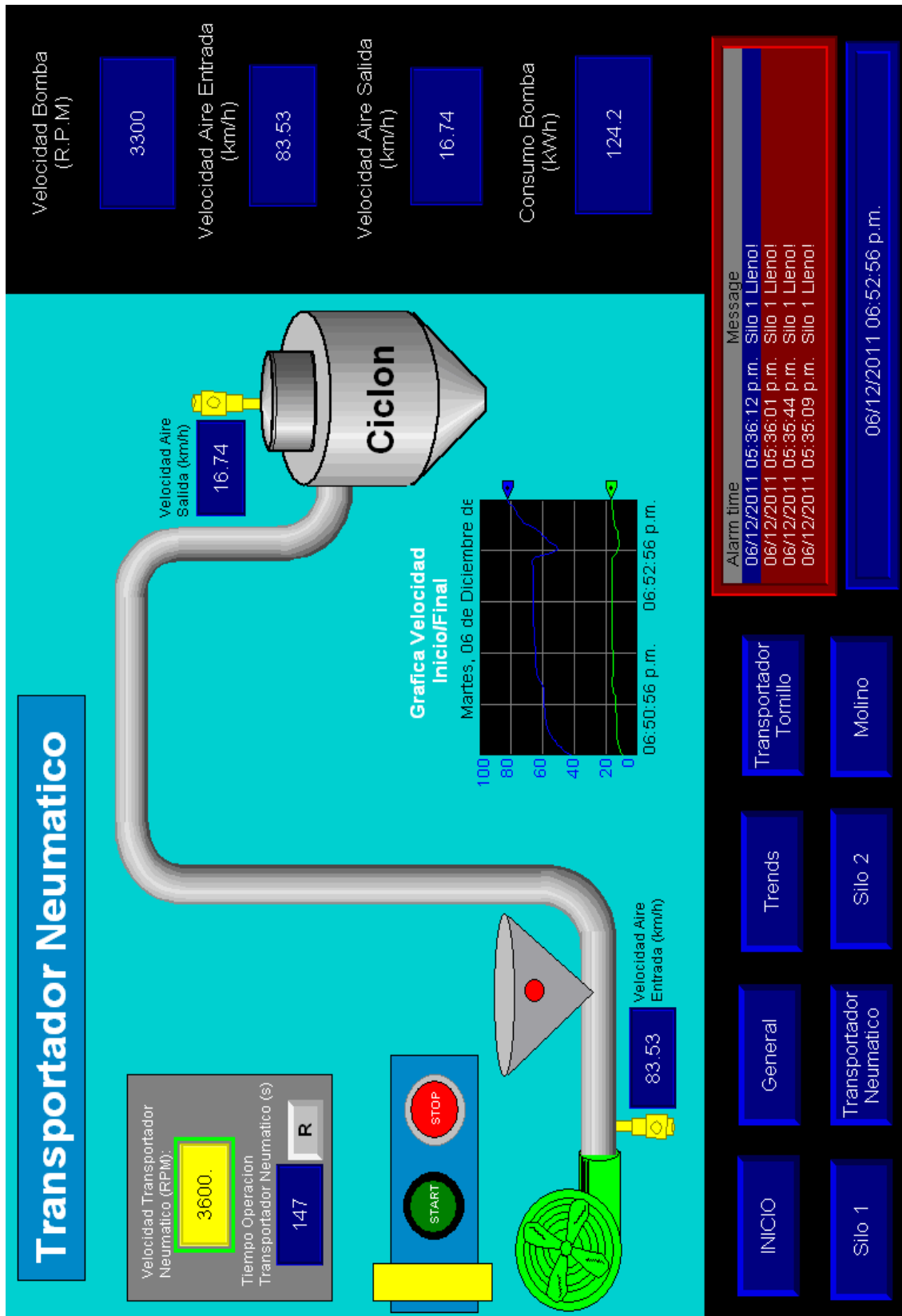


Figura 41. Pantalla del silo 2.

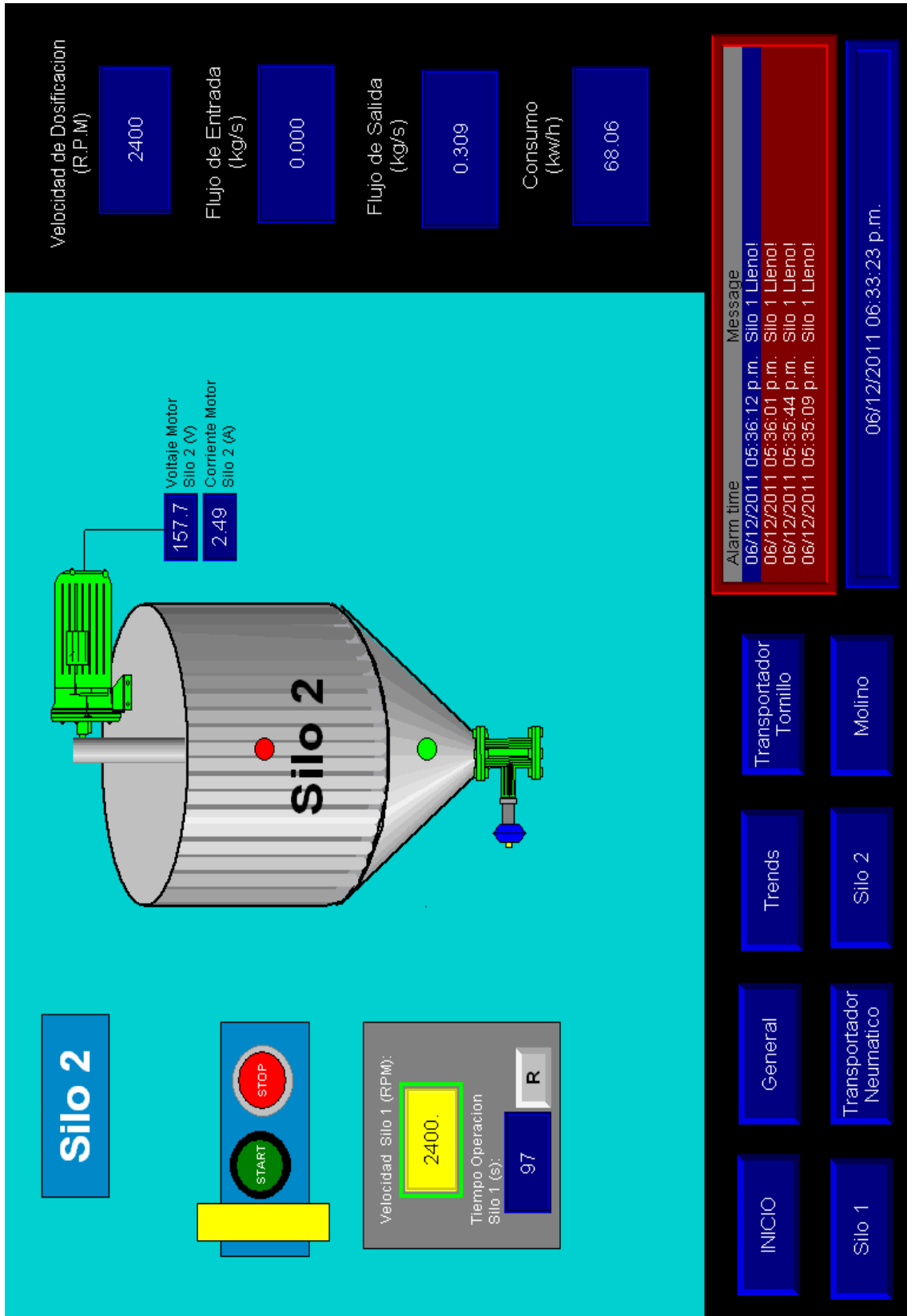
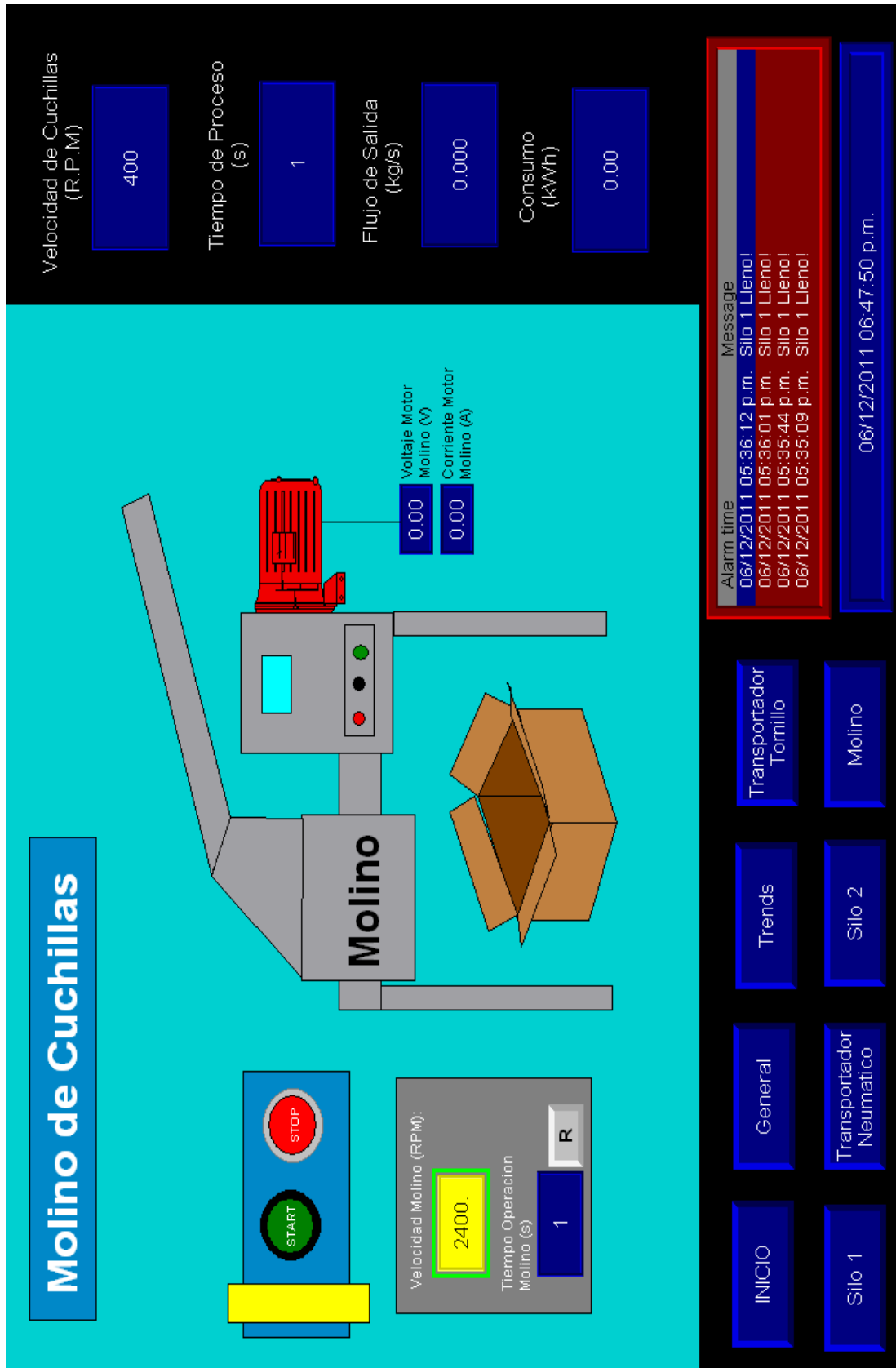


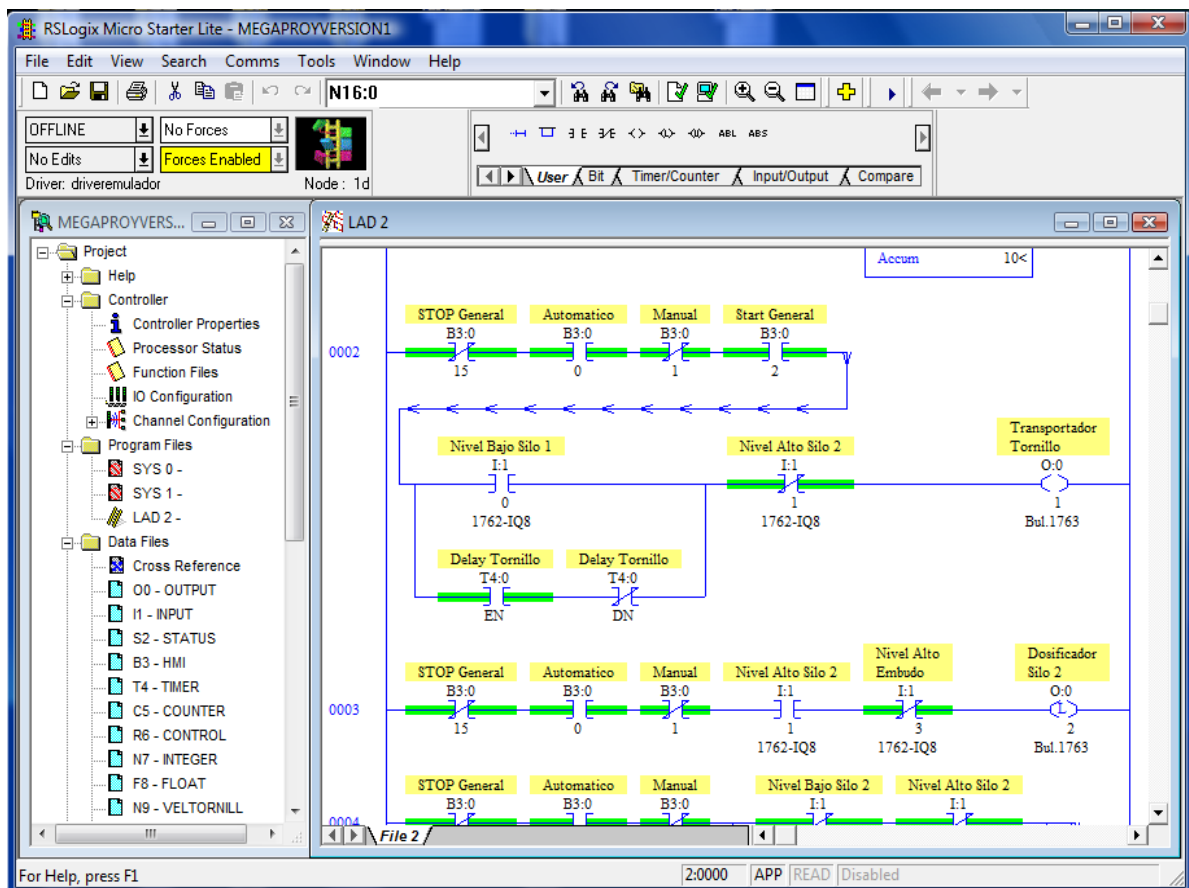
Figura 42. Pantalla del molino de cuchillas.



## G. Programa del Controlador Lógico Programable

El programa del Controlador Lógico Programable, que se utiliza para el control del proceso, fue realizado con el software RSLogix 500, propiedad de Rockwell Automation. Dicho programa fue creado en lenguaje de escalera y texto estructurado. El programa realizado se encuentra en el **Apéndice A**. En la **Figura 43** se puede observar el software utilizado para realizar dicho programa.

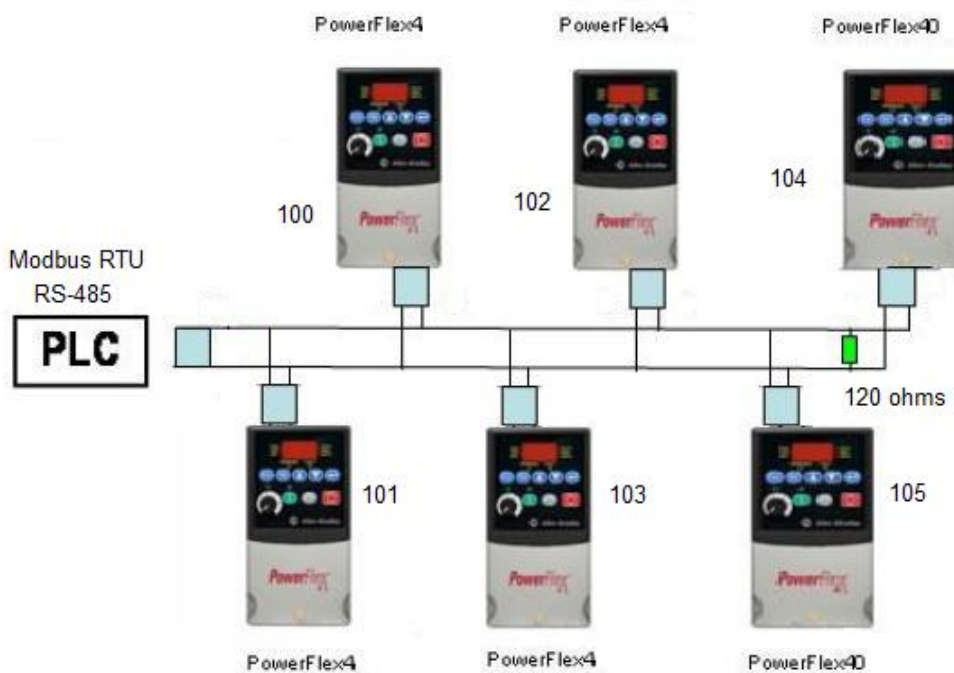
**Figura 43.** Imagen del programa construido en la herramienta RSLOGIX 500.



## H. Red Modbus RTU

Para poder controlar los Variadores de Frecuencia, se desarrolló una pequeña red industrial Modbus RTU. Esta red fue implementada utilizando el cable 1763-NC02, que transforma el puerto mini DIN del PLC a terminales de comunicación Tx y Rx. Estas líneas van a todos los puertos DSI RJ-45 de los variadores de frecuencia, conectando solamente el pin 5 y el pin 4. Al final de la red se coloca una resistencia de 120Ω como terminador. En la **Figura 44** se observa un esquema de la red implementada.

