



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

ESCUELA SUPERIOR DE TIZAYUCA

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA SECUENCIA DE OPERACIÓN DE UNA
BOMBA NEUMÁTICA PARA EL LLENADO DE TRES TOLVAS DESDE UN
SILO”**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA

MÓNICA ISABEL RODRIGUEZ GARCÍA

ASESOR:

M. en C. Asdrúbal López Chau

M. en C. José Carlos Quezada Quezada

TIZAYUCA, HIDALGO. ENERO DE 2009

DEDICATORIAS

**A MIS PADRES POR
TODO SU APOYO Y
DILIGENCIA. QUE GRACIAS
A ELLOS SOY LA PERSONA
QUE AHORA SOY.**

**A MIS HERMANOS POR ESTAR
SIEMPRE A MI LADO, POR SU AMOR Y
CARIÑO LES DOY LAS GRACIAS POR CREER
EN MI.**

**A ALEJANDRO QUE HA SIDO UN
APOYO INCONDICIONAL, POR AYUDARME,
ORIENTARME. Y SOBRE TODO POR ESTAR
CONMIGO EN TODO MOMENTO.**

**A MIS ASESORES Y MAESTROS POR SU
TIEMPO Y DEDICACIÓN, LES DOY LAS
GRACIAS POR SU APOYO Y ENSEÑANZAS
BRINDADAS.**

Índice general

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Justificación	9
Objetivos	10
Objetivos específicos	10
Planteamiento del problema	11
Alcance del trabajo	13
Estructura de la tesina	14
1. Principios básicos	15
1.1. Principios básicos de transporte neumático	15
1.1.1. Transporte neumático por lote en presión	15
1.1.2. Funcionamiento de una bomba neumática	15
1.2. Sensores, transductores y válvulas de control	18
1.2.1. Sensores y transductores	18
1.2.1.1. Interruptor de proximidad	18
1.2.1.2. Interruptor de nivel de tipo paletas	18
1.2.1.3. Transductor	19
1.2.2. Válvulas de control	19
1.2.2.1. Válvula mariposa	20
1.2.2.2. Válvula de compuerta	20
1.3. Los autómatas programables	21
1.3.1. Definición de un controlador lógico programable (PLC)	21
1.3.2. Arquitectura y configuración de PLC	22
1.3.3. Descripción general del MicroLogix 1500 Allen Bradley	23
1.3.3.1. Componentes del controlado MicroLogix 1500	24

1.3.3.2.	Conexión de módulos de entradas y salidas.	25
1.3.4.	Introducción a la programación de PLC	29
1.3.4.1.	Lenguajes de programación	29
1.3.4.2.	Programación en escalera	30
1.4.	Herramienta de automatización: Grafcet	31
1.4.1.	Elementos del Grafcet	31
1.4.1.1.	Reglas del Grafcet:	32
2.	Sistema propuesto	33
2.1.	Diagrama de proceso	33
2.2.	Índice de entradas y salidas	35
2.3.	Hardware propuesto	38
2.4.	Ingeniería de detalle	39
2.4.1.	Módulo base	39
2.4.2.	Módulos de entradas digitales	41
2.4.3.	Módulos de salidas digitales	43
2.4.4.	Módulos de entradas analógicas	45
2.5.	Grafcet del proceso	46
2.6.	Descripción del Grafcet	49
2.7.	Alarmas del sistema	51
2.8.	Programa de PLC del proceso	54
	Conclusiones y trabajos a futuro	57
	Bibliografía	57
	Glosario	59
	Apéndice	61

Índice de figuras

1.	Diagrama del proceso	12
1.1.	Bomba neumática	16
1.2.	Componentes de una bomba neumática	17
1.3.	Interruptor de tipo paleta	18
1.4.	Conversión de una señal analógica por un transmisor y un transductor	19
1.5.	Válvula mariposa	20
1.6.	Válvula de compuerta	21
1.7.	Esquema de un Controlador Lógico Programable (PLC)	22
1.8.	Esquema básico de un Controlador Lógico Programable (PLC)	23
1.9.	Controlador Lógico Programable Micrologix 1500	24
1.10.	Conexión eléctrica de la tarjeta 1769-IA16	26
1.11.	Conexión eléctrica del módulo 1769-IA8I	27
1.12.	Conexión eléctrica de la tarjeta 1769-OA16	28
1.13.	Conexión eléctrica del módulo 1769-IF4	29
1.14.	Etapa inicial del Grafcet	31
1.15.	Etapa entemedia del Grafcet	31
1.16.	Transiciones del Grafcet	32
1.17.	Líneas del Grafcet	32
1.18.	Procesamiento en paralelo de un Grafcet	32
2.1.	Diagrama detallado del proceso	34
2.2.	Hardware propuesto	38
2.3.	Diagrama eléctrico de entradas del módulo base MicroLogix1500	39
2.4.	Diagrama eléctrico de salidas del módulo base MicroLogix1500	40
2.5.	Diagrama eléctrico del módulo de 16 entradas digitales	41
2.6.	Diagrama eléctrico del módulo de 8 entradas digitales	42
2.7.	Diagrama eléctrico del módulo de 16 salidas digitales	43
2.8.	Diagrama eléctrico del módulo de 16 salidas digitales	44
2.9.	Diagrama eléctrico del módulo de entradas analógicas	45
2.10.	Grafcet del proceso en las etapas de inicio de secuencia	46
2.11.	Grafcet de proceso en las etapas de secuencia de carga en estado normal	47
2.12.	Grafcet del proceso en las etapas de toma de desiciones	48
2.13.	Gráfico del proceso	52

2.14. Subrutina: Activación de salidas del programa	54
2.15. Subrutina: Bits del programa	54
2.16. Subrutina: TIMERS del programa	55
2.17. Subrutina: Alarmas del programa	55
2.18. Subrutina: Secuencia del programa	55
2.19. Subrutina: IDTOL/MS del programa	56

Índice de cuadros

1.	Nomenclatura de diagrama de proceso	12
1.1.	Fase de llenado de una bomba neumática	16
1.2.	Fase de presurizado de una bomba neumática	16
1.3.	Fase de descarga de una bomba neumática	17
1.4.	Fase de barrido de una bomba neumática	17
2.1.	Índice de entradas digitales	35
2.2.	Índice de entradas y salidas digitales	36
2.3.	Índice de salidas digitales	37
2.4.	Índice de entradas analógicas	37
2.5.	Alarmas del proceso	52

Resumen

Los controladores lógicos programables (PLC), son dispositivos electrónicos capaces de automatizar un equipo, máquina o proceso productivo, que requiera de un control automático, para proveer la seguridad tanto del personal operario, del equipo y de la producción misma.

El presente proyecto consiste en la automatización del transporte de materia prima granulada desde un silo principal hasta tres tolvas de abastecimiento instaladas cerca un horno de fundición de vidrio, por medio de un PLC. Es importante aclarar que el control posterior a las tres tolvas dosificadoras no es parte del presente proyecto, ya que este proceso es controlado por otro dispositivo de control.

La materia prima es transportada en un semirremolque hasta un silo de almacenamiento, dicha materia prima es descargada por medio de un motosoplador propio del semirremolque hacia el silo principal, una vez que el silo principal contenga materia prima, el operador del sistema elige el destino de la materia prima almacenada en el silo (tolva 1, tolva 2 o tolva 3) y uno de dos motosopladores para el transporte de materia prima, manteniendo siempre el control del proceso por medio de sensores de nivel instalados en las tolvas receptoras y en el silo mismo, de igual manera el accionamiento de los equipos colectores de polvo y la bomba misma dependen del control del sistema.

Para la automatización de este proceso es utilizado un PLC MicroLogix 1500 de la marca Allen Bradley y programado con el software RSLogix 500. Se analiza el proceso a controlar para determinar las señales a utilizar; posteriormente se realiza el diagrama de la secuencia del proceso utilizando el Grafset; este es una herramienta que ayuda a conceptualizar el proceso facilitando la programación.

Abstract

Programmable logic controllers (PLC) are electronic devices capable of automating any equipment, machinery or productive process that require of an automatic control, providing with safety to the workers, to the equipment and of the production itself.

This project is about the automation of the transport of granulated raw material from a principal container up to three chutes of supply installed nearby a glass smelting furnace, by means of a PLC. It is important to clarify that the control later for three little container is not a part of the present project, since this process is controlled by another device of control.