Figura 44. Esquema de la red Modbus RTU implementada. [12]



## IX. DISCUSIÓN

Como primer paso para poder automatizar el proceso, fue necesario diseñar el sistema de tal forma que se acomodara a los requerimientos de los componentes eléctricos y electrónicos, para esto, se procedió a seleccionar los componentes electrónicos necesarios para que el proceso fuera automatizado. Se seleccionó el PLC MicroLogix 1100 debido a que tiene capacidad para adjuntar 4 módulos de entradas/salidas, lo cual es suficiente para el número de sensores y componentes a controlar el proceso, además, posee dos puertos de comunicación: Ethernet IP y mini din RS-232/RS-485. Esto permitió construir la red Modbus RTU para controlar los variadores de frecuencia.

Para la selección de los sensores de nivel, se seleccionaron sensores capacitivos de proximidad, ya que lo que se requiere detectar es el nivel máximo y mínimo en los silos. Estos sensores pueden detectar cualquier cuerpo que esté frente a ellos, por lo que fue la mejor opción. Para seleccionar los sensores de velocidad de aire, se buscó un sensor que brindara señal analógica 4-20mA para que fuera fácil de integrar al sistema con un módulo de entradas analógicas al PLC.

Los variadores de frecuencia seleccionados fueron PowerFlex 4, ya que poseen fácil comunicación con el PLC pues son de la misma familia del fabricante y se acoplan a las necesidades de los motores que se tienen en el proceso. Además de estos variadores, se utilizaron dos marcas PowerFlex 40 que ya estaban instalados en el proceso.

Se seleccionó una fuente de voltaje marca Allen Bradley que brinda 24VDC y 5A, esta fuente se acopla a las necesidades pues los sensores digitales y las señales de arranque y paro de los variadores de frecuencia trabajan con 24VDC. Se seleccionaron brakers marca Allen Bradley de 5A para proteger al PLC y a los sensores. Se colocaron borneras marca Allen Bradley, se utilizaron de 4mm para las señales de control y de 6mm para las potencia, además se colocaron borneras con fusibles para las señales de entrada digitales al PLC.

Debido a la selección de este equipo y a las necesidades del proceso para ser automatizado, fue necesario modificar partes del mismo. Entre las partes que se modificaron está el aumento de altura del transportador de tornillo, reducción de alturas de los silos, aumento de altura del transportador neumático, cambio de motor monofásico 110VAC del transportador de tornillo a motor trifásico 220VAC, reducción de altura del molino de cuchillas.

Como el proceso maneja sólidos, fue necesario construir válvulas dosificadoras de tornillo para cada silo, las cuales funcionan con un motor que es controlado por un variador de frecuencia. De esta forma se puede controlar desde el PLC a la cantidad de dosificación que cada silo realice así la apertura y cierre del paso de los sólidos en cada silo. También se aumentaron las alturas de los mismos para lograr acoplar el proceso a una línea de producción completa, de esta forma se puede transportar los sólidos de un lugar a otro.

Para poder montar el panel de control se construyó una pequeña estructura metálica, la cual fue construida a las medidas necesarias para soportar el panel de control. Esta estructura fue desarrollada con hierro cuadrado vacío por dentro, el cual es fácil de moldear y cortar, se realizaron cortes en forma de escuadra y se procedió a soldar las partes de la estructura. Luego de esto se pintó color azul y finalmente se agregaron las partes de caucho para así tener un soporte adecuado al panel de control.

El panel de control se seleccionó de dimensiones de 1200mm X 800mm ya que se requería poder meter dentro del mismo 4 variadores de frecuencia. De esta forma se ahorra espacio externo y el cableado es menor. Ya que los variadores de frecuencia generan ruido eléctrico, se aisló el área de potencia y de control dentro del panel, teniendo totalmente separadas ambas áreas y saliendo del panel por conductores distintos. Como los variadores de frecuencia están dentro del panel, fue necesario instalar un ventilador para evitar altas temperaturas dentro del mismo. Para instalar todo el equipo dentro del panel, se utilizó riel DIN marca Allen Bradley y también se utilizó canaleta dentada de 40mm X 60mm. Todo esto se ancló al panel de control con remaches del diámetro correcto.

La tubería eléctrica necesaria para llevar las señales fue seleccionada metálica EMT. Esto para aislar las señales de control y las señales de potencia, además de ser resistentes a la

intemperie y altas temperaturas. Para las señales de control, se utiliza tubería de 1 pulgada, dejando siempre el 30% de la misma libre para cumplir con los requerimientos del NEC (National Electrical Code). La tubería de entrada de potencia es de 2 pulgadas, y las señales de potencia de salida van en una tubería de 1 pulgada. Toda la tubería está unida con cajas condulet en sus diferentes presentaciones, haciendo más fácil el cableado en el área y la revisión de los conductores a futuro. Los tubos fueron anclados a la pared y techo con abrazaderas hanger y de esta forma la estructura eléctrica quedó completamente segura y bajo las normas establecidas y recomendadas por el NEC. Para llegar de las cajas condulet hacia los sensores, se instaló tubo flexible con alma de acero, de esta forma es más fácil llegar a lugares con curvas y puntos terminales.

Todos los accesorios utilizados para la conexión de la tubería fueron los que se instalan por norma en cualquier industria. Para esto se utilizaron cajas de registro condulet tipo T, C, LL, LR y LB. Para unir dichas cajas con la tubería se utilizaron adaptadores EMT a condulet roscado. Para poder unir las cajas al tubo flexible de terminación se utilizaron reducidos bushing de 1 pulgada a ½ pulgada.

Se seleccionaron conductores AWG calibre 18 para las señales de control y cable TSJX3 para las señales de potencia, además de utilizar cable blindado calibre 18 belden para las señales analógicas. Algo muy importante fue aislar las señales de control de las señales de potencia, por lo que cada grupo de cables están instalados por aparte en tuberías separadas.

Luego de realizar las instalaciones, se procedió a programar el PLC para controlar el proceso. Para esto se realizó una lista de las variables de entrada y salidas del proceso. Se determinó la necesidad de instalar un módulo de entradas digitales, dos módulos de salidas analógicas y un módulo de entradas analógicas. Para programar el PLC se utilizó la herramienta RSLogix 500. En este programa se configuró el PLC con los módulos respectivos, seleccionando el orden de los mismos en el rack para poder referirse de forma correcta a las entradas y salidas. Para cada entrada y salida se crearon tags para hacer más fácil la ubicación de las mismas en el programa. La lógica de programación se realizó en lenguaje de escalera y se buscó optimizar el proceso con las herramientas que se tienen. Para conectar el PLC a la computadora se utiliza

cable Ethernet IP, este cable se seleccionó para tener libre el puerto mini din para poderlo utilizar en el protocolo Modbus RTU.

Para poder controlar los variadores de frecuencia se utiliza la instrucción MSG la cual envía mensajes con protocolo RS-485 por el puerto mini din. Se desarrolló una red Modbus la cual utiliza a un Maestro y a varios Esclavos. Esta red se basa en que el maestro, en este caso el PLC, hace un broadcast a todos los esclavos, en este caso los variadores de frecuencia, con los mensajes, pero dichos mensajes tienen una trama de identificación diferente cada uno. Previamente cada variador fue identificado con un identificador distinto, por lo que solamente el variador que lea la trama que es igual a su identificador recibe el mensaje. Al final de la red se coloca una resistencia de 120ohms para indicar que la red termina.

Esta red se implementó para facilitar la comunicación con los variadores de frecuencia y el PLC, de esta forma se puede obtener información adicional de los mismos de forma fácil y eficiente, además de facilitar la implementación de futuros variadores para controlar otras áreas del proceso.

Para la construcción de la interfaz gráfica HMI se utilizó la herramienta Factory Talk View ME. En este programa se dibujaron los equipos del proceso y se agregaron todos los sensores y actuadores del proceso. Como el objetivo del HMI es controlar el proceso, se colocaron campos donde se pueden visualizar los valores ya procesados por el PLC. Se colocaron entradas de valores numéricos para que el usuario pueda ingresar el valor de la variable que requiera para el proceso. En las pantallas se puede observar en tiempo real como está funcionando el proceso y que valores tienen los sensores y actuadores del mismo.

Como parte de los requerimientos del proceso, se configuraron dos tipos de operación. El primero el modo automático. En este modo el proceso funciona automáticamente con los valores predefinidos, el usuario solamente ingresa el grano que desea procesar y el proceso se acomoda para optimizar dicho proceso de cada grano. El segundo el módulo manual, donde el usuario puede encender y apagar cada equipo de forma individual y sin enclavamiento de sensores.

Finalmente, se procedió a calibrar cada sensor y realizar las pruebas del proceso. Para esto se seleccionaron tres tipos de granos: frijol, maíz y maicillo. Con estos tres tipos de granos se realizaron las corridas para optimizar el proceso y poder así obtener los valores deseados por el proceso. El usuario debe ingresar el peso de inicio del grano a introducir y con el tiempo que dure en funcionamiento se puede obtener el flujo del grano en el proceso. También el proceso permite visualizar y modificar la velocidad a la que cada motor está funcionando y además se despliega el consumo eléctrico (kwh) de cada motor.

Para aprovechar la utilización de la red ModBus RTU, se creó en las pantallas del HMI un área de alarmas, que permite visualizar cualquier alarma que los variadores de frecuencia detecten sobre algún fallo de operación sobre los motores que están controlando. Esto fue factible realizarlo ya que con la red ModBus RTU se puede obtener información de cualquier alarma que el variador detecte y enviar dicha información al PLC y luego al HMI. Luego en la computadora se interpreta el código de la alarma para que sea visualizado un mensaje que el operario del proceso pueda interpretar.

Finalmente, se creó una pantalla de gráficas, donde se puede ver en tiempo real como están cambiando valores variables del proceso. En esta pantalla se grafican los flujos de cada uno de los sistemas de transporte del área de sólidos, se grafica la diferencia entre la velocidad de entrada de aire y velocidad de salida en el transportador neumático y se grafica la comparación del consumo (kwh) de todos los motores del proceso.

## X. CONCLUSIONES

1. Con este proyecto se dio continuidad a la rama de proyectos anteriores para automatizar el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala y así contribuir al desarrollo de la educación en esta casa de estudios.
2. Se logró la integración de los sistemas de manejo de sólido de transporte de tornillo, transporte neumático y molino en un solo proceso mediante la utilización de los silos almacenadores.
3. Se implementó un sistema automatizado que permite controlar mediante una computadora el proceso de manejo de sólidos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.
4. Se implementaron dos modos de operación, siendo estos: modo automático y modo manual, lo que permite versatilidad en la operación del proceso y libertad de ingresar los parámetros que el usuario dese para controlar el mismo.
5. Se desarrolló una red Modbus RTU para controlar a los variadores de frecuencia y de esta forma controlar a los motores utilizados en todo el proceso.
6. Se desarrolló una interfaz gráfica para el usuario, la cual es fácil y sencilla de utilizar a demás de ser agradable a la vista para el que la utilice.

## XI. RECOMENDACIONES

1. Para mantener el sistema en óptimas condiciones, realizar rutinas de mantenimiento preventivo programado a los motores y a los sensores, así como al panel de control.
2. Realizar una limpieza cada vez que se termine de utilizar el proceso, ya que debido a que se manejan granos, estos liberan grandes cantidades de polvo y pueden dañar los sensores y equipos dentro del panel de control, así como los equipos mecánicos directos del proceso.
3. Evitar que personas no autorizadas operen el proceso en forma manual, ya que pueden dañar el equipo instalado si no saben cómo operar dicho sistema.
4. Si se desea ampliar el proceso, utilizar los espacios disponibles dentro del panel de control, siendo estos, un espacio para un módulo adicional del PLC y variadores de frecuencia que se pueden integrar a la red Modbus.
5. Tomar en cuenta que debido a la naturaleza de la red Modbus, mientras más variadores de frecuencia se agreguen a la misma, mayor será el tiempo de retardo en que las instrucciones lleguen a cada variador.
6. No mover el equipo mecánico de su lugar, ya que está anclado y en la posición exacta para su óptimo funcionamiento, además de tener la instalación eléctrica dispuesta en dichos lugares.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

[1] ALNICOLSA del Perú S.A.C. *Tornillos sin Fin*. ALNICOLSA del Perú S.A.C. Año 2011. [En línea]. Disponible en URL: <http://taninos.tripod.com/tornillo.html>

[2] Apuntes de Electrónica II. *Variadores de Frecuencia*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Avellaneda. Avellaneda, Argentina. [En línea]. Disponible en URL: [http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf)

[3] Cabrejos, F., Jofre, M.I. y Rojas, J. *Transporte Neumático de Materiales Sólidos a Granel*. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile. Año 2004. [En línea]. Disponible en URL: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/laserena/21.pdf>

[4] Calderón, J. *Sensores Industriales*. Universidad San Martín de Porres. Lima, Perú. [En línea]. Disponible en URL: <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info67/sensores.pdf>

[5] Control e Instrumentación Industrial S.A. de C.V. *Sensores Capacitivos*. Monterrey, México. Año 2010. Disponible en URL: <http://ceiisa.com/tienda/images/CR.jpg>

[6] Elementos y Equipos Eléctricos. *Controlador Lógico Programable*. Universidad Nacional de Córdoba. Departamento de Electrotecnia. Córdoba, Argentina. [En línea]. Disponible en URL: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)

[7] Molinos Pulverizadores J.A. Ingeniería de Reducción de Partículas. *Técnica de Molienda por Corte*. Molinos Pulverizadores J.A. Bogotá, Colombia. [En línea]. Disponible en URL: <http://www.molinospulverizadores.com/tecnicasdemolienda.htm>

[8] PCE Instruments. *Transductor de Caudal de Aire*. PCE Ibérica. España. [En línea]. Disponible en URL: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/transductor-caudal-ee-65.htm>

[9] Perry, H. R. y Chilton, C. H. *Transportadores de Tornillo Helicoidal*. Manual del Ingeniero Químico, Tomo 2. McGraw Hill. México, Año 2000.

[10] R. Dorf y H. Bishop. *Modern Control Systems*, 8ª edición. California: Addison Wesley Longman, 1998.

[11] Rockwell Automation, Inc. *1762 Micrologix Expansion I/O*. Año 2011. [En línea]. Disponible en URL: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/25463/2164029/>

[12] Rockwell Automation, Inc. *Controlling a PowerFlex Drive on ModBus RTU with Explicit Messages*. Año 2004. [En línea]. Disponible en URL: <http://rockwellautomation.custhelp.com/ci/fattach/get/26550/1242642753>

[13] Rockwell Automation, Inc. *Micrologix 1100 Programmable Controllers*. Marzo 2011. [En línea]. Disponible en URL: [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_-en-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf)

[14] Rockwell Automation, Inc. *Micrologix 1762-IF4 Analog Input Module*. Agosto 2009. [En línea]. Disponible en URL: [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012\\_-en-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_-en-p.pdf)

[15] Rockwell Automation, Inc. *Micrologix 1762-IQ8 DC Input Module*. Septiembre 1999. [En línea]. Disponible en URL: [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in004\\_-en-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in004_-en-p.pdf)

[16] Rockwell Automation, Inc. *Micrologix 1762-OF4 Analog Output Module*. Marzo 2011. [En línea]. Disponible en URL:

[http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012\\_-en-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_-en-p.pdf)

[17] Rockwell Automation, Inc. *PowerFlex 4 Adjustable Frequency AC Drive*. Septiembre 2010. [En línea]. Disponible en URL:

[http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/22a-um001\\_-en-e.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/22a-um001_-en-e.pdf)

[18] Rockwell Automation, Inc. *PowerFlex 4 and 40*. Octubre 2008. [En línea]. Disponible en URL:

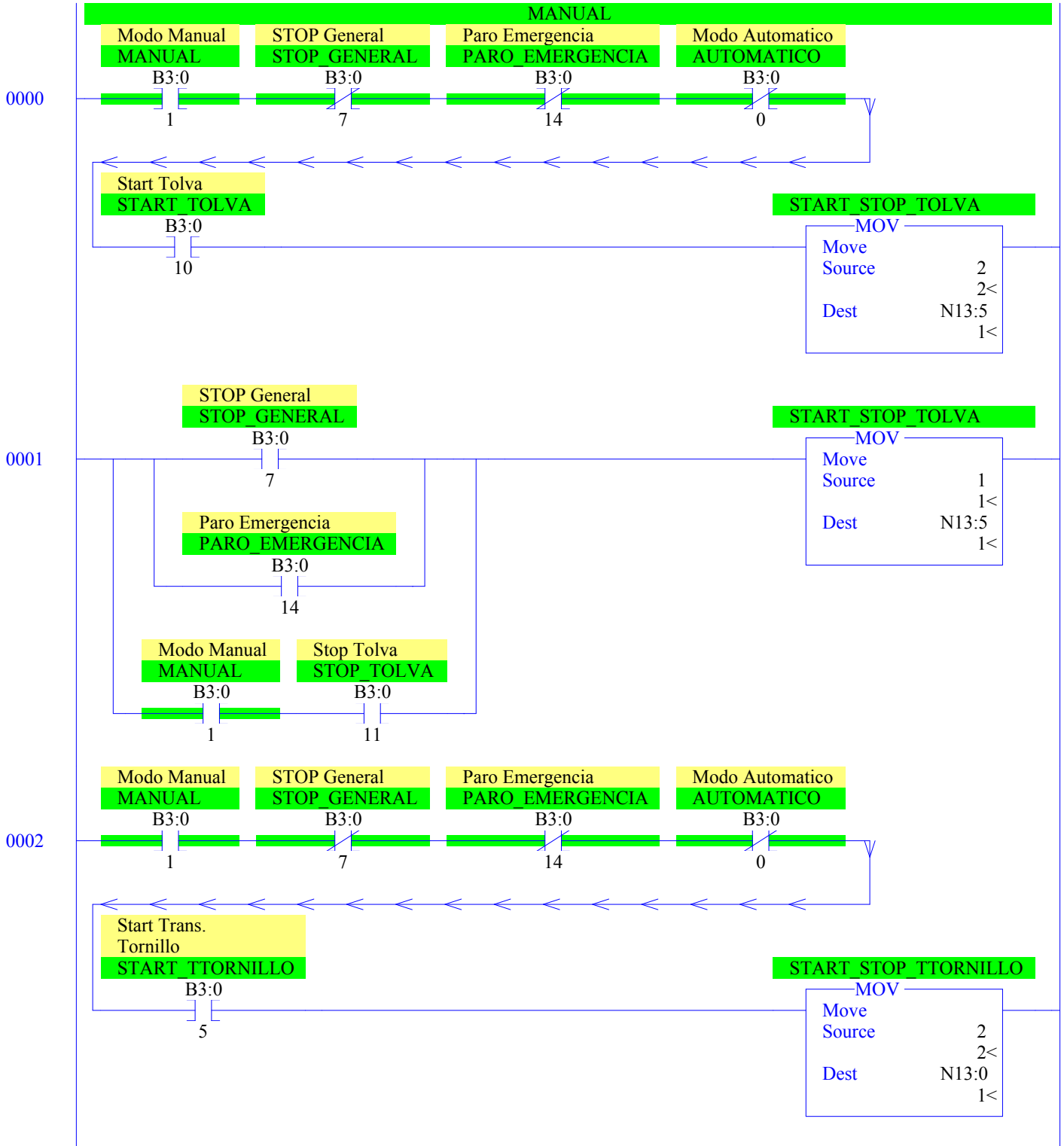
[http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/22-td001\\_-en-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/22-td001_-en-p.pdf)

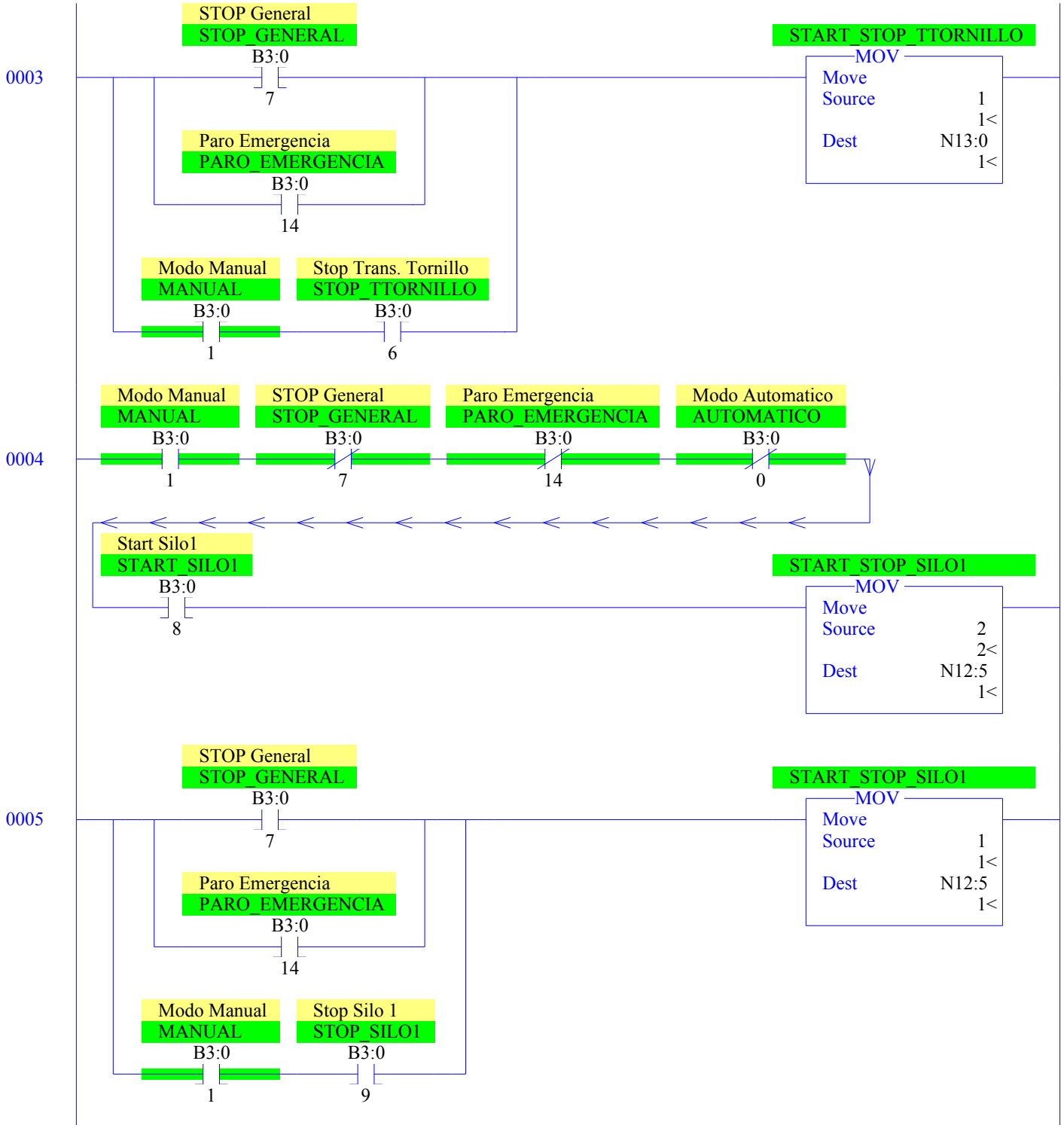
[19] Rockwell Automation, Inc. *PowerFlex 40 Adjustable Frequency AC Drive*. Septiembre 2010. [En línea]. Disponible en URL:

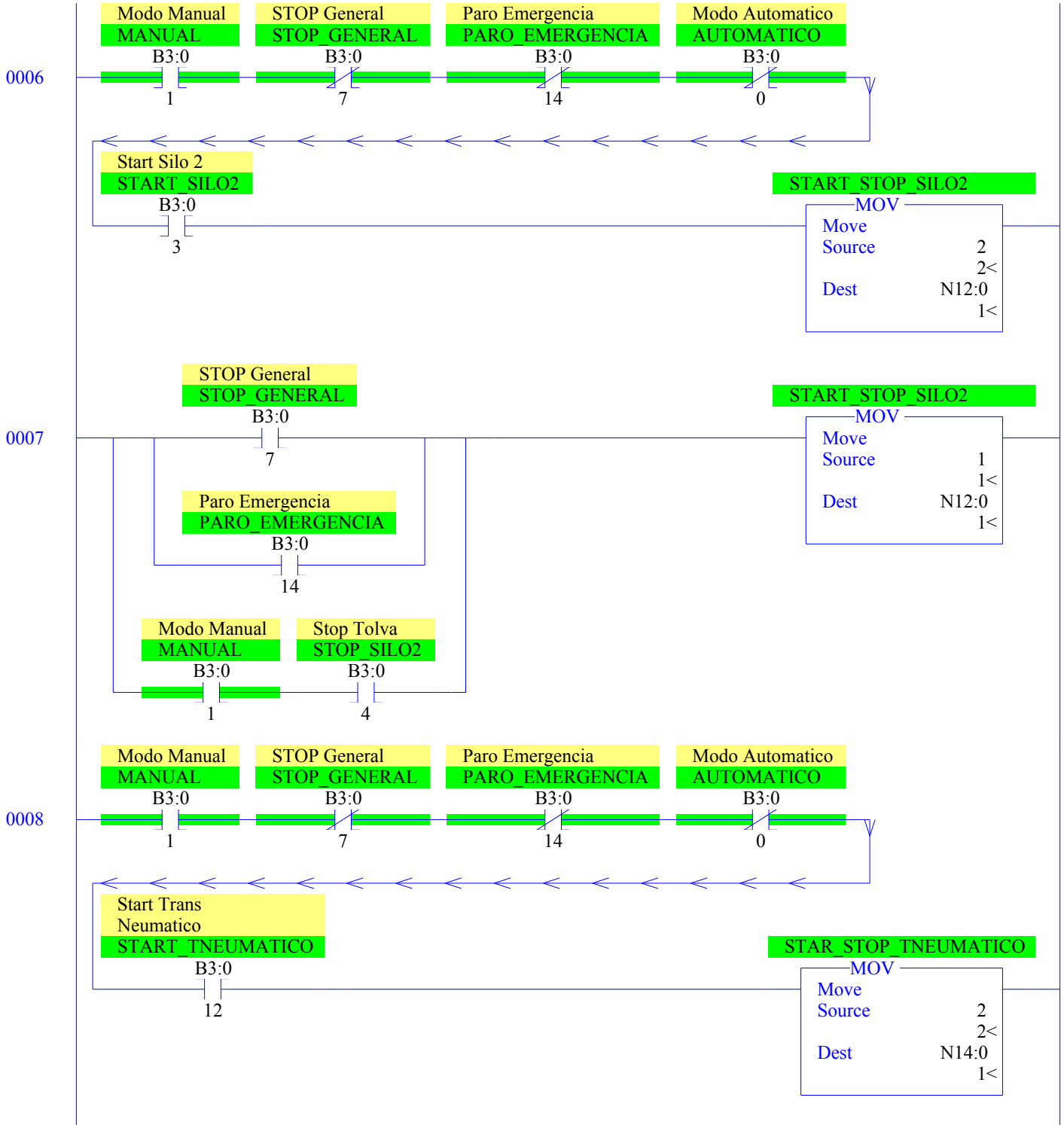
[http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/22b-um001\\_-en-e.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/22b-um001_-en-e.pdf)

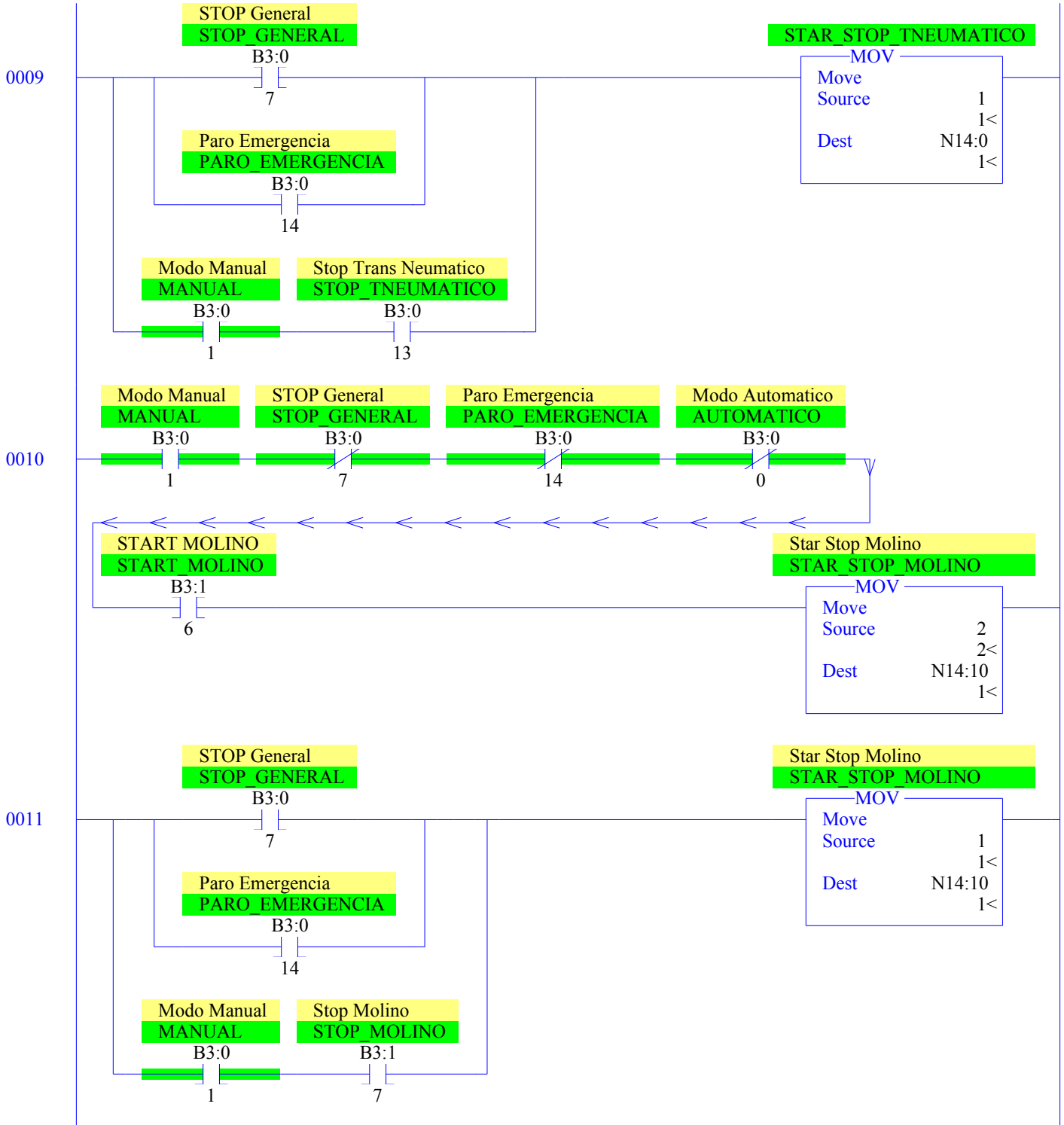
## **XIII. APÉNDICE**

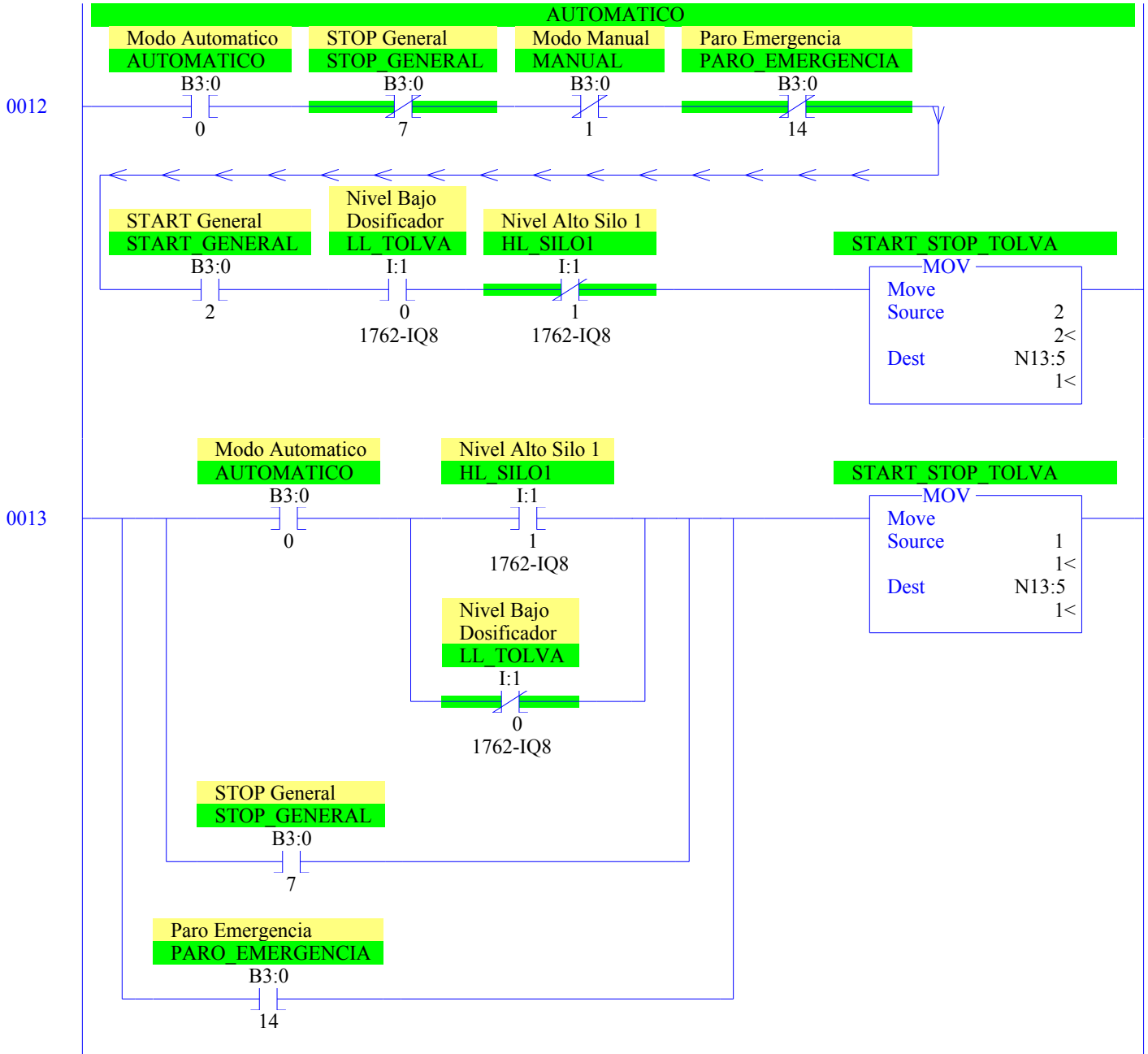
### **APÉNDICE A. Código fuente del programa del PLC**