The raw material is transported in a tow ship up to a container of storage, the above mentioned raw material is unloaded by means of an proper motosoplador of the tow ship towards the main container, as soon as the last one contains raw material, the operator of the system chooses one of two motosopladores for the operation of the system, determining before the little container that will be directed the raw material of an automatic way, supporting always the control of the process by means of level sensors installed in the receiver container and in the silo itself, of equal way the operation of the equipments collectors of powder and the bomb itself they depend on the control of the system.

For the automation of this process a PLC MicroLogix 1500 is used, and programmed with the RSLogix 500 software. The process is analyzed to determine the signals to use; then the Grafcet of the process is realized to controlling. The Grafcet is a tool that helps to conceptualize the process facilitating the programming.

Introducción

La automatización de los procesos y sistemas productivos evoluciona rápidamente, lo que propicia que el manejo de los equipos y sistemas de producción tengan una mayor rapidez y precisión en el desarrollo de su proceso de operación, facilitando su mantenimiento al dejar de existir dispositivos mecánicos que accionen los procesos, siendo reemplazados por equipo neumático y electrónico.

El proceso de fabricación de vidrio tiene su inicio en la recepción de materias primas (soda ash, arena sílica, etc.), esta materia prima se almacena en contenedores propicios para el manejo de este material llamados silos (40-60 Toneladas), posteriormente la materia prima será llevada al proceso de fundición y fabricación de vidrio; la parte controlada por el PLC abarca desde la recepción de materias primas, en donde el silo es llenado por medio de un semirremolque, (para el control del semirremolque sólo es necesario encender el colector de polvos, el llenado se hace en automático desde el semirremolque), hasta la dosificación a las tres tolvas dispensadoras, utilizando este sistema dos motosopladores y una bomba neumática, controlados por el PLC.

El sistema de dosificación de materia prima debe trabajar en continuamente para no parar el horno porque el costo de arranque es demasiado elevado debido a que su precalentamiento requiere de 5 a 6 días; por lo tanto, la dosificación de la materia prima debe de ser controlada, precisa y constante durante el desempeño de la producción, de lo contrario se desarrollaría la producción de una manera ineficiente, al tener que interrumpir los procesos de manufactura por desabasto de la misma materia prima.

Justificación

El almacenamiento de materiales a granel tiene gran ventaja para industrias como la de fabricación de vidrio que en su proceso involucra toneladas de materiales al día.

Para la industria de manufactura de vidrio, la arena silica -principal materia prima- es comúnmente almacenada en sacos con capacidad de 200 kg, lo que genera grandes costos anuales de almacenamiento, mano de obra, y además un riesgo humano constante, ya que se tienen que transportar desde el almacén hasta el horno de fundición.

Para estas empresas se propone una solución a este problema, mediante la automatización del almacenamiento de sus materias primas en contenedores (silos) y del transporte de las mismas hacia otros contenedores (tolvas) de menor capacidad que se encuentran al pie del proceso, lo que da como resultado una disminución de los costos de transporte y también del riesgo en el personal.

Objetivo

Automatizar el sistema de control de una bomba neumática perteneciente a un sistema de transporte neumático mediante el controlador lógico programable MicroLogix 1500 de la marca de Allen Bradley para reducir los costos de almacenamiento de materia prima y tiempo de transportación desde el almacén hasta el área del proceso de una empresa manufacturera de vidrio.

Objetivos específicos

- Analizar el proceso de transporte de materia prima de una empresa manufacturera de vidrio que consta de la descarga de un silo hacia tres tolvas contenedoras (Tolva 1, Tolva 2 o Tolva 3).
- Construir el Graficet del proceso analizado
- Programar el PLC MicroLogix 1500 mediante el software RSLogix500 en lenguaje escalera.

Planteamiento del problema

En las industrias manufactureras de vidrio se utiliza la arena como elemento principal, misma que tiene que ser almacenada en depósitos especiales (silos generalmente) para su posterior distribución hacia máquinas que se encargan de mezclar en proporciones apropiadas la arena con otras sustancias así como del proceso de fundido.

Es común que desde el depósito principal, el cual contiene gran cantidad de materia prima, se transporte hacia otros contenedores más pequeños (secundarios) utilizando transporte neumático para eficientizar el sistema y que la tubería no se degrade aprovechando la técnica del lote lo que permite un transporte más rápido.

Algunos de los puntos más importantes en el proceso de fabricación es asegurar el suministro continuo de materia prima, ya que el horno de fundición no puede dejar de operar por razones de costo. En otras palabras los contenedores secundarios nunca deben estar vacíos.

En este trabajo se diseña un sistema para automatizar el proceso del llenado de los contenedores secundarios también llamados tolvas, utilizando un controlador lógico programable MicroLogix 1500

En la Figura 1 se observa el proceso a automatizar. El cual consiste en el llenado de tres tolvas (T1, T2 y T3) desde un silo de almacenamiento mediante el transporte neumático por presión por lote. El llenado del silo se hace por semirremolque por lo que sólo es necesario encender el colector de polvo del silo para evitar que los polvos salgan al exterior o presurizar. Para ello se necesita un medio el cual genere presión y lograr el envío de materiales este medio es una bomba neumática. Cada tolva tiene dos interruptores de niveles de tipo paletas, un nivel alto que permite parar la secuencia de la carga y otro nivel bajo que es una alarma al proceso porque indica que ya no hay material en la tolva.

El llenado de las tolvas solo se puede hacer una a la vez debido a que se tiene una válvula diversora que posiciona en dirección seleccionada.

Se tienen dos motosopladores debido a que en caso de falla de alguno de los dos, el otro actúe en caso de emergencia. El motosoplador ayuda a presurizar la bomba neumática y permitir el envío de la materia prima (arena sílica), otro motosoplador es usado como respaldo en caso de que uno de los dos falle.

Se tiene un sistema de la carga y la descarga de una bomba neumática hacia tres tolvas, el cual requiere de automatización mediante un programa que permita el mejor uso del sistema, con interfaces que permitan la visualización y manipulación del proceso. El Cuadro 1 hace referencia a la descripción de la nomenclatura del diagrama del proceso.

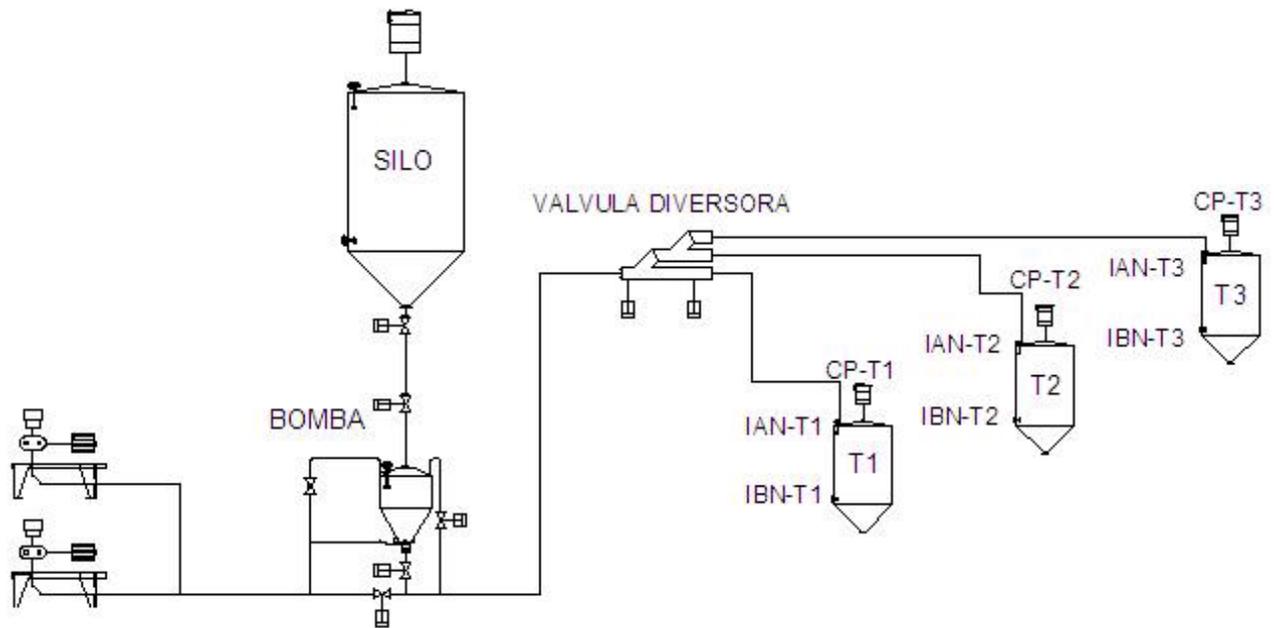


Figura 1: Diagrama del proceso

TAG	DESCRIPCIÓN
MS1	Motosoplador 1
MS2	Motosoplador 2
CP-S	Colector de polvos de silo
IAN-S	Indicador de alto nivel de silo
IBN-S	Indicador de bajo nivel de silo
T1	Tolva 1
CP-T1	Colector de polvos de tolva 1
IAN-T1	Indicador de alto nivel de tolva 1
IBN-T1	Indicador de bajo nivel de tolva 1
T2	Tolva 2
CP-T2	Colector de polvos de tolva 2
IAN-T2	Indicador de alto nivel de tolva 2
IBN-T2	Indicador de bajo nivel de tolva 2
CP-T3	Colector de polvos de tolva 3
T3	Tolva 3
IAN-T3	Indicador de alto nivel de tolva 3
IBN-T3	Indicador de bajo nivel de tolva 3

Cuadro 1: Nomenclatura de diagrama de proceso

Alcance del trabajo

El control consiste en el desarrollo de un programa en el PLC MicroLogix 1500 de Allen Bradley en el software RSLogix500, se consideran interfaces con el sistema mediante botones físicos que permiten la elección de una de las tres tolvas a cargar, la selección de uno de los dos motosoplador a utilizar y el encendido del colector de polvos para el llenado del silo. La interfaz hombre-máquina es a través de luces que indican el estado de los dispositivos, los niveles de llenado del silo y de las tolvas. No se incluye ninguna automatización en el proceso de la descarga de las tolvas, ya que esto es controlado por otro sistema.

Estructura de la tesina

El capítulo uno contiene la información necesaria para que el lector comprenda los términos planteados, así como la descripción de los equipos usados en el trabajo y la descripción de las herramientas técnicas y teóricas usadas.

El capítulo dos representa el desarrollo de la solución del problema, en este se analiza el proceso y se determinan el número de señales para el diseño de la arquitectura de control; posteriormente se elabora el Grafcet y la programación del proceso.

Capítulo 1

Principios básicos

1.1. Principios básicos de transporte neumático

El transporte neumático es el transporte de materiales secos a través de una tubería utilizando aire o gas como fuerza para moverlo.

Es de gran utilidad ya que se puede transportar a largas distancias y manejar varios tipos de materiales.

Existen dos tipos de transporte neumático. En fase diluida y en fase densa.

El transporte en fase densa es el transporte en el cual la velocidad del aire o gas es menor a la velocidad de saltación del material transportado. Utilizándose este método para materia prima del cual no se tiene que degradar.

El transporte en fase diluida es un transporte en el cual la velocidad del aire o gas de transporte es igual o mayor a la velocidad de saltación del material transportado.

Ambos tipos manejan transporte por lote, vacío, continuo y presión.

1.1.1. Transporte neumático por lote en presión

En un sistema de presión positiva, se toma aire del puerto de salida a presión de un soplador y se utiliza para transportar material a través de una tubería. La alimentación de material a la línea de transporte se realiza por medio de aplicar presión (presurizar) a un recipiente llamado bomba neumática (ver Figura 1.1), dentro de la cual se introduce material, de tal forma que este recipiente es la zona de alta presión del sistema de transporte.

1.1.2. Funcionamiento de una bomba neumática

El funcionamiento de una bomba neumática se compone de 4 fases:

Fase de llenado: Consiste en llenar la bomba neumática, por medio de gravedad, vacío o un tornillo helicoidal. El indicador de alto nivel de la bomba nos ayuda a detectar que la bomba, esta acción nos ayuda que cambie a la siguiente fase. Esto consiste en la siguiente operación de las válvulas como se muestra en el Cuadro.1.1.

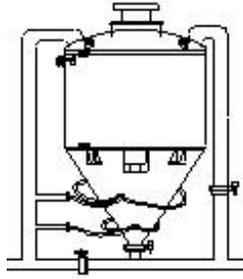


Figura 1.1: Bomba neumática

DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		POSICIÓN
A	Válvula de llenado	Abierta
B	Válvula de descarga	Cerrada
C	Válvula para aire de transporte	Cerrada
D	Válvula aire adicional	Abierta
E	Indicador de nivel	Sin accionar

Cuadro 1.1: Fase de llenado de una bomba neumática

Fase de presurizado: Se introduce aire a la bomba neumática por medio de un motoplador hasta alcanzar una presión predeterminada (máximo hasta 15 PSIG). La posición de las válvulas está definido en el Cuadro 1.2

Fase de descarga: Se envía material hacia su destino buscando mantener un diferencial mayor dentro de la bomba neumática que el punto de destino. Hasta que por falta de material la presión dentro de ella cae. El Cuadro 1.3 muestra el estado de las válvulas en esta fase.

Fase de barrido: Una vez que prácticamente se descargó el material, se realiza un presurizado y descarga, para dejar lo más posible limpia tanto la bomba neumática como la tubería de transporte. El Cuadro 1.4 nos muestra el estado de las válvulas en esta fase.

DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		POSICIÓN
A	Válvula de llenado	Cerrada
B	Válvula de descarga	Cerrada
C	Válvula para aire de transporte	Cerrada
D	Válvula aire adicional	Cerrada
E	Indicador de nivel	Accionado

Cuadro 1.2: Fase de presurizado de una bomba neumática

DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		POSICIÓN
A	Válvula de llenado	Cerrada
B	Válvula de descarga	Abierta
C	Válvula para aire de transporte	Abierta
D	Válvula aire adicional	Abre-cierra
E	Indicador de nivel	Sin accionar

Cuadro 1.3: Fase de descarga de una bomba neumática

DESCRIPCIÓN DE EQUIPO		POSICIÓN
A	Válvula de llenado	Cerrada
B	Válvula de descarga	Abierta
C	Válvula para aire de transporte	Abierta
D	Válvula aire adicional	Abierta
E	Indicador de nivel	Sin accionar

Cuadro 1.4: Fase de barrido de una bomba neumática

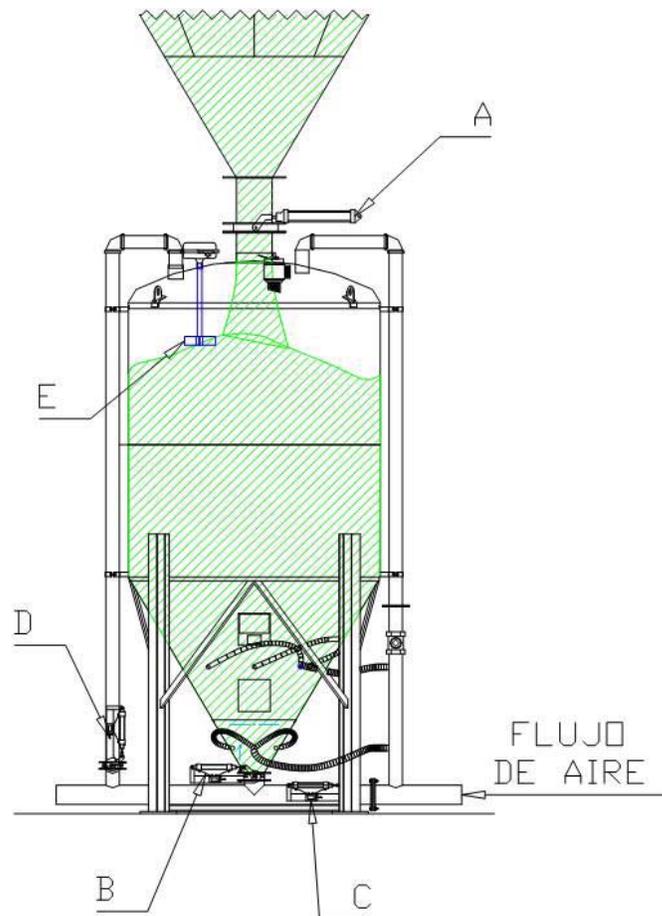


Figura 1.2: Componentes de una bomba neumática

1.2. Sensores, transductores y válvulas de control

1.2.1. Sensores y transductores

Un sensor es un dispositivo que produce una señal generalmente eléctrica, relacionada con la cantidad o característica que se está midiendo y un transductor se define como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio en una proporción determinada. El sensor se conecta físicamente a un transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa para transmitirla al controlador.