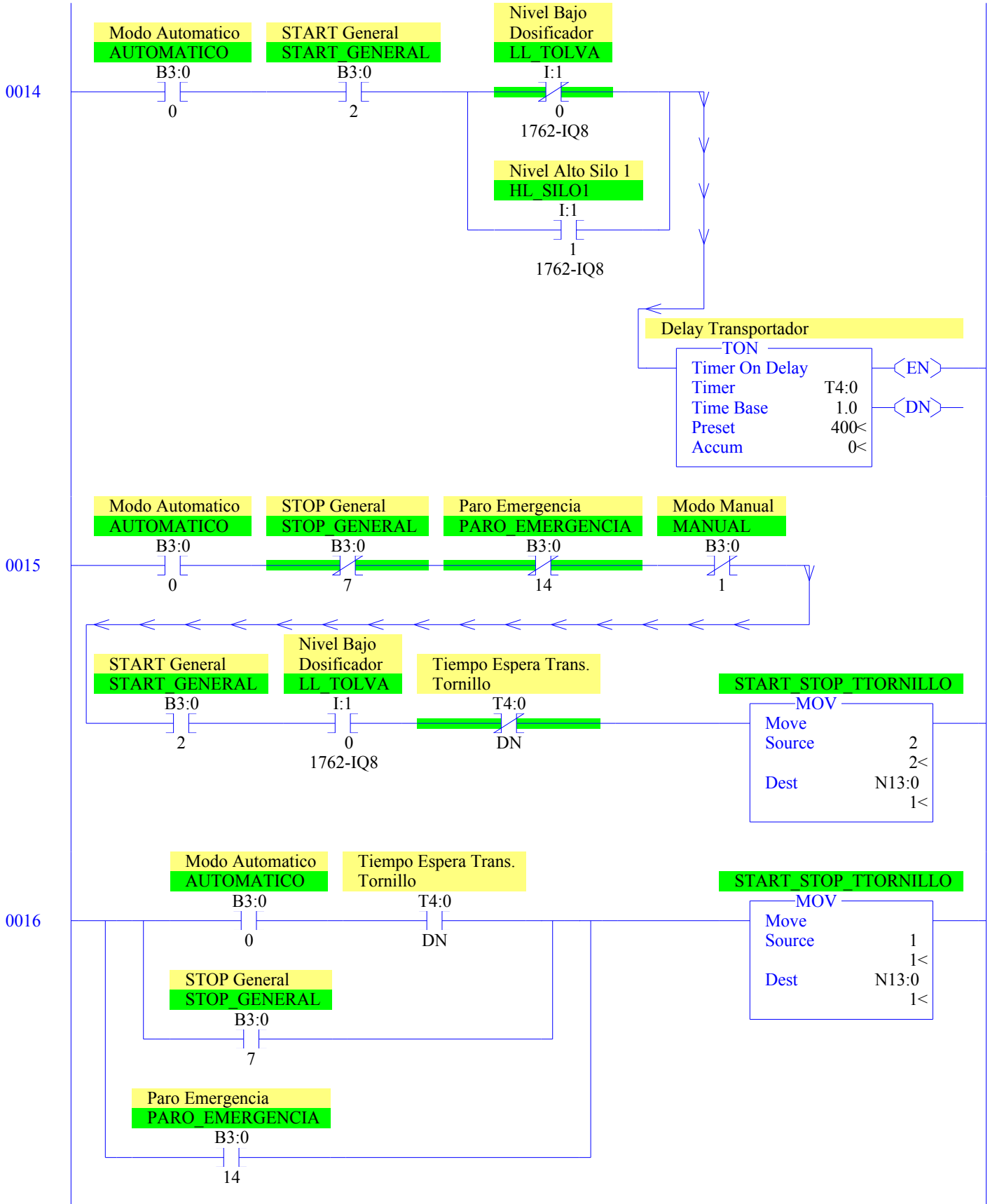


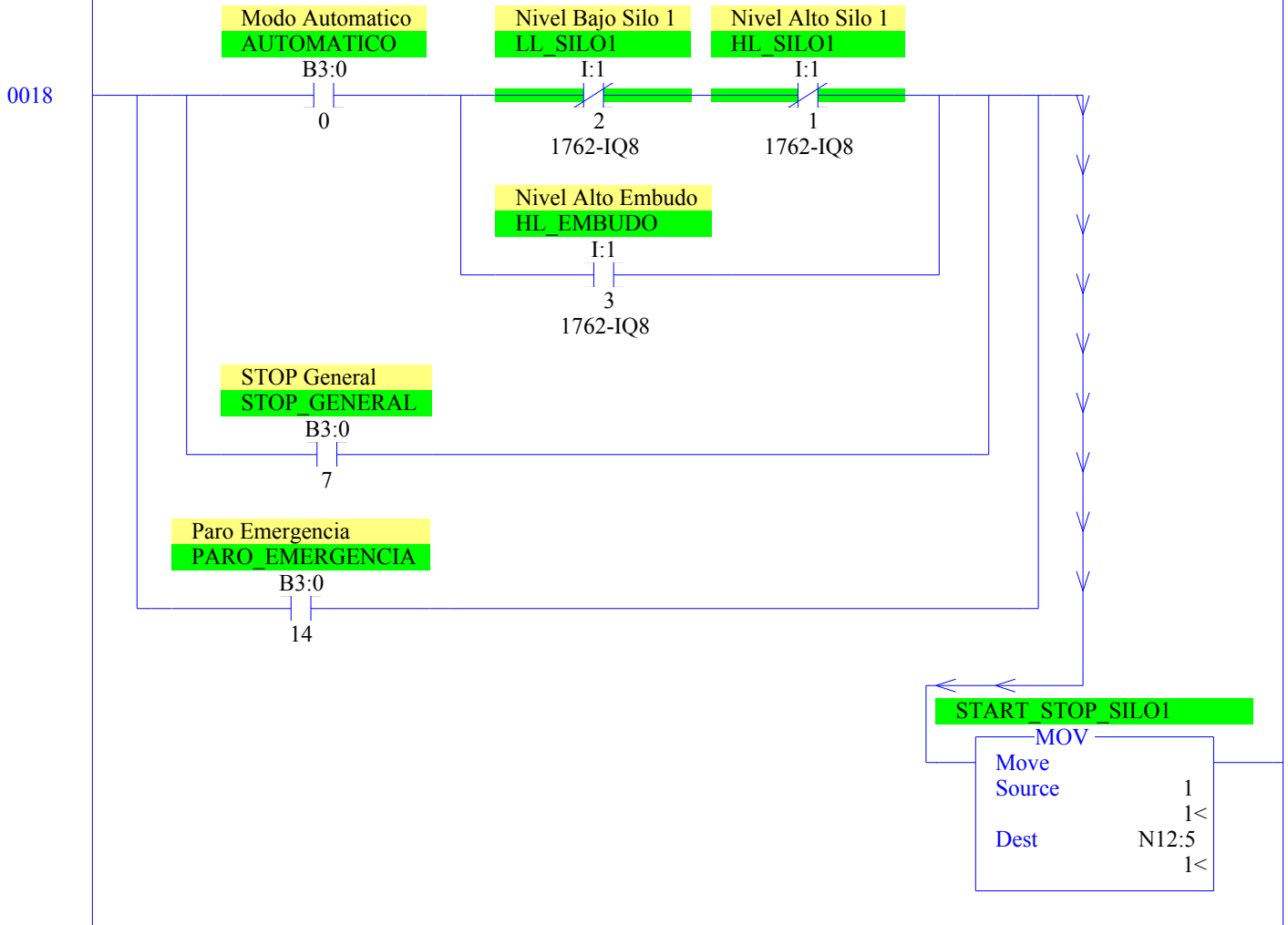
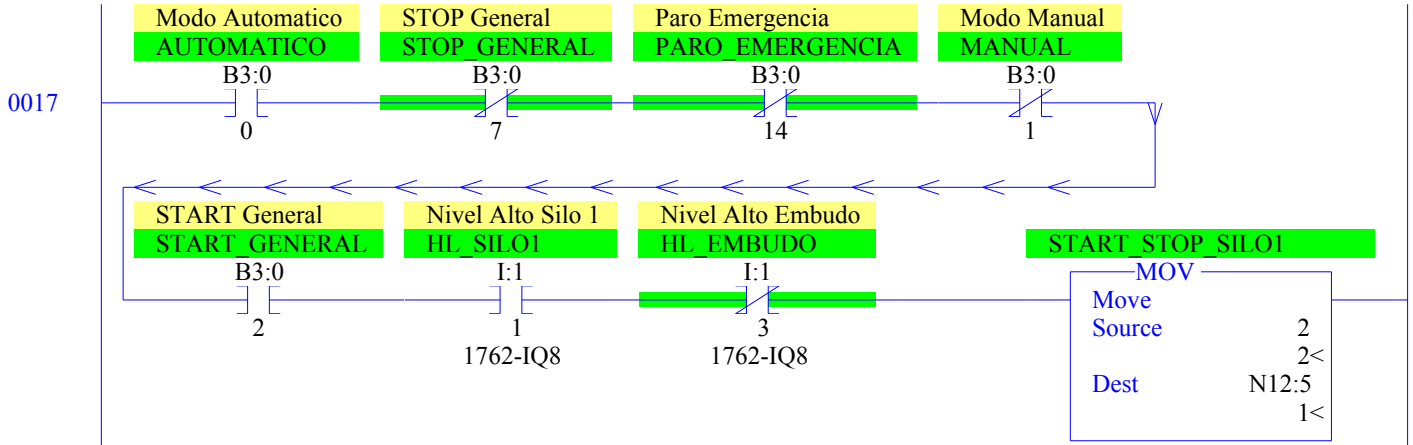


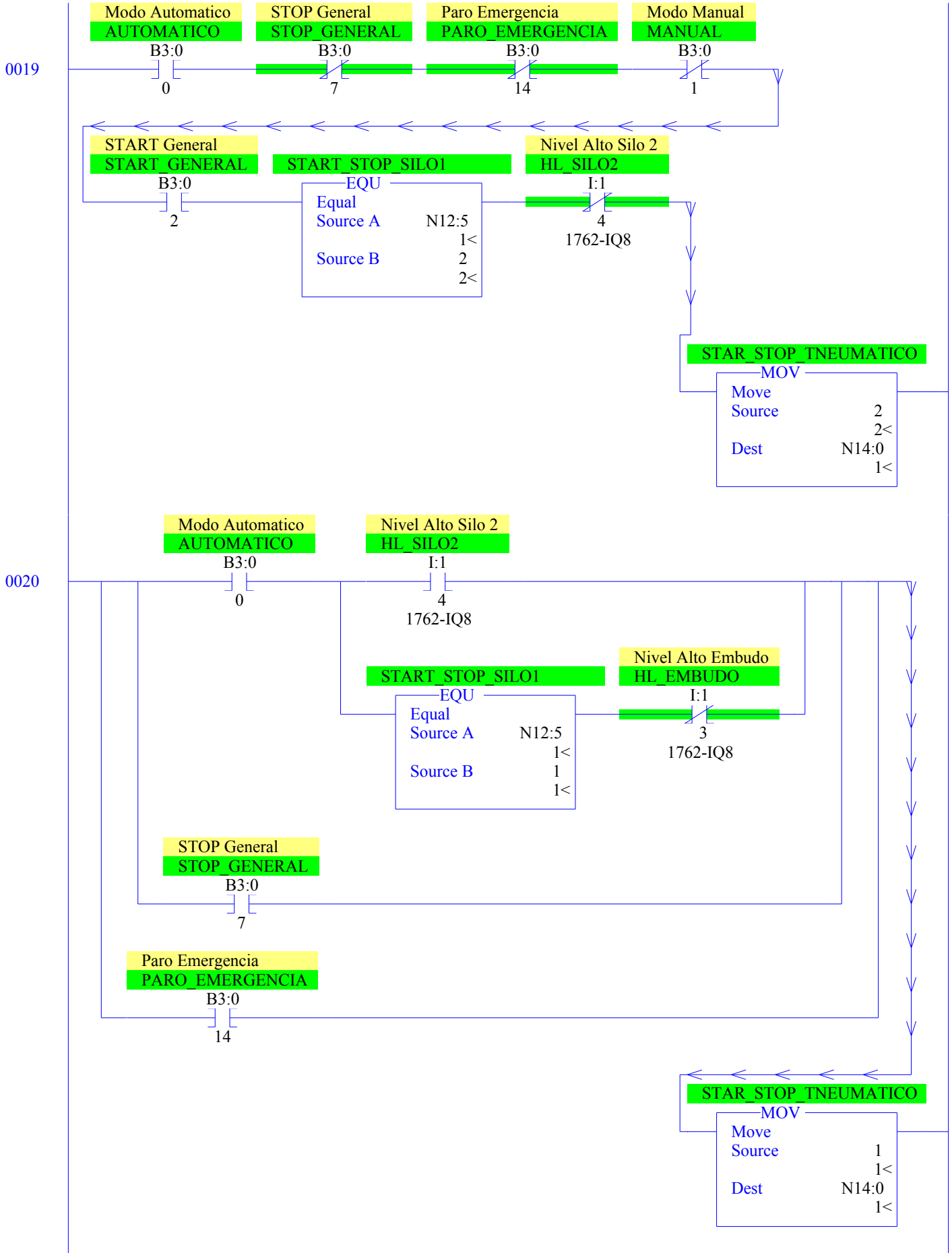


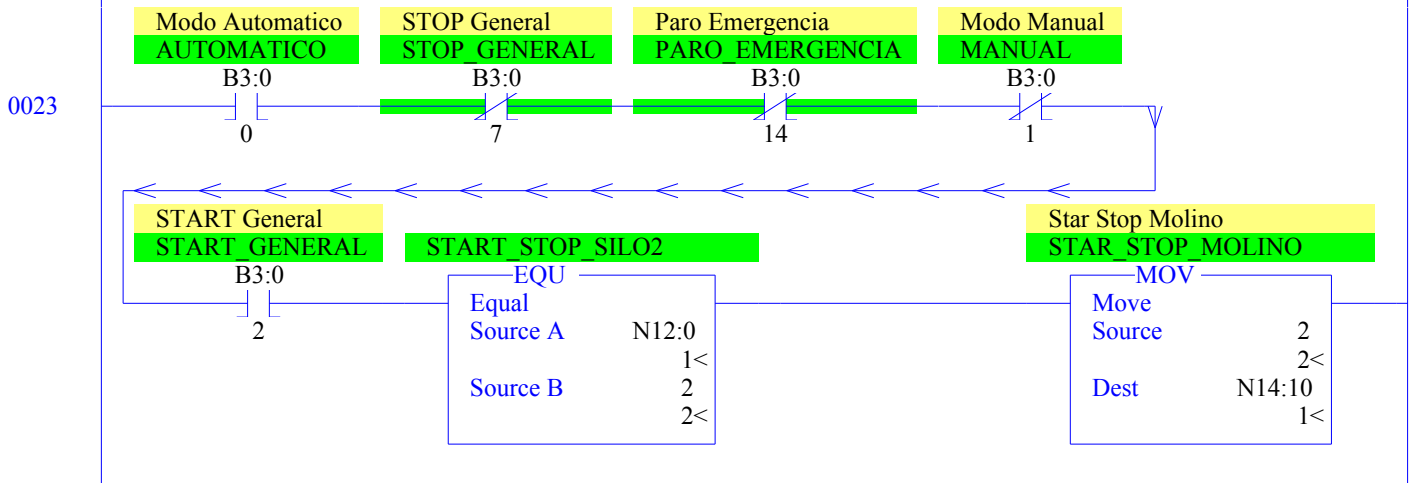
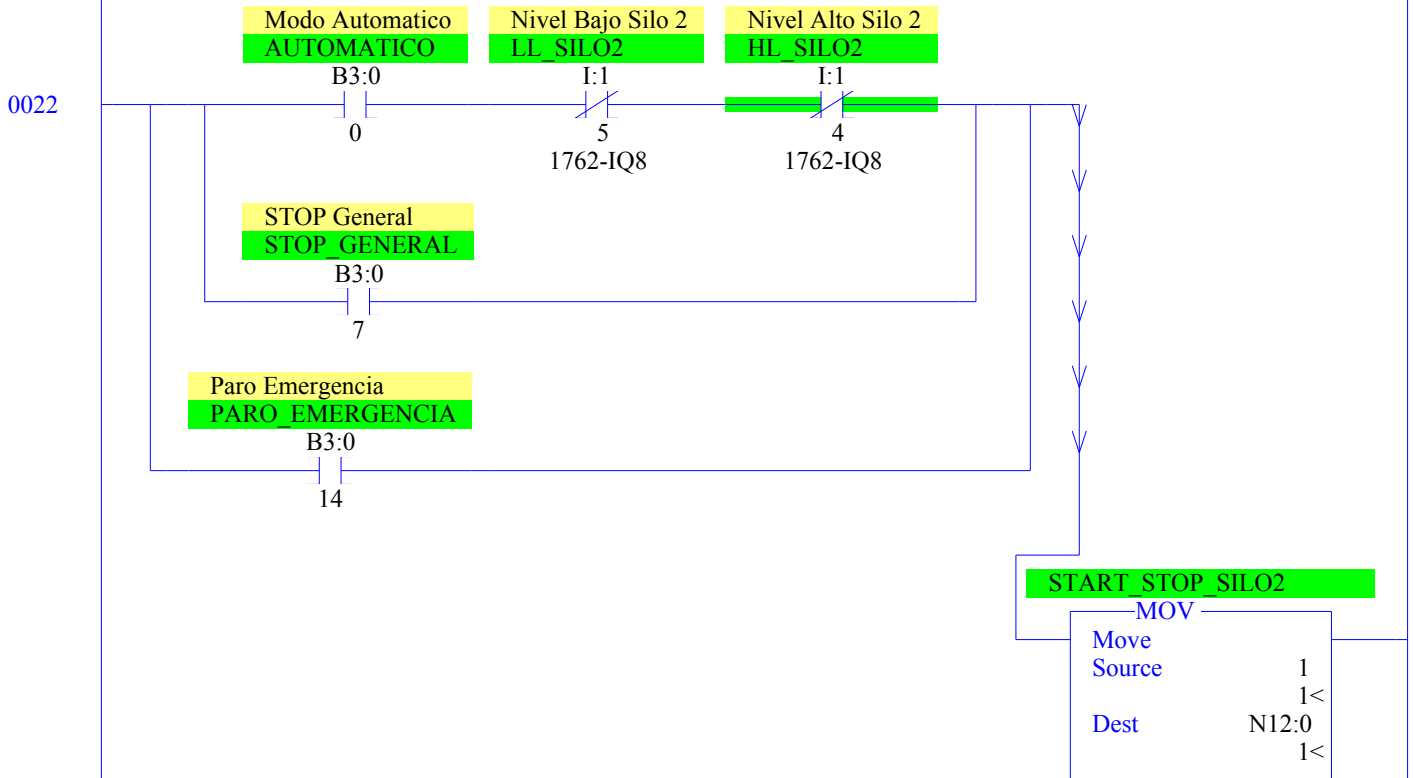
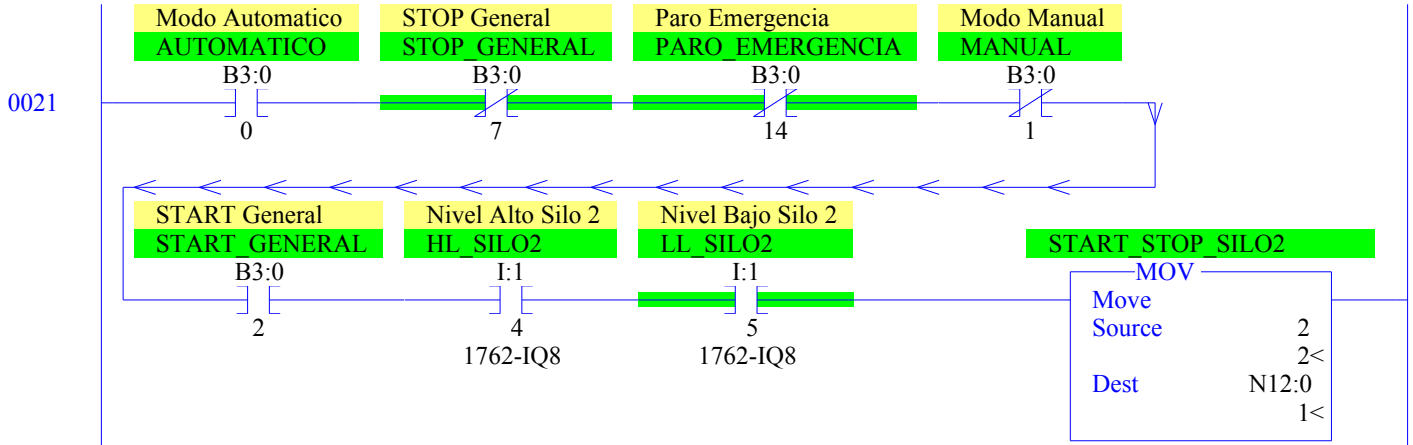