Existen dos grupos de sensores:

- El sensor analógico; este entrega una salida variable dentro de un determinado rango, como por ejemplo un sensor que mida la intensidad de la luz.
- El sensor digital; es aquel que entrega una salida del tipo discreta. Es decir es un sensor que da una salida en un rango específico pero sus intervalos son específicos.

1.2.1.1. Interruptor de proximidad

Existen diversos tipos de interruptores de proximidad que se activan por la presencia de un objeto que sirven como sensores de proximidad, que generan una salida de 0 ó 1, activado o desactivado.

Un micro interruptor es un pequeño interruptor eléctrico que requiere un contacto físico y una pequeña fuerza de acción para cerrar los contactos.

1.2.1.2. Interruptor de nivel de tipo paletas

Este tipo de indicador es normalmente usado para la medición de los materiales a granel, especialmente para polvos, materiales granulares, y medios viscosos como arena, pequeños componentes, etc. Este interruptor de paleta se puede montar por encima o por un lado de contenedor del silo como lo muestra la Figura 1.3.

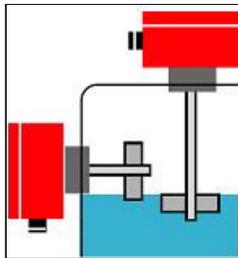


Figura 1.3: Interruptor de tipo paleta

1.2.1.3. Transductor

Los dispositivos de campo como los sensores analógicos o transductores son conectados a los transmisores para que estos envíen al módulo de entrada del PLC una señal analógica. Un transductor convierte una señal de campo (temperatura, presión, etc) a una señal eléctrica pequeña (corriente o voltaje) que puede ser amplificada por un transmisor.

En la Figura 1.4 se observa el comportamiento del transductor en el sistema de control.

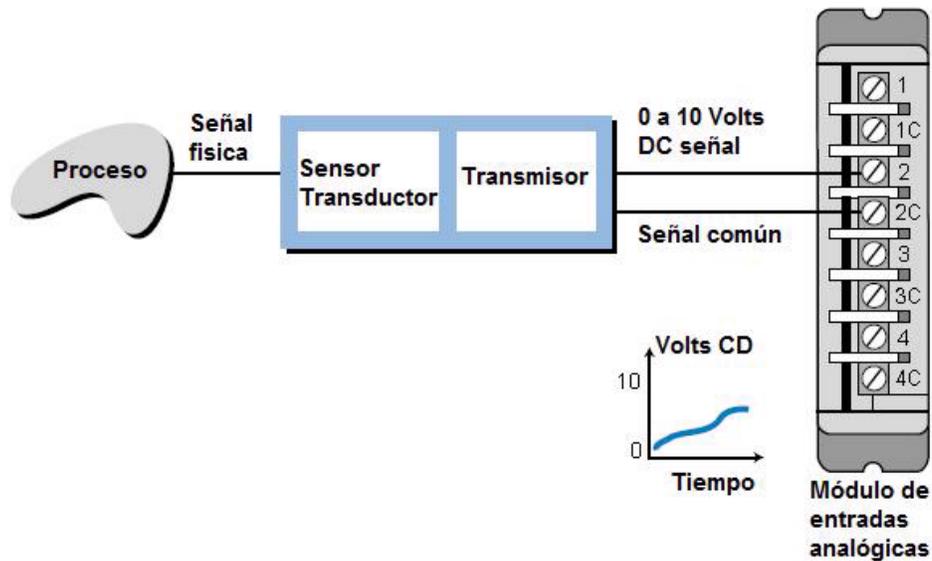


Figura 1.4: Conversión de una señal analógica por un transmisor y un transductor

1.2.2. Válvulas de control

En la industria es necesaria la regulación de la fluidez de agua, materiales a granel, polvo etc. para ello se utilizan las válvulas. Con estas válvulas podemos controlar los caudales de las distintas corrientes implicadas en el proceso.

Existen diferentes tipos de válvulas y cada una tiene una función específica, las cuales son las siguientes:

- Válvulas automáticas.

Estas válvulas tienen la característica de accionarse remotamente con la ayuda de un accionador como lo puede ser neumático o un servomotor. El tipo más extendido es el de accionamiento neumático, recurriendo al uso de servomotores en aplicaciones donde es necesario aplicar grandes esfuerzos.

Si existe alguna falla en el suministro de aire comprimido según el diseño de la válvula pasarán a la posición cerrada (fallo cierra), mientras que existen otras en la que ante esta situación irán a posición abierta (fallo abre).

- Válvulas manuales.

Este tipo de válvulas el accionamiento la realiza forzosamente el usuario. La fuerza que se necesita para moverla es ejercida directamente sobre ella un operador, existiendo diversos mecanismos de transmisión de la fuerza como pueden ser reductores, trenes de engranajes a través de los cuales se transforma la acción humana en una variación de la posición del obturador. Debido que no es posible su accionamiento remoto estas válvulas solo se utilizan como medios de seguridad y en líneas donde no es necesario una regulación frecuente ya que en casos donde el accionamiento de regulación frecuente se utilizan válvulas automáticas.

1.2.2.1. Válvula mariposa

Las válvulas de mariposas son unas válvulas muy versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a los múltiples requerimientos de la industria; como tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un coste relativamente bajo. [3]

Inicialmente se usaba para poca presión, sus mejoras tecnológicas permitieron usarlas en altas presiones.

Su funcionamiento básico consiste en girar el disco 90° para abrirla por completo. El actuador puede ser manual o automático con posibilidad de automatización. En la Figura 1.5 se muestra un dibujo de una válvula mariposa abriendo.

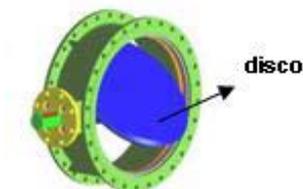


Figura 1.5: Válvula mariposa

1.2.2.2. Válvula de compuerta

Una válvula de compuerta es comúnmente llamada de guillotina. Es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción.

Se puede operar mediante volante, con llave, con eje de extensión o con accionamiento eléctrico. En la Figura 1.6 nos muestra que la válvula de compuerta tiene una guillotina que actúa para tapar el conducto o tubería.



Figura 1.6: Válvula de compuerta

1.3. Los autómatas programables

El uso de la tecnología hace a los procesos más eficientes cada día, ya sea una sola máquina o el control de toda una planta. Ayudándonos a eliminar tiempos muertos, al ahorro en tiempo y mano de obra, menos riesgos en trabajos peligrosos, menos retrasos en tiempos de entrega. Esto se puede lograr automatizando los procesos.

El control ha evolucionado a través del tiempo. Desde que la mano de obra humana era la que controlaba los sistemas, posteriormente el control se hacía mediante el uso de relevadores que conectados físicamente de una manera lógica controlaban maquinaria, los cuales aún se pueden ver en la industria para pequeñas máquinas o máquinas antiguas.

Al evolucionar rápidamente la tecnología de la computadora trajo consigo el uso de un equipo que fuera capaz de realizar el control de una planta, esto fue en 1970. Este computador es llamado Controlador Lógico programable (PLC).

El PLC tiene las siguientes ventajas:

- Bajo costo al controlar sistemas complejos.
- Es flexible, porque puede ser programado fácilmente sin necesidad de recablear, como en el caso de los relevadores.
- El uso de su computadora interna hace un control más exacto.
- Una falla de un PLC puede tardar varios años.

1.3.1. Definición de un controlador lógico programable (PLC)

El término Control Lógico Programable se define en IEC 1131 (Comisión eléctrica internacional), Parte 1, como sigue:

“un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas como enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y cálculo, para controlar, a través de entradas

salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos. Tanto el PLC como sus periféricos asociados están diseñados de forma que puedan integrarse fácilmente en un sistema de control industrial y ser fácilmente utilizados en todas las aplicaciones para las que están previstos”.

Se llama lógico porque tiene que ver con que tiene que ejecutar operaciones lógicas; estas operaciones lógicas son en base a un proceso, al monitorear entradas (como pueden ser sensores) ejecutan un programa que activan en un determinado momento salidas (como motores) como se muestra en la Figura 1.7. Un PLC es muy similar a una computadora, pero con la característica de que es robusto, para poder resistir los factores que envuelven a una empresa (ruido, temperatura, vibraciones, etc).

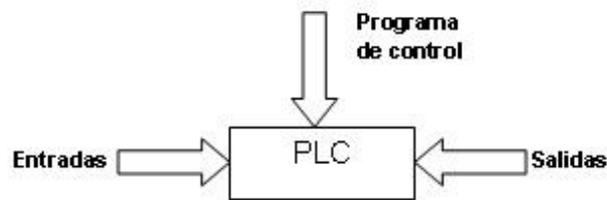


Figura 1.7: Esquema de un Controlador Lógico Programable (PLC)

Existen gran variedad de tipos de PLC para sus diferentes uso y de diferentes marcas, la cual cada una tiene sus ventajas y desventajas, las cuales hay que conocer al elegir un PLC.

1.3.2. Arquitectura y configuración de PLC

La Figura 1.8 muestra la estructura interna básica interna de un PLC consiste en una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entrada/salida. El CPU controla y procesa todas las operaciones dentro de un PLC, las cuales son programadas respecto a lo que se va controlar. Este CPU cuenta con un temporizador que trabaja a una velocidad de 1 a 8 MHz, esta frecuencia determina su velocidad de operación, esta temporización es la fuente de sincronización de los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva datos e información al CPU, memoria y entradas/ salidas. La memoria a igual que las computadoras convencionales tiene una memoria ROM que es utilizada para guardar el sistema operativo, el cual no es posible modificarse, la RAM es para uso del programa a ejecutar y guardar temporalmente los estados de entrada/salida. Cuando exista una falla eléctrica el PLC cuenta con una batería para evitar que el programa que se ejecuta en la RAM no se pierda. En el mercado existen memorias de PLC de diferentes capacidades que se pueden elegir de acuerdo a la complejidad del proceso a controlar y al número de tareas a ejecutar.

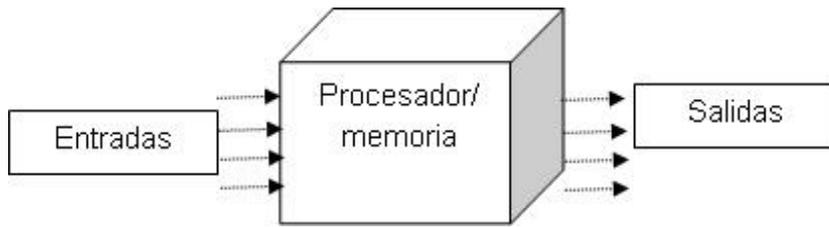


Figura 1.8: Esquema básico de un Controlador Lógico Programable (PLC)

La estructura externa de un PLC puede variar en tres tipos:

- Estructura compacta: es tipo de PLC es representado únicamente por un módulo que contiene todos sus elementos, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc., por lo que no se puede expandir a más tarjetas de entradas. Es usado para procesos o máquinas pequeñas que no crecerán en un futuro.
- Estructura semimodular: es este tipo están separadas las E/S del CPU y fuente de alimentación, de tal modo que es permitido su crecimiento a futuro.
- Estructura modular: un sistema modular es aquel que mediante un BUS (lleva datos y/o alimentación) son conectadas todas las E/S, normalmente ya viene un RACK predefinido para almacenar las tarjetas; este RACK sólo puede contener el número de tarjetas de entrada y/o salida del cual viene de fábrica.

1.3.3. Descripción general del MicroLogix 1500 Allen Bradley

El controlador lógico programable MicroLogix 1500 pertenece a una de las familias de Allen Bradley, que consiste en una base que incluye 24 ó 28 Entradas/Salidas básicas incorporadas a esta unidad base. Se pueden añadir a las E/S incorporadas hasta 8 módulos Compact E/S hasta un máximo de 152 o 156 E/S. Se puede seleccionar de variedad de módulos de entrada y salidas digitales y analógicas. Están disponibles módulos de memoria y/o reloj en tiempo real opcionales. [4] En la Figura 1.9 se muestra la unidad base (A), módulos de entradas y/o salidas digitales y analógicas (B) y un módulo de expansión que consta de una fuente de alimentación a los módulos también llamados tarjetas y los módulos.



Figura 1.9: Controlador Lógico Porgramable Micrologix 1500

Las ventajas de este controlador son las siguientes:

- No requiere de algún tipo de base para su montaje, únicamente de riel din.
- Se puede expandir añadiendo racks conectando un cable de hasta un metro de distancia y una fuente como lo muestra en la Figura 1.9 (C).
- Se programan por medio del software RSLogix 500, el cual es un software que contiene muchas funciones de programación y acelera el desarrollo de la programación.
- Contiene entradas y salidas incorporadas que permiten un desarrollo económico de las aplicaciones de alta velocidad o de control de movimiento sencillas, sin la necesidad de adquirir otro controlador más sofisticado o dedicado.
- Contiene un puerto incorporado RS-232 que acepta los protocolos full-duplex y half-duplex DF1. Se puede conectar a otras redes como Ethernet, DeviceNet, Modbus mediante interfaces de comunicación.
- Facilidad de cableado, instalación o remplazo de tarjetas.
- Se pueden descargar características mejoras al controlador en el paso del tiempo ayudando a proteger la inversión porque no se necesita comprar otro controlador para actualizarlo.

1.3.3.1. Componentes del controlado MicroLogix 1500

Los componentes del sistema MicroLogix 1500, son los siguientes:

- Base (requerida) : Un controlador MicroLogix 1500 debe contener una base que incluye una fuente de alimentación eléctrica y proporciona espacio para la instalación del procesador. Hay disponibles tres bases con una configuración diferente de E/S incorporadas:

- 1764-24AWA: Doce entradas de 120 VCA y doce salidas de relé, alimentación eléctrica de 120 VCA
 - 1764-24BWA: Doce entradas de 24 VCC y doce salidas de relé, alimentación eléctrica de 24 VCC
 - 1764-28BXB: Dieciséis entradas de 24 VCC y seis FET de CC, más seis salidas de relé, alimentación eléctrica de 24 VCC
- Procesador (1764-LSP, requerido): El procesador MicroLogix 1500 es un módulo separado que se coloca sobre base.
 - Módulos de Compact I/O (serie 1769 opcional): Se puede seleccionar de una gran variedad de módulos de entrada y salida digitales y analógicas. Se pueden conectar hasta ocho módulos a la base MicroLogix 1500, según el consumo de corriente y disipación de alimentación eléctrica. Los módulos individuales se instalan a la derecha de la base o a una distancia de hasta un metro usando un cable de expansión (número de catálogo 1769-CRRx ó 1769-CRLx) y una fuente de alimentación eléctrica con número de catálogo 1769-PA2 ó 1769-PB2. Una cubierta terminal (número de catálogo 1769-ECR para un extremo derecho o 1769-ECL para un extremo izquierdo), o un extremo de un cable de expansión se requieren a cada extremo de cada banco de módulos Compact I/O.
 - Otros módulos opcionales como memoria o reloj en tiempo real.

1.3.3.2. Conexión de módulos de entradas y salidas.

La Figura 1.10 muestra la conexión eléctrica de una tarjeta de 16 entradas digitales conectadas a 110 VCA.

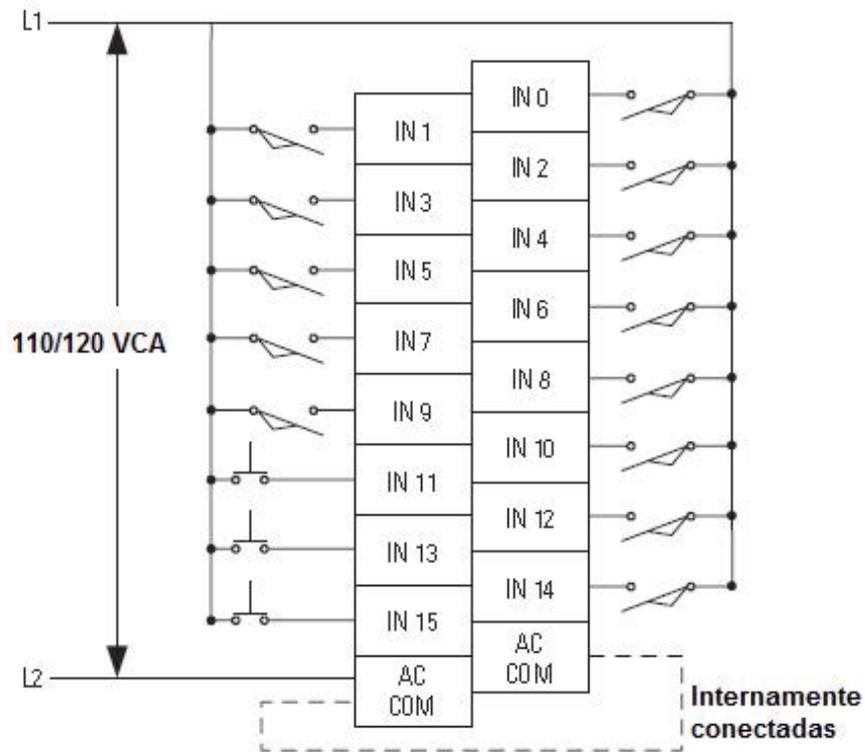


Figura 1.10: Conexión eléctrica de la tarjeta 1769-IA16

La Figura 1.11 muestra la conexión básica de un módulo de 8 entradas digitales aislados a 110 VCA.