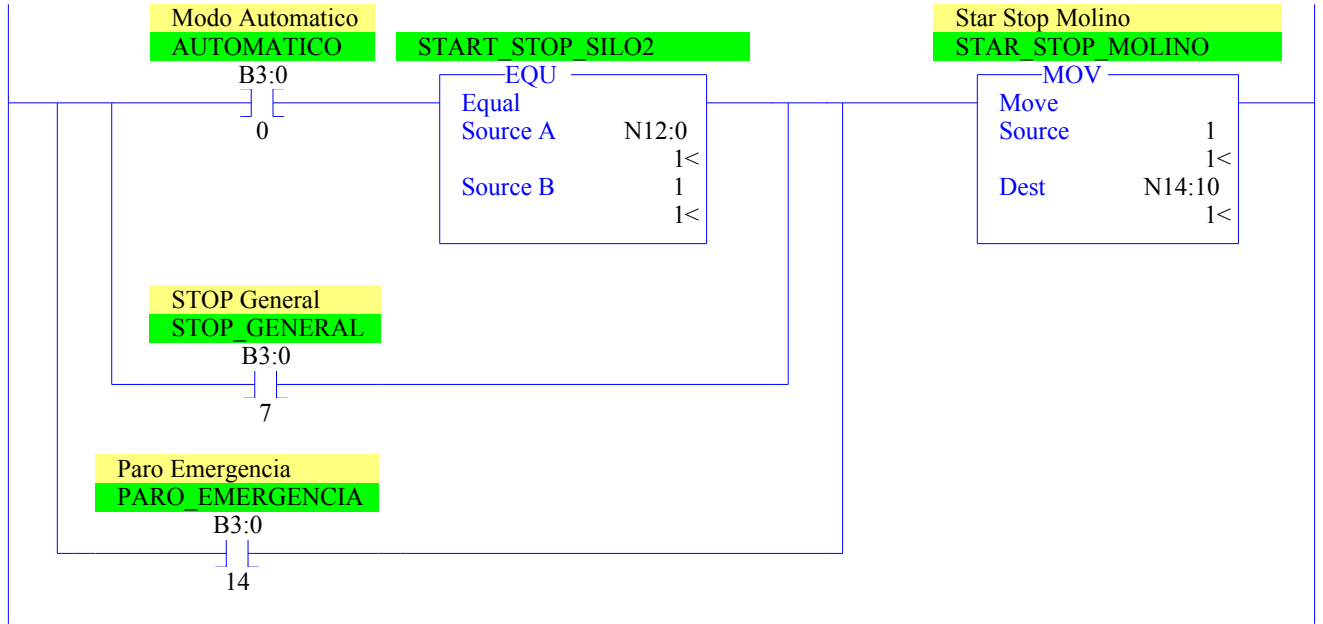


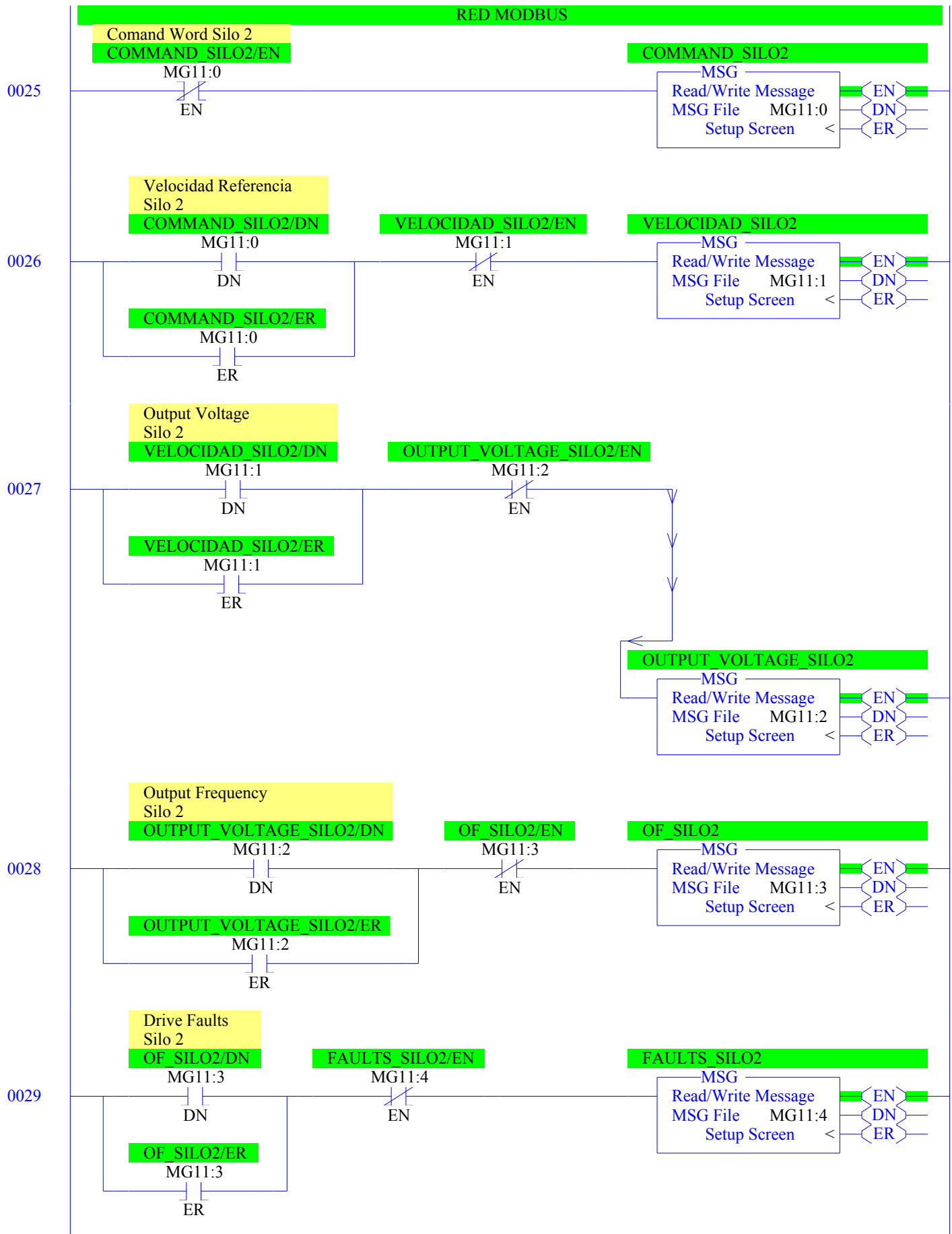


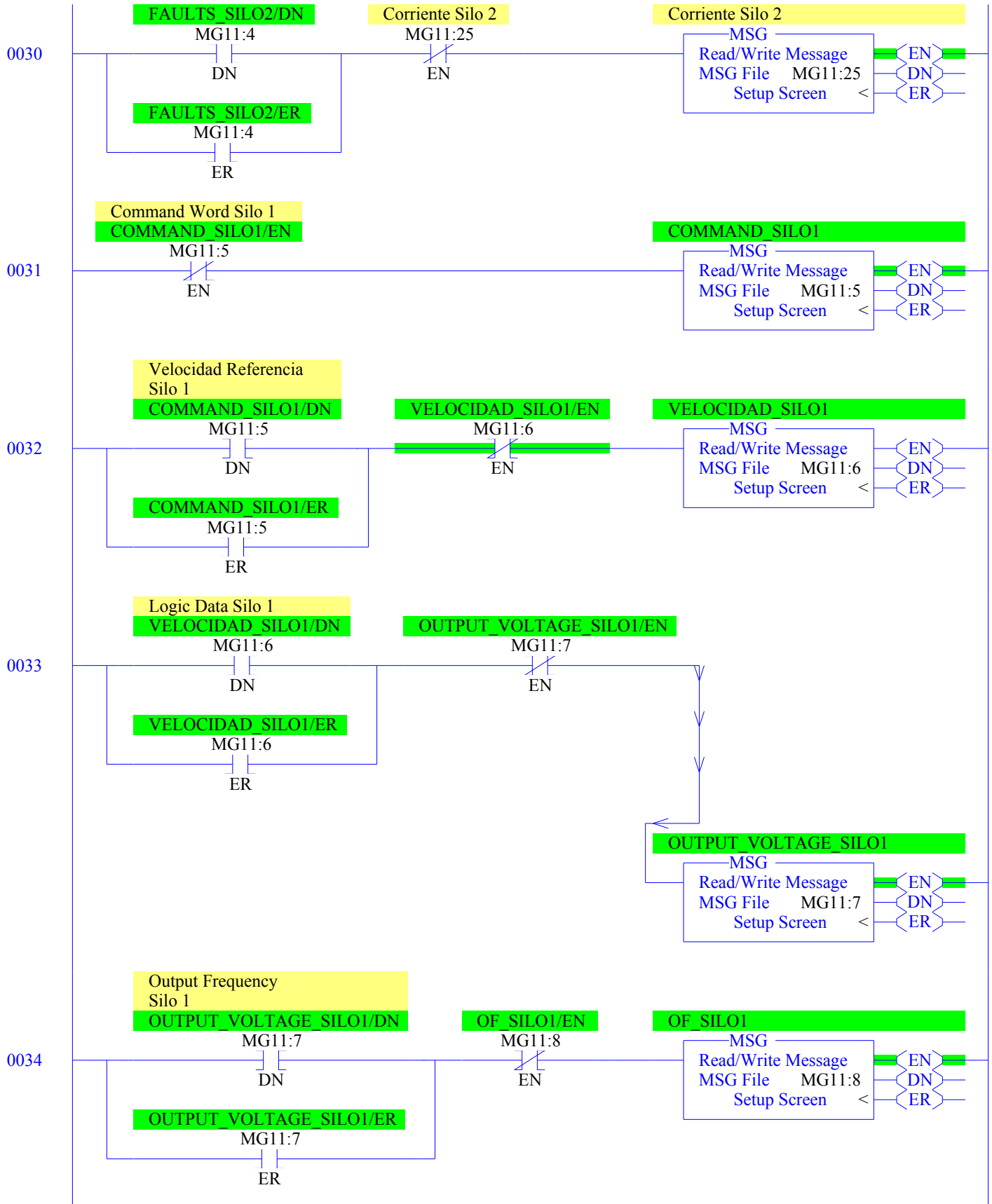


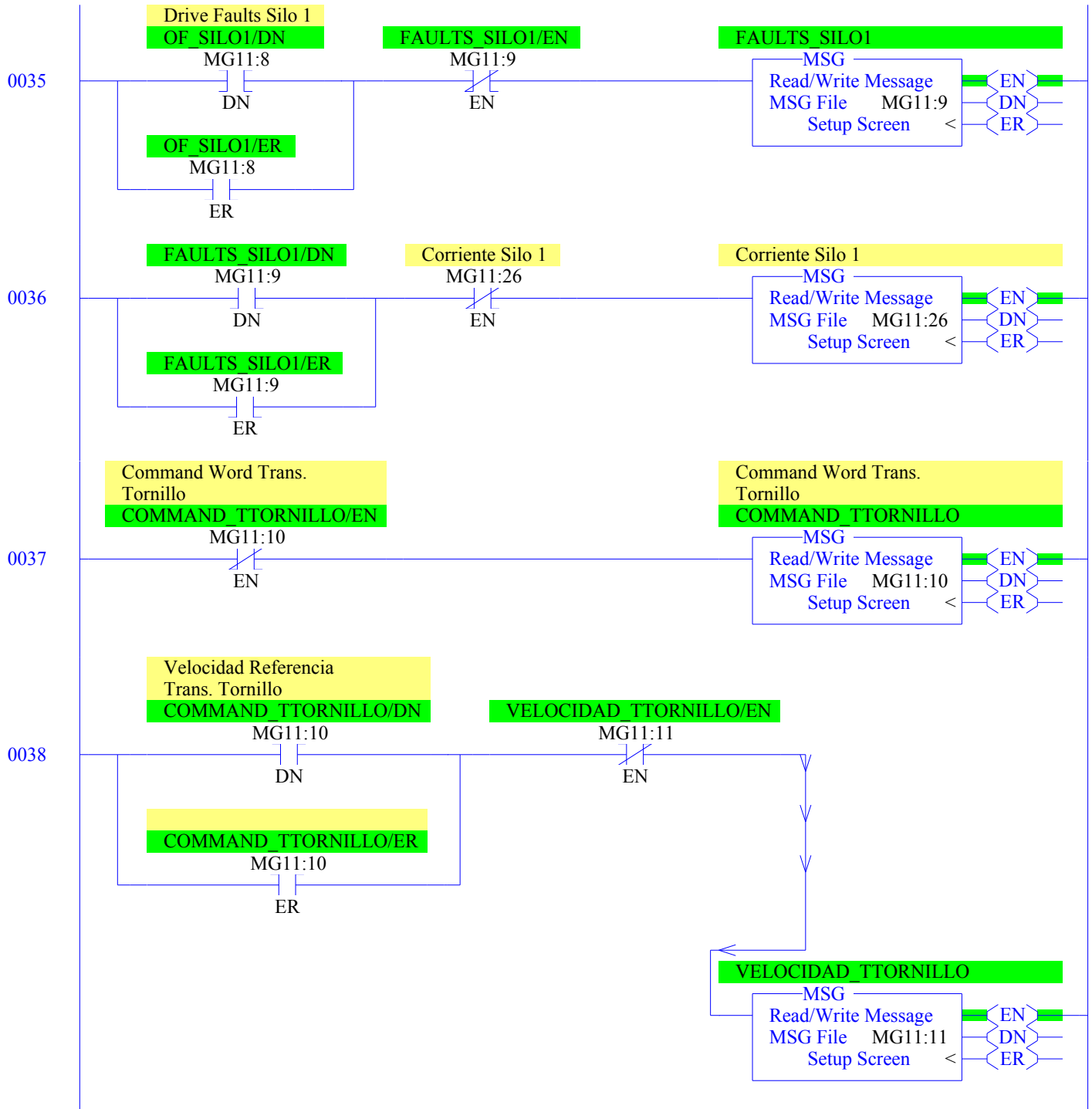


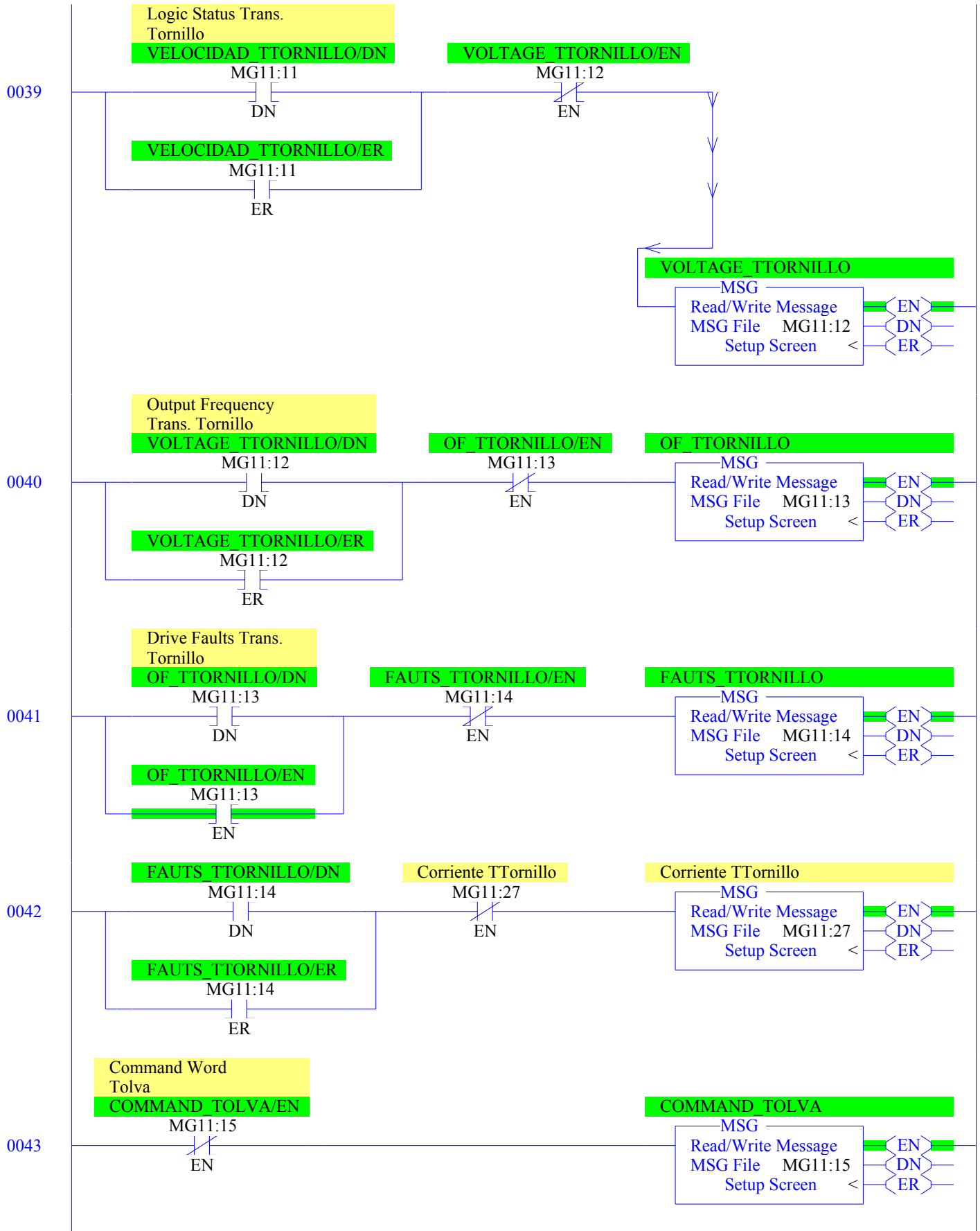
0024

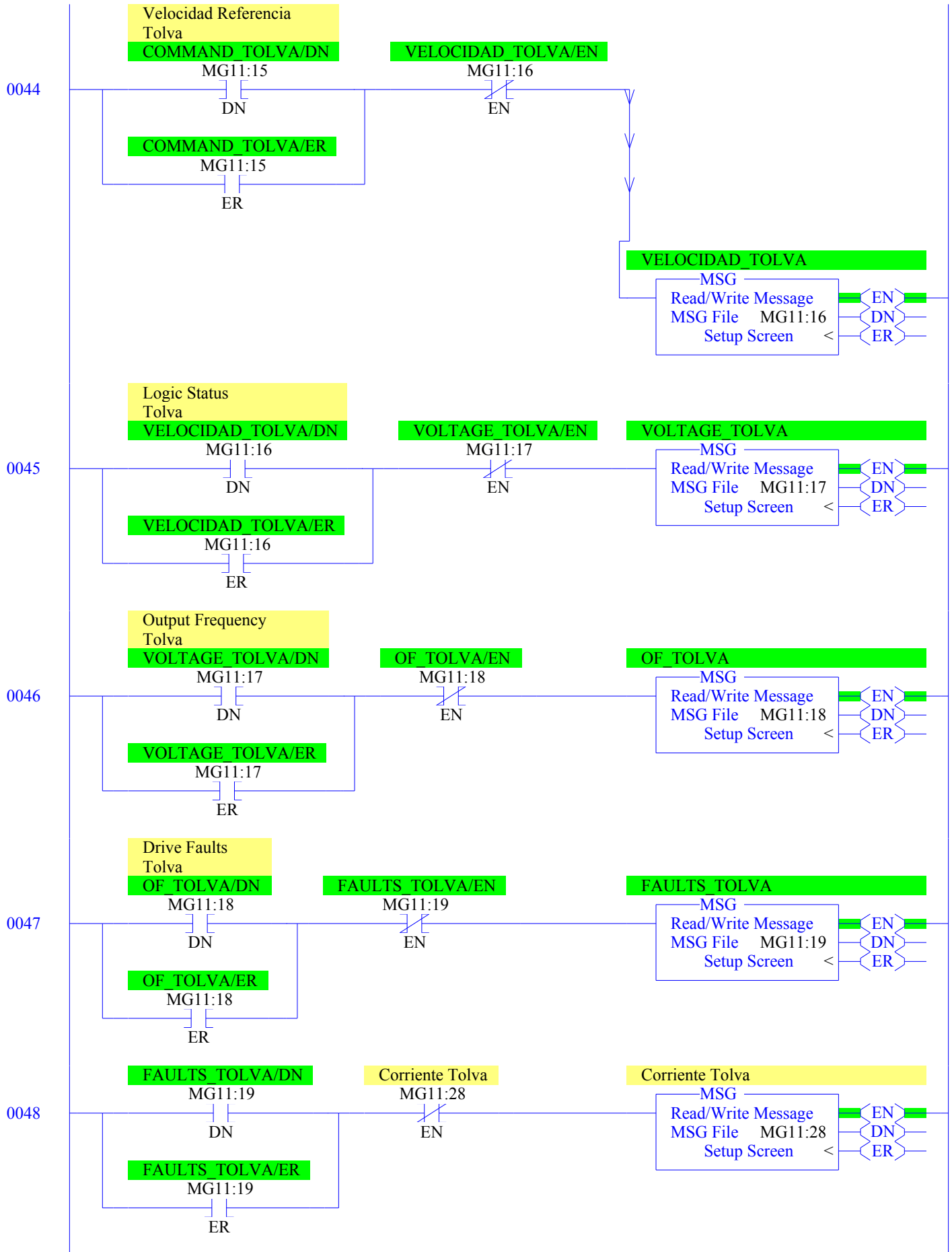


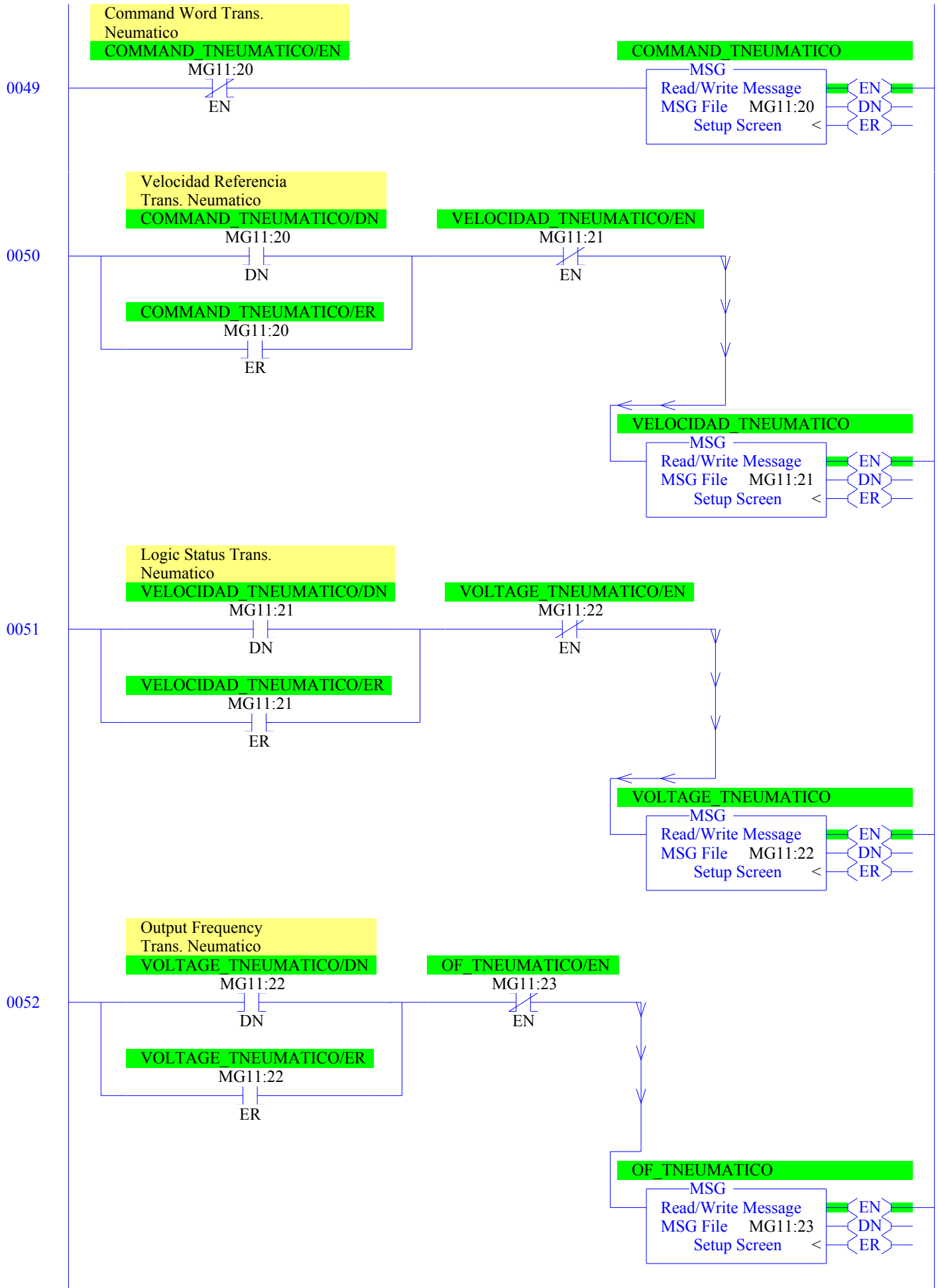


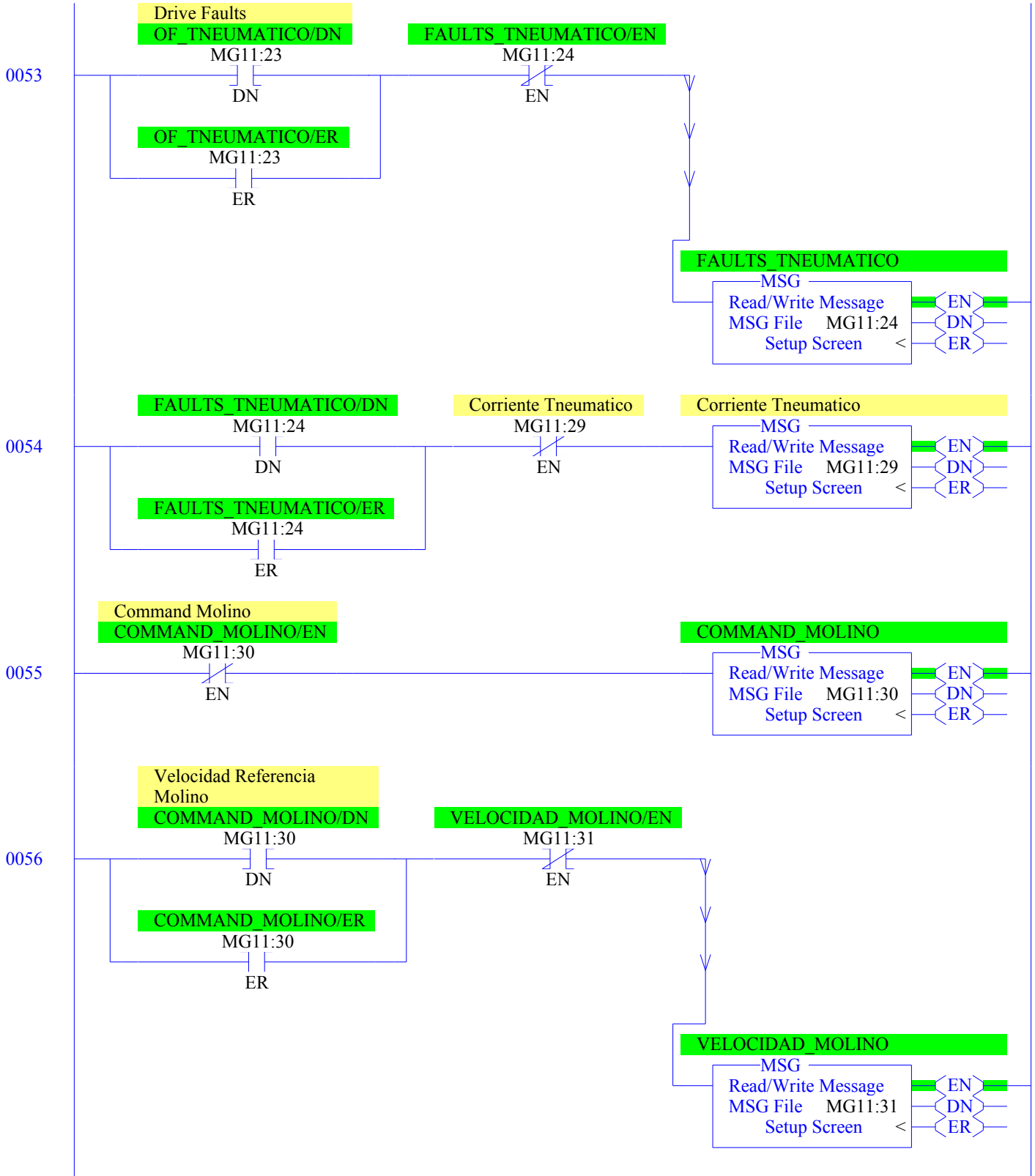


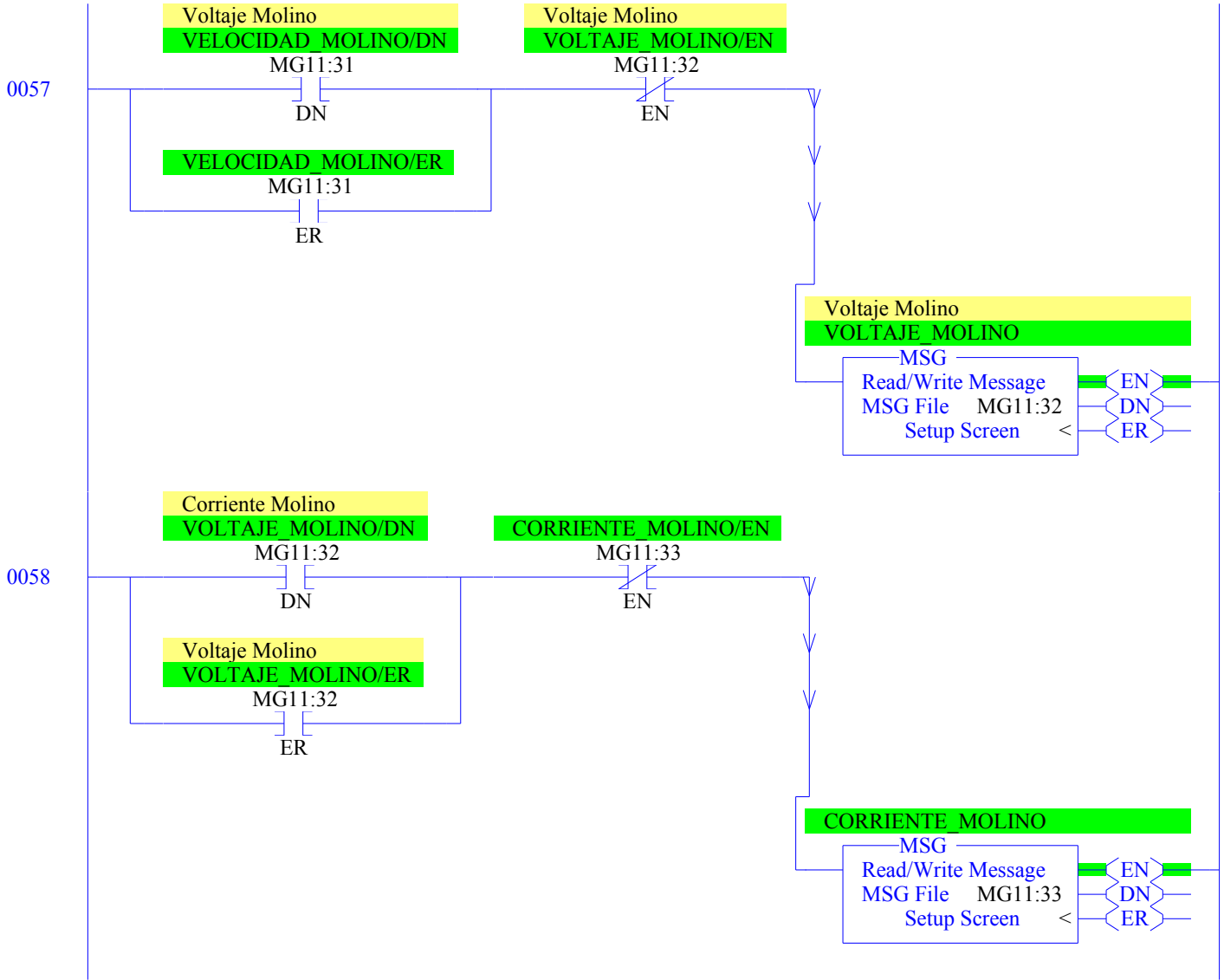












Velocidad Motores RPM

0059

INPUT\_VEL\_SILO2

DIV	
Divide	
Source A	N7:0 2400<
Source B	6 6<
Dest	N12:1 400<

0060

INPUT\_VEL\_SILO1

DIV	
Divide	
Source A	N7:1 2400<
Source B	6 6<
Dest	N12:6 400<

0061

INPUT\_VEL\_TTORNILLO

DIV	
Divide	
Source A	N7:2 1200<
Source B	6 6<
Dest	N13:1 200<

0062

INPUT\_VEL\_TOLVA

DIV	
Divide	
Source A	N7:3 1200<
Source B	6 6<
Dest	N13:6 200<

0063

INPUT\_VEL\_TNEUMATICO

DIV	
Divide	
Source A	N7:4 3600<
Source B	6 6<