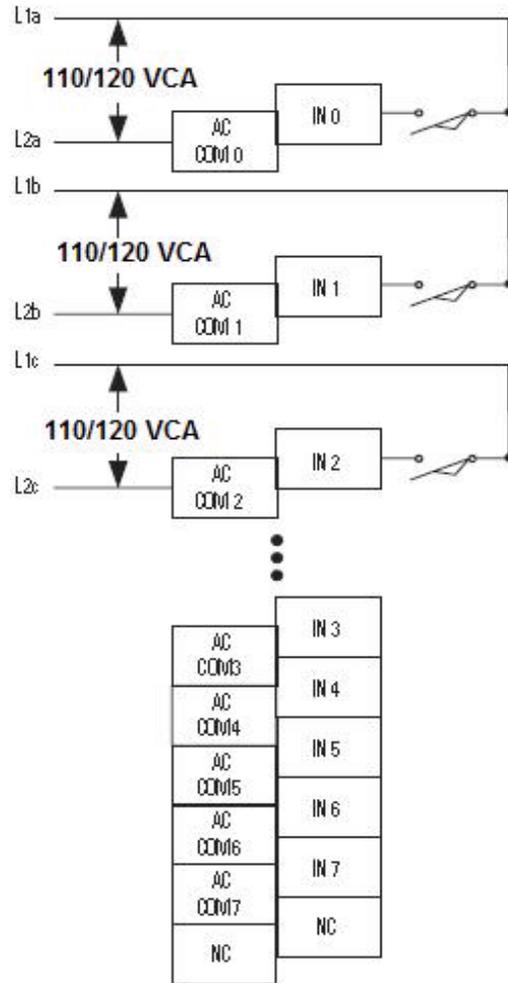


Figura 1.11: Conexión eléctrica del módulo 1769-IA8I

La conexión eléctrica del módulo de salida la muestra la 1.12, esta tarjeta se compone de dos partes las cuales requieren de alimentación cada una.

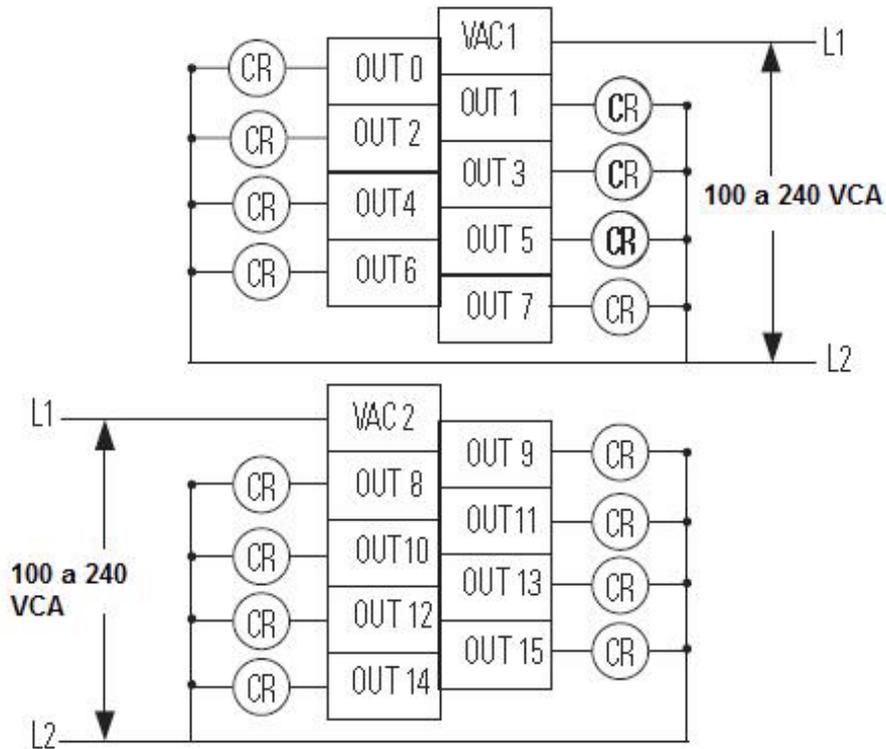


Figura 1.12: Conexión eléctrica de la tarjeta 1769-OA16

La conexión del módulo de entradas analógicas dependerá del uso que se le dé, la Figura 1.13 muestra el tipo de conexión usado para un transmisor de presión.

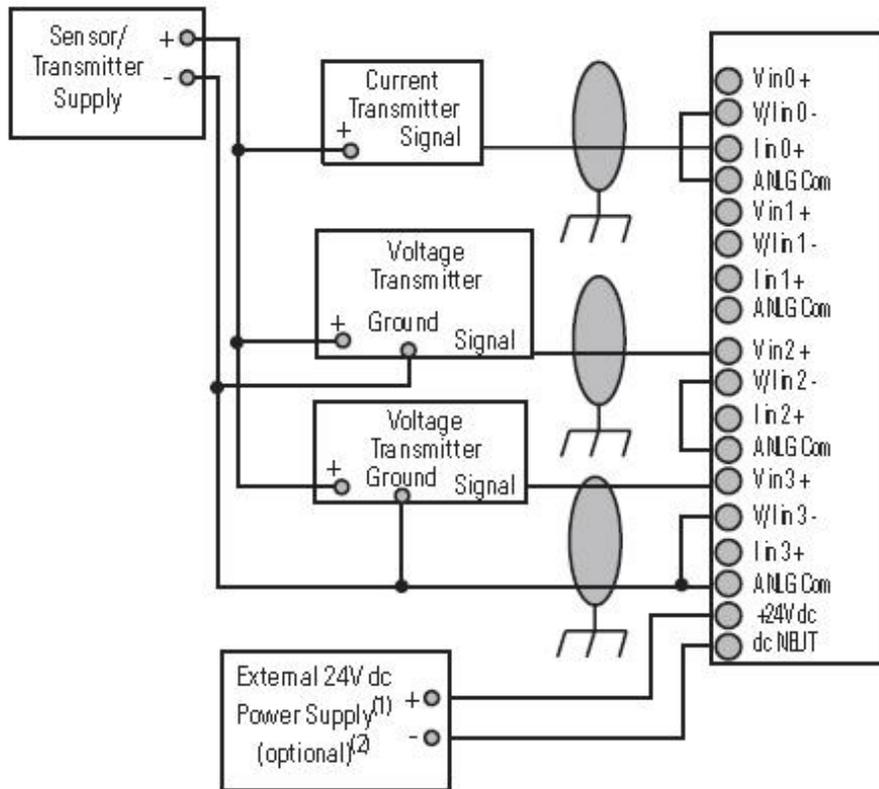


Figura 1.13: Conexión eléctrica del módulo 1769-IF4

1.3.4. Introducción a la programación de PLC

Una de las partes que deben estar bien cuidadas en el control de procesos es la programación. La programación consiste en la estructuración de una serie de instrucciones que entiende PLC. La serie de instrucciones es almacenada en la memoria del PLC, se puede cambiar la memoria cuantas veces sea necesario.

1.3.4.1. Lenguajes de programación

Existen cinco tipos programación, de acuerdo a la norma IEC 61131-3:

- Lenguaje escalera: es una práctica común que consiste en la representación de relevadores en forma lógica.
- Lista de instrucciones: es una programación basada en instrucciones.
- Texto estructurado: es muy similar a la lista de instrucciones pero con la diferencia que en un renglón pueden ir varios tipos de instrucciones.

- Bloque de funciones: método de programación basada en gráficos.
- Gráfico de Funciones Secuenciales (Sequential Function Chart , SFC): es un método gráfico basado en el Grafset.

1.3.4.2. Programación en escalera

La programación en escalera consiste en la elaboración de un programa de manera similar de cómo se dibuja un circuito de contactos eléctricos. Concretamente consiste en un esquema de contactos que al ser activados energizan una bobina (salida).

En un programa se necesitan diferentes tipos de instrucciones para la realización de un programa, los cuales son:

- Contactos y bobinas
- Eventos
- Instrucciones de Tiempo (Timer)
- Contadores
- Manejo de datos
 - Movimientos (move)
- Funciones matemáticas
 - Conversiones
- Funciones lógicas
 - Operaciones booleanas (0 y 1)
 - Comparaciones
- Funciones de lista
 - Corrimiento de registros/de almacenamiento
- Control del programa
 - Branch (rama)/ lazos
 - Entradas/salidas
 - Fallas/detección de interrupción
- Entrada y Salida
 - PID
 - Comunicaciones
 - Contadores de alta velocidad

1.4. Herramienta de automatización: Grafcet

El Grafcet (Gráfico de comandos, etapas y transiciones) surge en Francia con la colaboración de fabricantes de PLC y dos organismos AFCET (Asociación francesa para la cibernética, economía y técnica) y ADEPA (Agencia nacional para el desarrollo de la producción automatizada) y en 1988 fue homologado en Francia, Alemania y posteriormente por la IEC.

“El Grafcet es un diagrama funcional que describe la evolución del proceso que se quiere automatizar”

El Grafcet es una herramienta que ayuda a conceptualizar claramente la secuencia del proceso, ayuda al operador a identificar en la etapa que está el proceso.

1.4.1. Elementos del Grafcet

El Grafcet se compone de:

- **ETAPAS:** Son las acciones del sistema, éstas son de dos tipos; las iniciales (ver la Figura 1.14) que identifican el estado inicial del proceso y la etapa intermedia (ver la Figura 1.15), esta ligada a las acciones que deberán realizarse durante la activación de la etapa.
- **TRANSICIONES:** Simboliza las condiciones que se necesitan para pasar a la siguiente etapa. La Figura 1.16 nos muestra una transición, las cuales se colocan entre las etapas.
- **LINEAS:** Tienen la función de enlazar las transiciones con etapas y etapas con las transiciones. Figura 1.17, pueden ser sencillas o dobles, las dobles son usadas cuando existen dos o más etapas accionadas al mismo tiempo.



Figura 1.14: Etapa inicial del Grafcet



Figura 1.15: Etapa intermedia del Grafcet



Figura 1.16: Transiciones del Grafcet

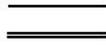


Figura 1.17: Líneas del Grafcet

1.4.1.1. Reglas del Grafcet:

Existen cinco reglas para la realización de un Grafcet:

1. Toda etapa de inicialización se activa de manera incondicional al iniciar una secuencia.
2. Una etapa se define como activable, si la transición precedente se cumple, o sea esta validada y desactiva la etapa anterior.
3. Entre dos etapas sólo puede haber una transición.
4. Divergencia: Cuando una etapa llega a un punto de decisión, el Grafcet sólo puede tomar un camino, dependiendo de la transición que se cumpla.
5. Procesamiento paralelo :
 - a) Varias etapas pueden ser activadas simultáneamente cuando una transición llega a un punto de procesamiento paralelo, ver la Figura 1.18 donde la etapa 12 activa al mismo tiempo a la etapa 13, 14 y 15.
 - b) El procesamiento paralelo puede ser abandonado si se han cumplido todas las etapas de los ramales paralelos y la transición siguiente se cumple, la Figura 1.18 muestra que al cumplirse la etapa 40, 41 y 42 se activará la etapa 43.

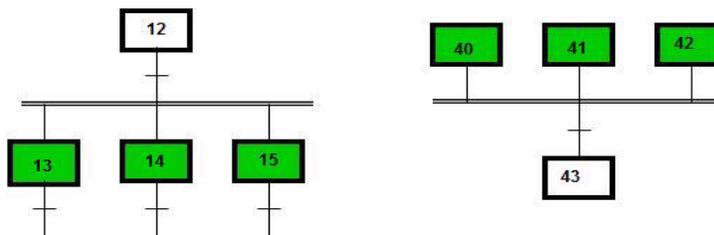


Figura 1.18: Procesamiento en paralelo de un Grafcet

Capítulo 2

Sistema propuesto

2.1. Diagrama de proceso

El diagrama del proceso es útil herramienta porque ayuda a visualizar y entender el sistema a controlar. La figura nos muestra el proceso a controlar, se encuentra. En este diagrama indica los dispositivos a controlar.

El sistema consiste en:

- Llenado del silo por medio de un semiremolque, únicamente se tiene control sobre el colector de polvos.
- Carga de bomba neumática.
- Descarga de bomba neumática hacia tres tolvas.
- Control de la diversora de tres vías para direccionar el destino.
- No se tiene el control de la descarga de las tolvas.