Dest	N14:1 600<

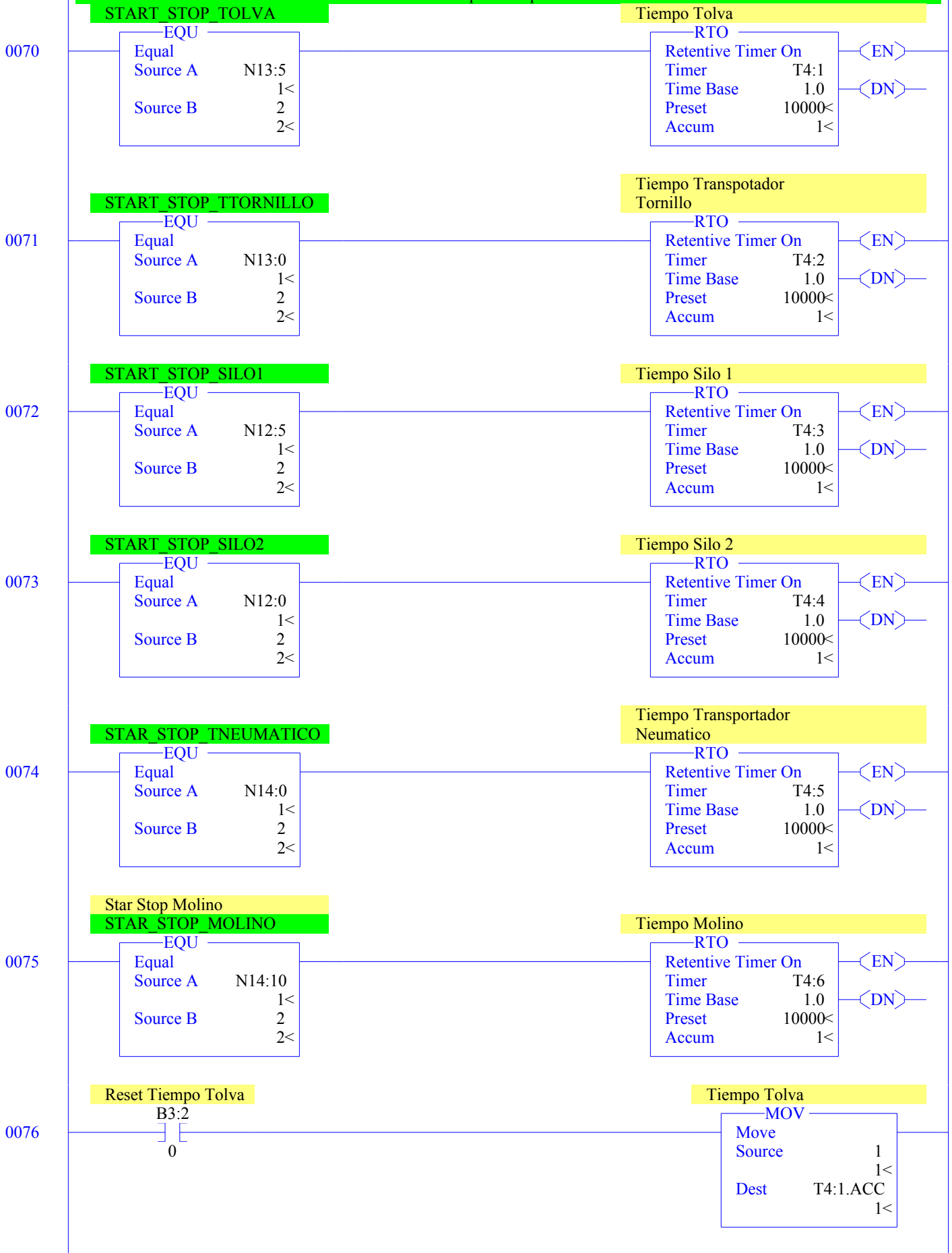
0064

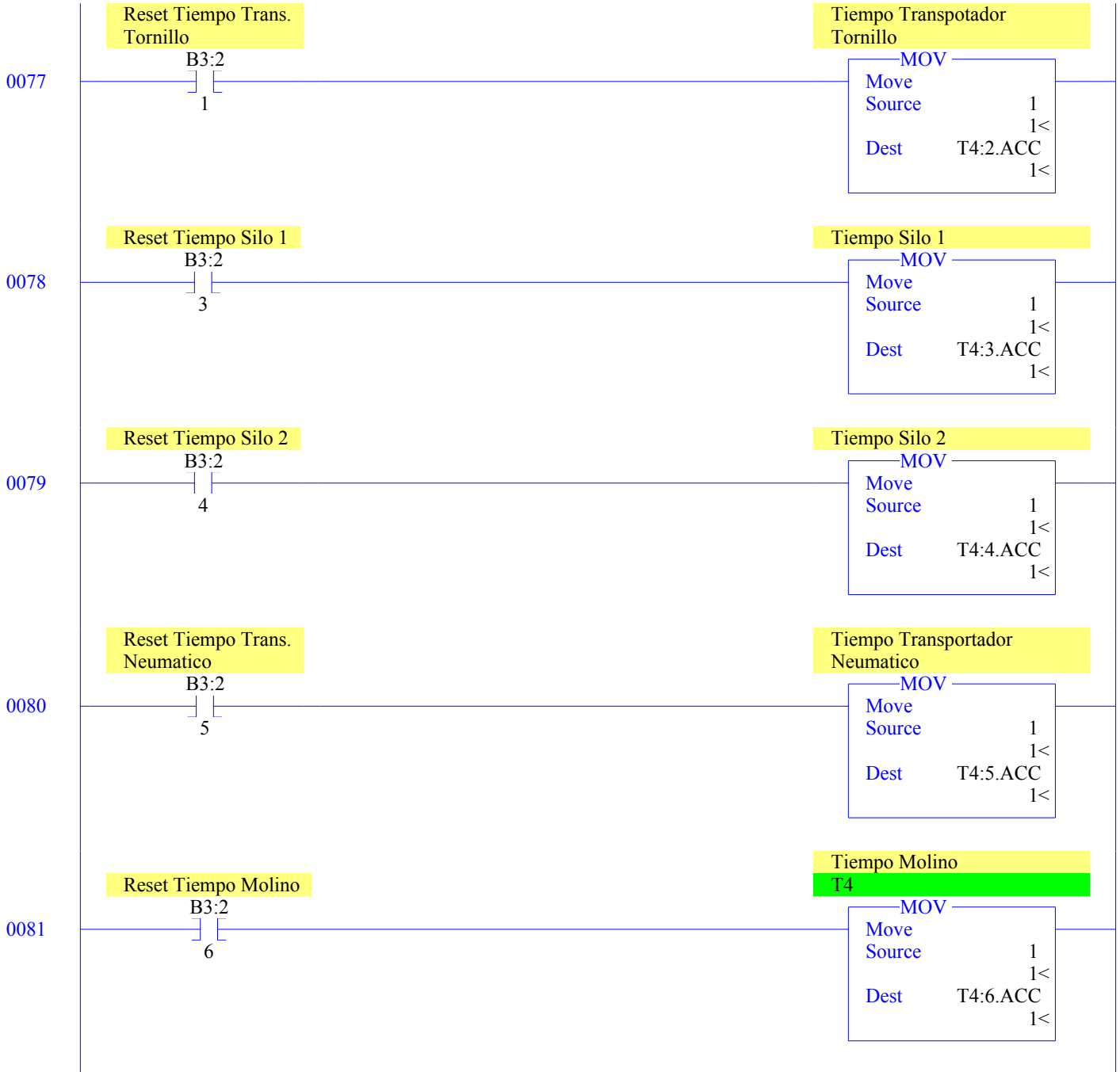
INPUT\_VEL\_MOLINO

DIV	
Divide	
Source A	N7:12 2400<
Source B	6 6<
Dest	N14:11 400<

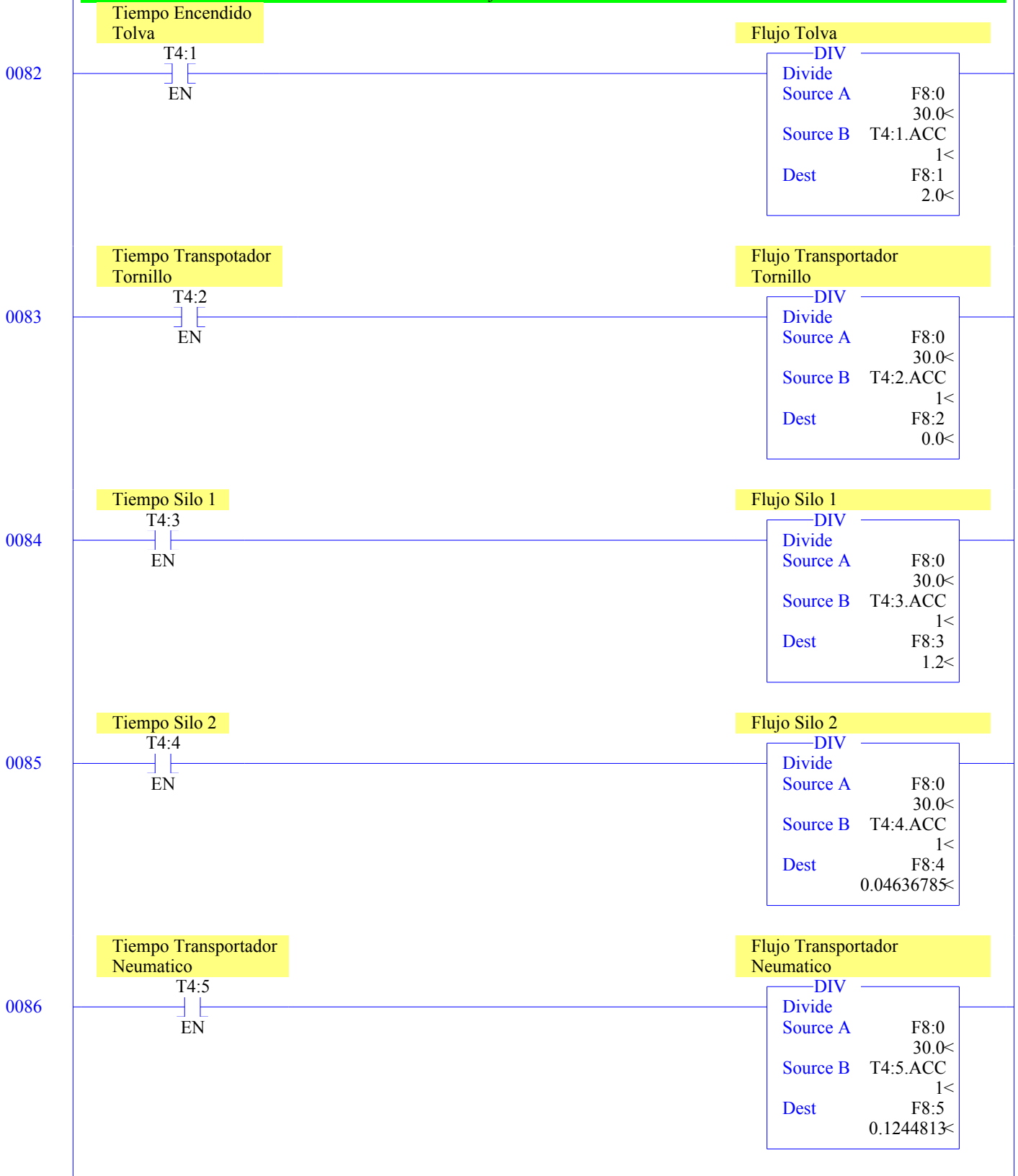


Tiempos de Operacion





Flujo de Dosificacion



0087

Tiempo Molino

T4:6  
EN

Flujo Molino

DIV	
Divide	
Source A	F8:0 30.0<
Source B	T4:6.ACC 1<
Dest	F8:6 0.0<

Flujo Aire

Entrada Flujo Aire

0088

SUB	
Subtract	
Source A	I:2.0 3244<
Source B	3255.0 3255.0<
Dest	F8:15 -11.0<

Velocidad Aire  
Entrada

0089

MUL	
Multiply	
Source A	F8:15 -11.0<
Source B	10.5 10.5<
Dest	F8:17 -115.5<

Velocidad de Entrada  
(Km/h)

0090

DIV	
Divide	
Source A	F8:17 -115.5<
Source B	1000.0 1000.0<
Dest	F8:19 -0.1155<

Salida Flujo Aire

0091

SUB	
Subtract	
Source A	I:2.1 3222<
Source B	3255.0 3255.0<
Dest	F8:16 -31.0<

Velocidad Aire  
Salida

0092

MUL	
Multiply	
Source A	F8:16 -31.0<
Source B	10.5 10.5<
Dest	F8:18 -325.5<

0093

Velocidad Salida  
(Km/h)

DIV	
Divide	
Source A	F8:18 -325.5<
Source B	1000.0 1000.0<
Dest	F8:20 -0.3255<

Calculo de Potencia

Voltaje Silo 2

0094

DIV		
Divide		
Source A	N12:2	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:0	0.0<

Voltaje Silo 1

0095

DIV		
Divide		
Source A	N12:7	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:1	0.0<

Voltaje T. Tornillo

0096

DIV		
Divide		
Source A	N13:2	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:2	0.0<

Voltaje Tolva

0097

DIV		
Divide		
Source A	N13:7	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:3	0.0<

Voltaje T. Neumatico

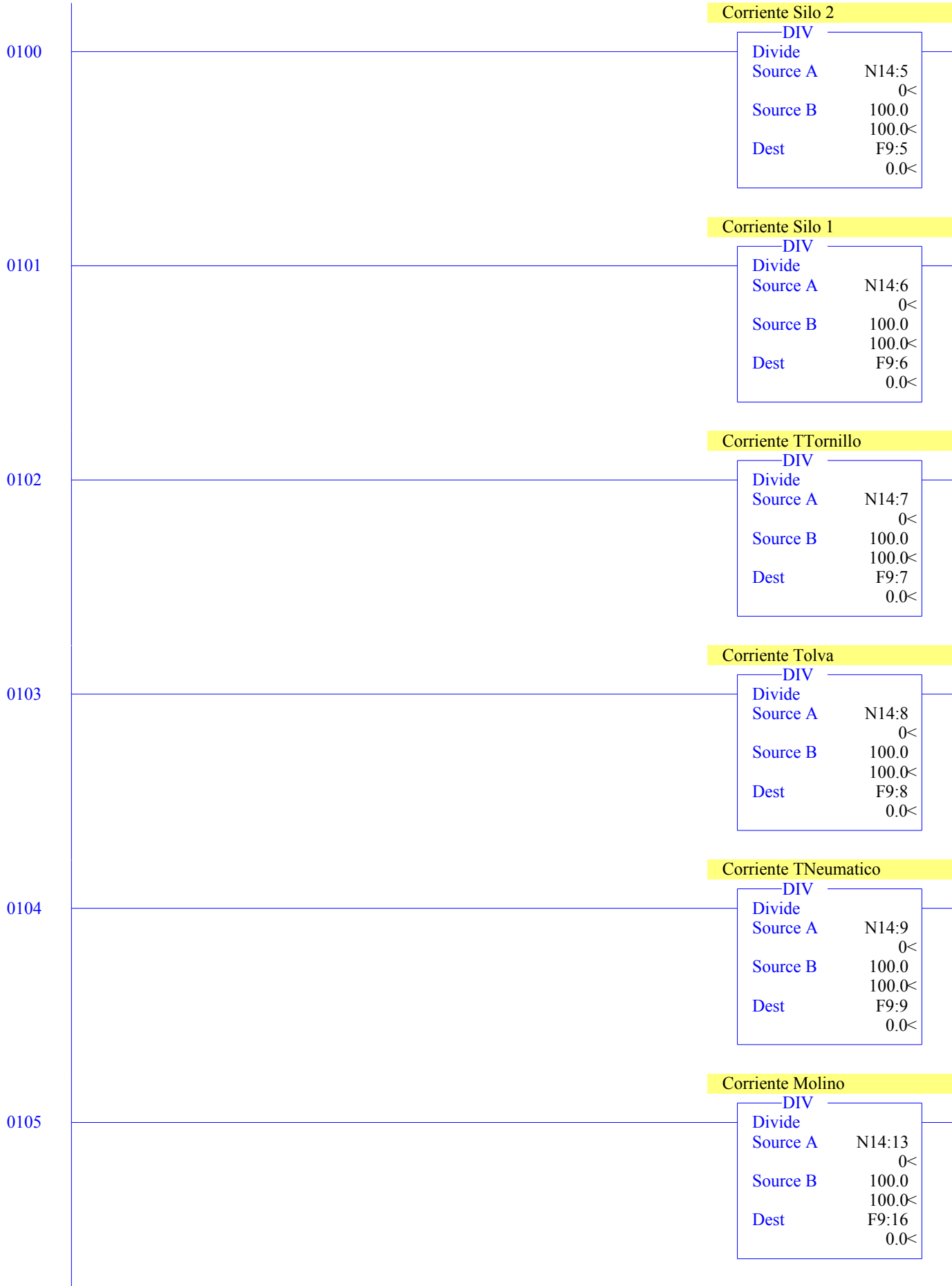
0098

DIV		
Divide		
Source A	N14:2	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:4	0.0<

Voltaje Molino

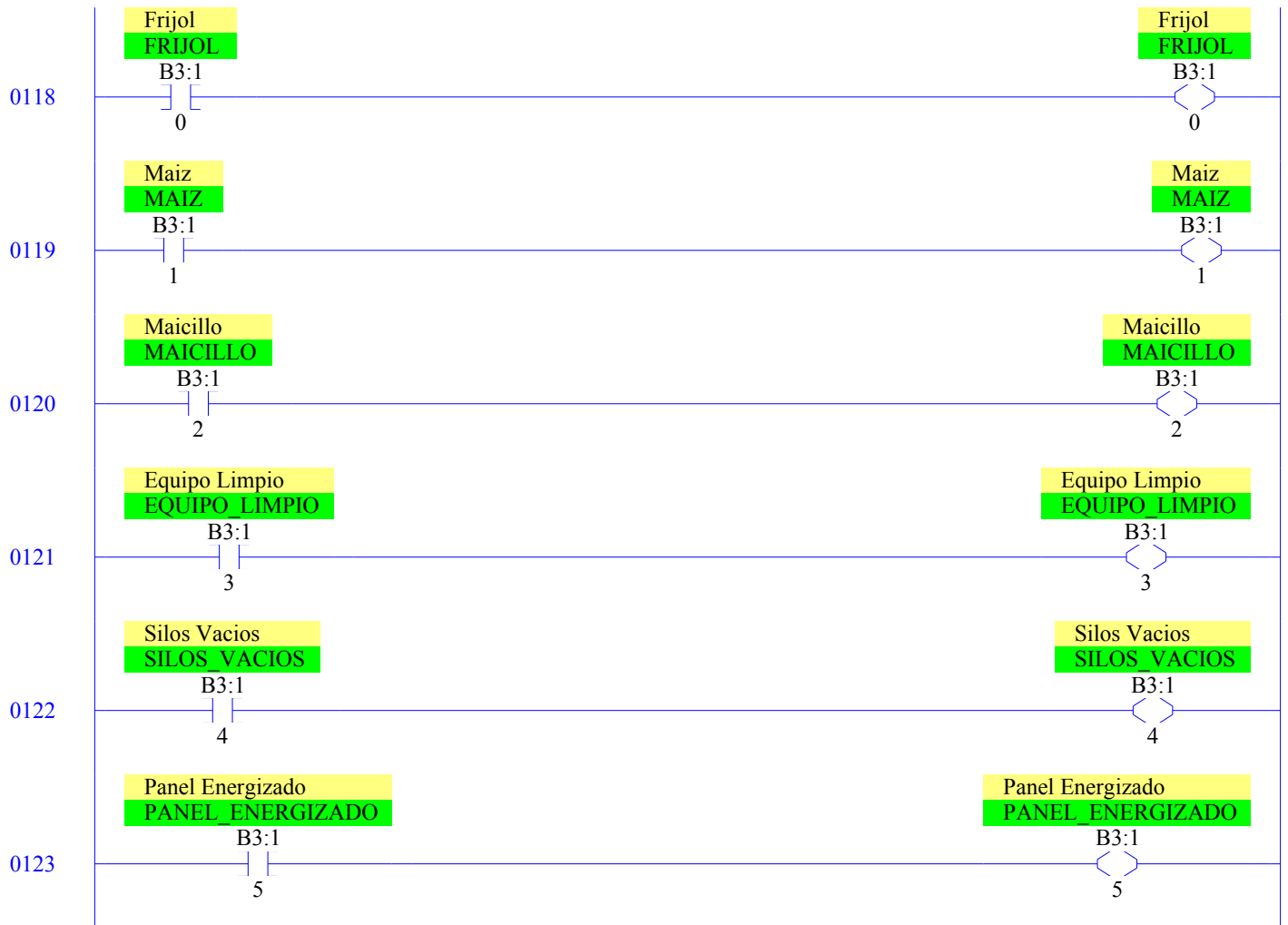
0099

DIV		
Divide		
Source A	N14:12	0<
Source B	10.0	10.0<
Dest	F9:15	0.0<

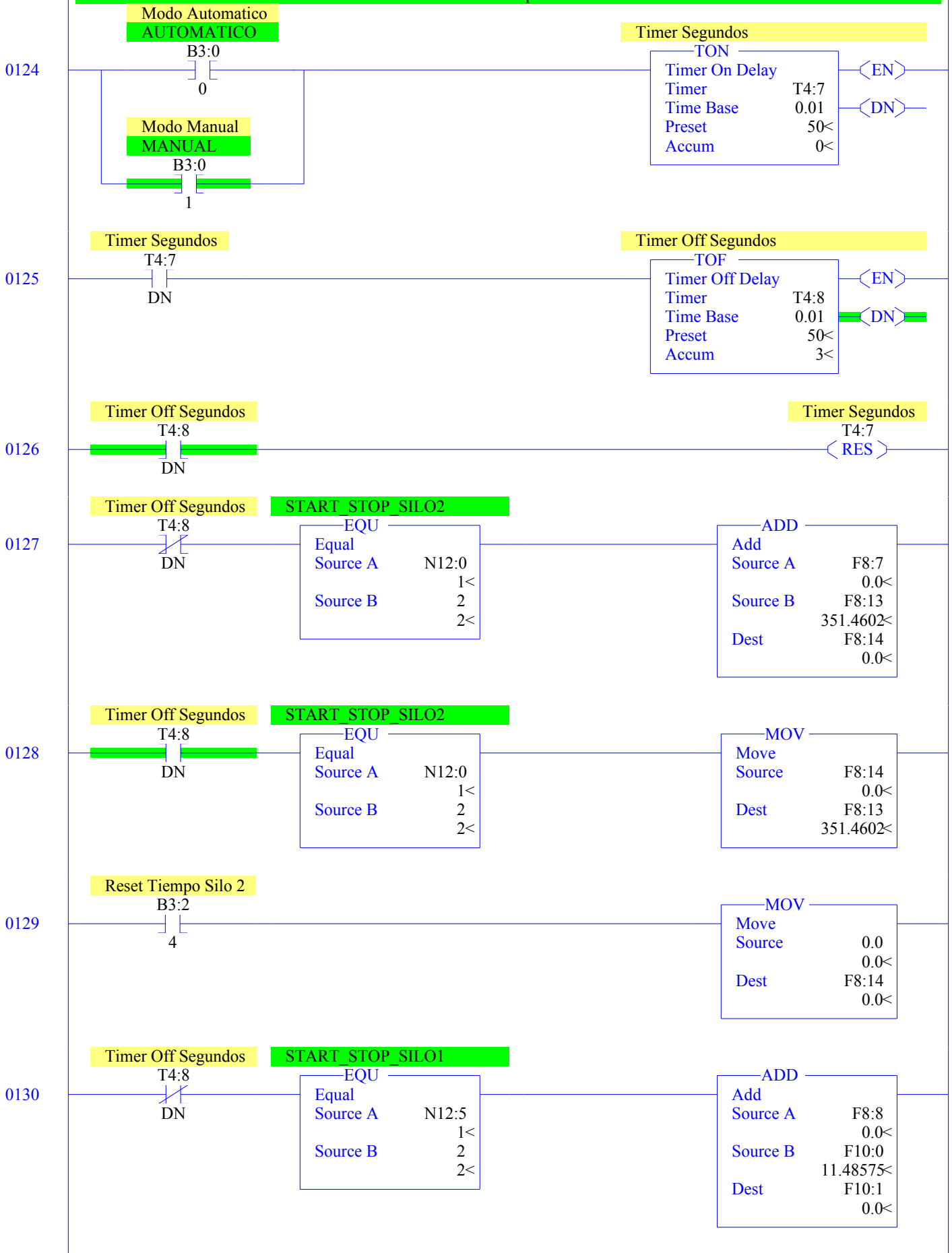


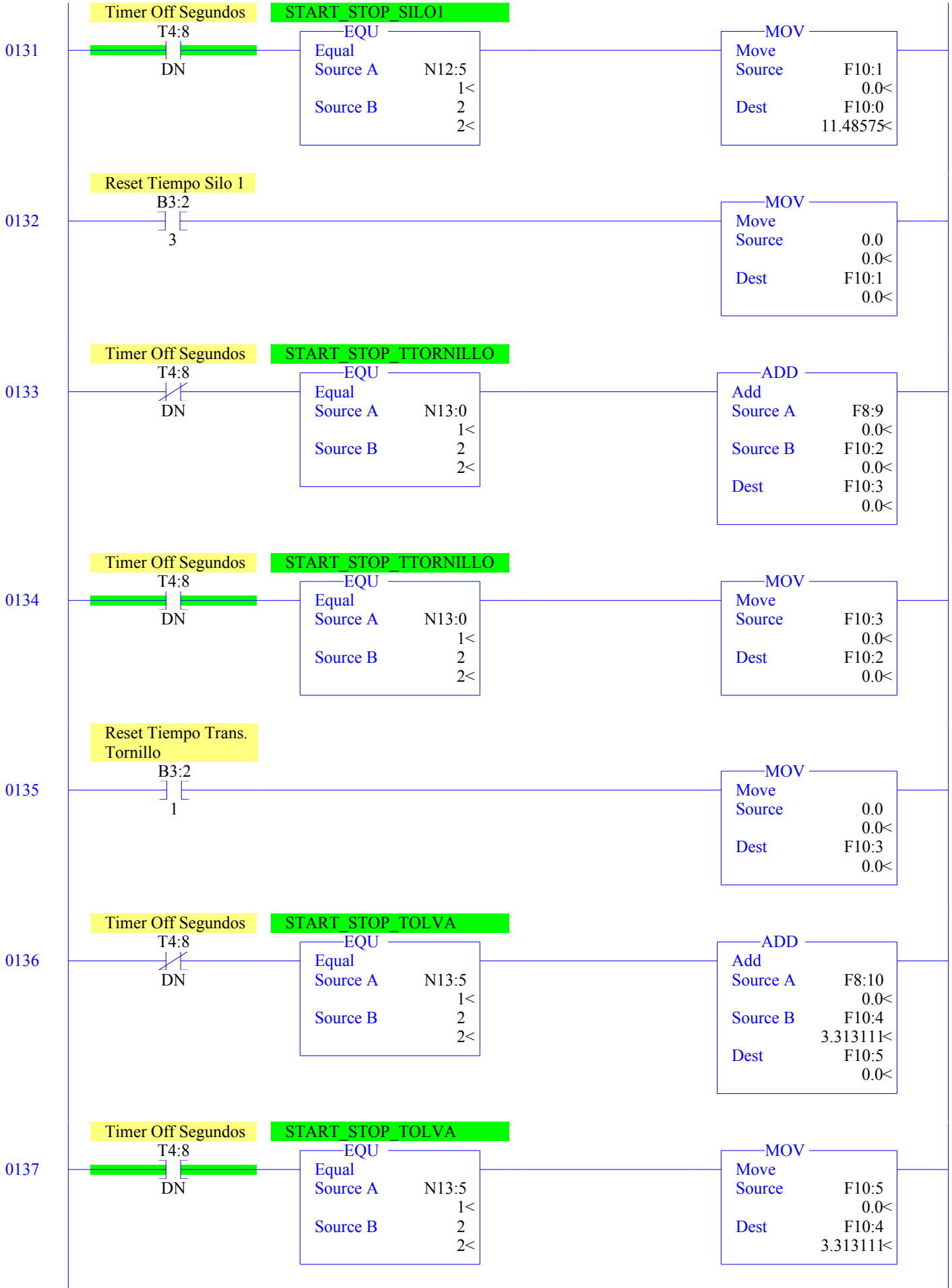


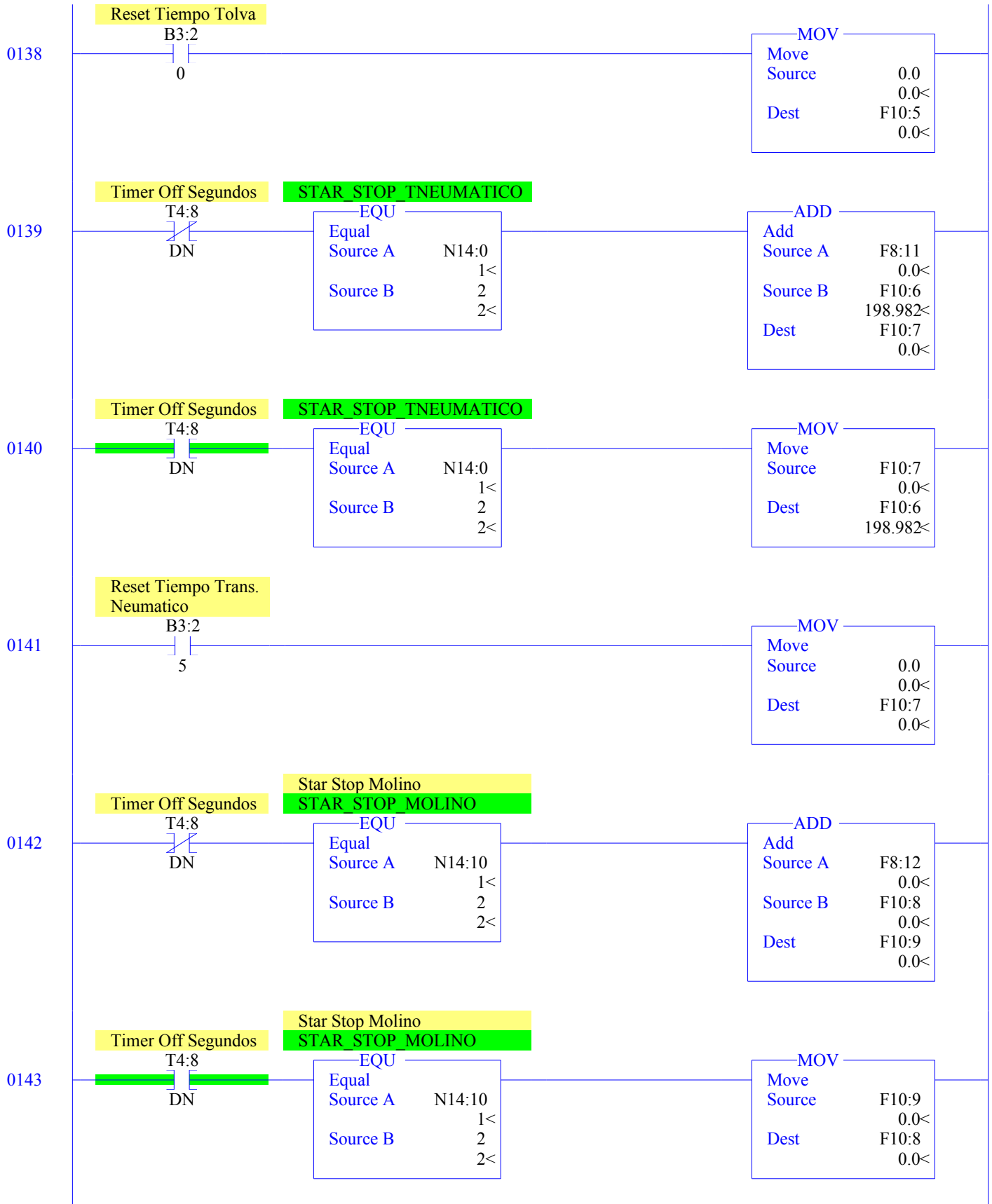
0112	kw Silo 2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:10 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:7 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:10 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:7 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:10 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:7 0.0<											
0113	kw Silo 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:11 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:8 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:11 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:8 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:11 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:8 0.0<											
0114	kw t tornillo	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:12 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:9 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:12 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:9 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:12 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:9 0.0<											
0115	kw tolva	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:13 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:10 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:13 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:10 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:13 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:10 0.0<											
0116	kw t neumatico	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:14 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:11 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:14 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:11 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:14 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:11 0.0<											
0117	kw molino	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DIV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Divide</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source A</td> <td>F9:17 0.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>760.0 760.0&lt;</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>F8:12 0.0&lt;</td> </tr> </tbody> </table>	DIV		Divide		Source A	F9:17 0.0<	Source B	760.0 760.0<	Dest	F8:12 0.0<
DIV												
Divide												
Source A	F9:17 0.0<											
Source B	760.0 760.0<											
Dest	F8:12 0.0<											



Control Tiempos kw-h







Reset Tiempo Molino

0144

B3:2  
6

MOV

Move	0.0
Source	0.0<
Dest	F10:9
	0.0<

Flujo 1

0145

ADD

Add	
Source A	F8:1
	2.0<
Source B	F8:2
	0.0<
Dest	F10:10
	2.0<

0146

ADD

Add	
Source A	F10:10
	2.0<
Source B	F8:3
	1.2<
Dest	F10:11
	3.2<

Flujo 3

0147

ADD

Add	
Source A	F10:11
	3.2<
Source B	F8:4
	0.04636785<
Dest	F10:12
	3.246368<

0148

ADD

Add	
Source A	F10:12
	3.246368<
Source B	F8:5
	0.1244813<
Dest	F10:13
	3.370849<

FLUJO TOTAL

0149

ADD

Add	
Source A	F10:13
	3.370849<
Source B	F8:6
	0.0<
Dest	F10:14
	3.370849<