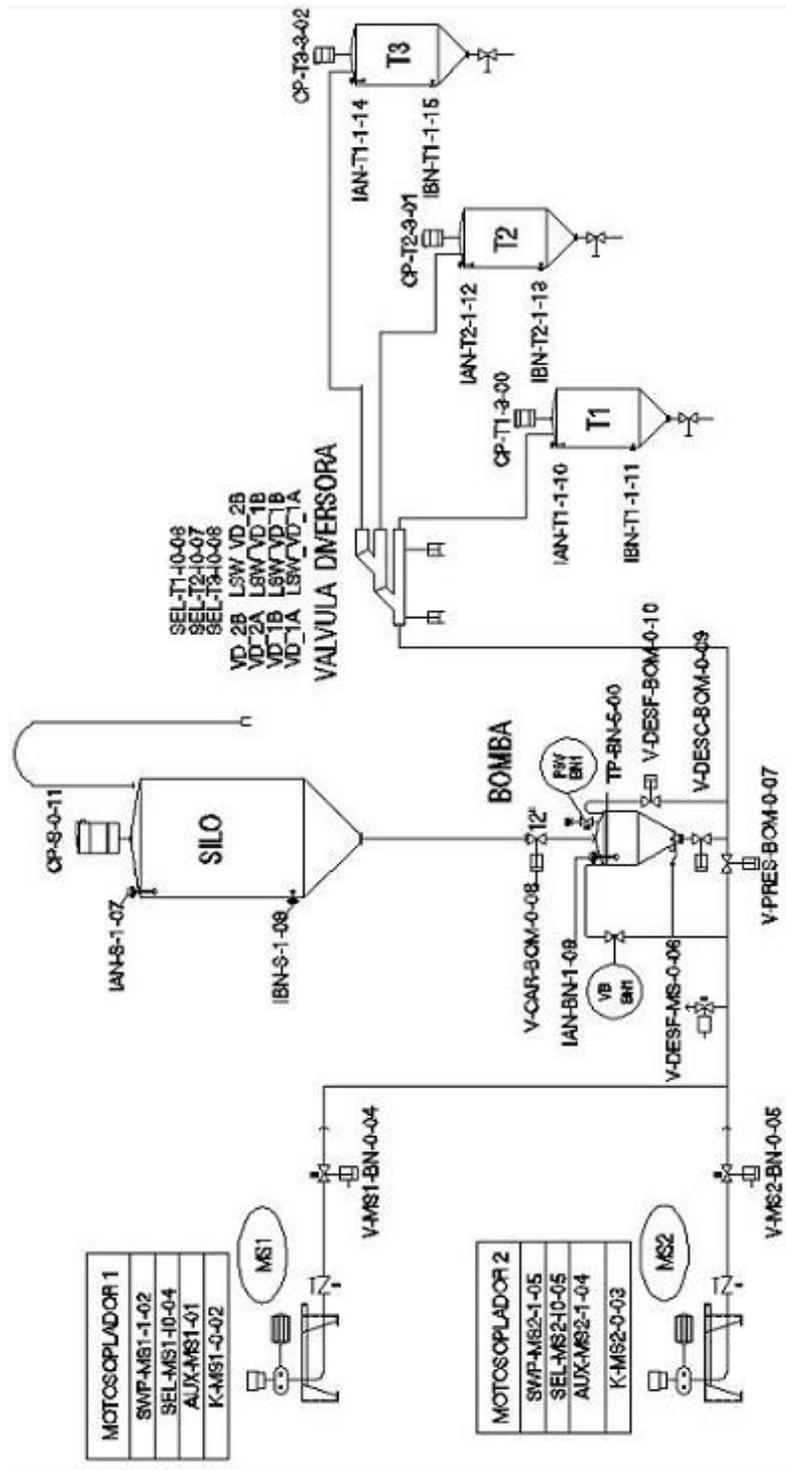


Figura 2.1: Diagrama detallado del proceso

ENTRADAS DIGITALES		
DIR.	TAG	DESCRIPCIÓN
I:0/0	PE	PARO DE EMERGENCIA
I:0/1	CA	BOTÓN DE CALLAR ALARMA
I:0/2	ARR_SEC	ARRANQUE DE SECUENCIA
I:0/3	PARO_SEC	PARO DE SECUENCIA
I:0/4	SEL-MS1	SELECTOR DE MOTOSOPLADOR 1
I:0/5	SEL-MS2	SELECTOR DE MOTOSOPLADOR 1
I:0/6	SEL_T1	SELECTOR DE TOLVA 1
I:0/7	SEL_T2	SELECTOR DE TOLVA 2
I:0/8	SEL_T3	SELECTOR DE TOLVA 3
I:0/9	SEL_BN_MAN	SELECTOR DE BOMBA MANUAL
I:0/10	SEL_BN_AUT	SELECTOR DE BOMBA AUTOMÁTICA
I:0/11	SEL_CP_MAN	SELECTOR DE COLECTOR DE POLVOS MANUAL
I:1/0	SEL_CP_AUTO	SELECTOR DE COLECTOR DE POLVOS AUTOMÁTICO
I:1/1	AUX_MS1	CONTACTO AUXILIAR DE MOTOSOPLADOR 1
I:1/2	SWP_MS1	SWITCH DE PRESION MOTOSOPLADOR 1
I:1/3		DISPONIBLE
I:1/4	AUX_MS2	CONTACTO AUXILIAR DE MOTOSOPLADOR 2
I:1/5	SWP_MS2	SWITCH DE PRESION MOTOSOPLADOR 2
I:1/6		DISPONIBLE
I:1/7	IAN_S	INDICADOR DE ALTO NIVEL SILO
I:1/8	IBN_S	INDICADOR DE BAJO NIVEL SILO
I:1/9	IAN_BN	INDICADOR DE ALTO NIVEL DE BOMBA
I:1/10	IAN_T1	INDICADOR ALTO NIVEL DE TOLVA 1
I:1/11	IBN_T1	INDICADOR DE BAJO NIVEL DE TOLVA 1
I:1/12	IAN_T2	INDICADOR ALTO NIVEL DE TOLVA 2

Cuadro 2.1: Índice de entradas digitales

2.2. Índice de entradas y salidas

A continuación se presentan todos los dispositivos a controlar, válvulas, motores, indicadores de nivel, botonería, auxiliares como retroalimentación para saber si en verdad están encendidos los motores, etc. La dirección representa la ubicación del dispositivo en el PLC, el TAG es una abreviatura del nombre del dispositivo, y la última columna indica una breve descripción del elemento a controlar. En el Cuadro 2.3 se identifica la señal analógica del transmisor de presión, usado para indicarnos la presión en la bomba neumática.

ENTRADAS DIGITALES.....continuación		
DIR.	TAG	DESCRIPCIÓN
I:1/13	IBN_T2	INDICADOR BAJO NIVEL DE TOLVA 2
I:1/14	IAN_T3	INDICADOR ALTO NIVEL DE TOLVA 3
I:1/15	IBN_T3	INDICADOR BAJO NIVEL DE TOLVA 3
I:2/0	SL_VD_1A	SWITCH DE LÍMITE DE PUERTO A DE VÁLVULA DIVERSORA 1
I:2/1	SL_VD_1B	SWITCH DE LÍMITE DE PUERTO B DE VÁLVULA DIVERSORA 1
I:2/2	SL_VD_2A	SWITCH DE LÍMITE DE PUERTO A DE VÁLVULA DIVERSORA 2
I:2/3	SL_VD_2B	SWITCH DE LÍMITE DE PUERTO B DE VÁLVULA DIVERSORA 2
I:2/4		DISPONIBLE
I:2/5		DISPONIBLE
I:2/6		DISPONIBLE
I:2/7		DISPONIBLE
SALIDAS DIGITALES		
O:0/0	ALM	ALARMA SONORA
O:0/1	IL_BOT_DT	LUZ INDICADORA DE BOTON DOBLE TECLA
O:0/2	K_MS1	CONTACTOR DE MOTOSOPLADOR 1
O:0/3	K_MS2	CONTACTOR DE MOTOSOPLADOR 2
O:0/4	V_MS1_BOM	N.C. VÁLVULA DE MOTOSOPLADOR 1 A BOMBA
O:0/5	V_MS2_BOM	N.C. VÁLVULA DE MOTOSOPLADOR 2 A BOMBA
O:0/6	V_DESF_MS	N.C. VÁLVULA DE DESFOGUE MS
O:0/7	V_PRES_BN	N.C. VÁLVULA DE PRESURIZACION DE BOMBA
O:0/8	V_CARGA_BN	N.C. VÁLVULA DE CARGA DE BOMBA
O:0/9	V_DESC_BN	N.C. VÁLVULA DE DESCARGA DE BOMBA
O:0/10	V_DESF_BN	N.C. VÁLVULA DE DESFOGUE DE BOMBA
O:0/11	CP_S	COLECTOR DE POLVO DE SILO
O:3/0	CP_T1	COLECTOR DE POLVO DE TOLVA 1
O:3/1	CP_T2	COLECTOR DE POLVO DE TOLVA 2
O:3/2	CP_T3	COLECTOR DE POLVO DE TOLVA 3
O:3/3	VD_1A	SOLENOIDE DE VÁLVULA DIVERSORA 1 PUERTO A

Cuadro 2.2: Índice de entradas y salidas digitales

SALIDAS DIGITALES		
DIR	TAG	DESCRIPCIÓN
O:3/4	VD_1B	SOLENOIDE DE VÁLVULA DIVERSORA 1 PUERTO B
O:3/5	VD_2A	SOLENOIDE DE VÁLVULA DIVERSORA 2 PUERTO A
O:3/6	IL_MS1	LUZ INDICADORA DE MOTOSOPLADOR 1
O:3/7	IL_MS2	LUZ INDICADORA DE MOTOSOPLADOR 2
O:3/8	IL_IAN_S	LUZ INDICADORA DE INDICADOR DE ALTO NIVEL SILO
O:3/9	IL_IBN_S	LUZ INDICADORA DE BAJO NIVEL SILO
O:3/10	IL_IAN_BN	LUZ INDICADORA DE ALTO NIVEL DE BOMBA
O:3/11	IL_T1	LUZ INDICADORA DE TOLVA 1
O:3/12	IL_T2	LUZ INDICADORA DE TOLVA 2
O:3/13	IL_T3	LUZ INDICADORA DE TOLVA 3
O:3/14	IL_IAN_T1	LUZ INDICADORA DE ALTO NIVEL TOLVA 1
O:3/15	IL_IBN_T1	LUZ INDICADORA DE BAJO NIVEL TOLVA 1
O:4/0	IL_IAN_T2	LUZ INDICADORA DE ALTO NIVEL DE TOLVA 2
O:4/1	IL_IBN_T2	LUZ INDICADORA DE BAJO NIVEL DE TOLVA 2
O:4/2	IL_IAN_T3	LUZ INDICADORA DE ALTO NIVEL DE TOLVA 3
O:4/3	IL_IBN_T3	LUZ INDICADORA DE BAJO NIVEL TOLVA 3
O:4/4	IL_BN	LUZ INDICADORA DE LLENANDO BOMBA
O:4/5	PRES_BOM	LUZ INDICADORA DE PRESURIZANDO BOMBA
O:4/6	DES_BOM	LUZ INDICADORA DESCARGANDO BOMBA
O:4/7	IL_CP_S	INDICACION LUMINOSA DE COLECTOR DE POLVO DE SILO
O:4/8	VD_2B	SOLENOIDE DE VÁLVULA DIVERSORA 2 PUERTO B
O:4/9		DISPONIBLE
O:4/10		DISPONIBLE
O:4/11		DISPONIBLE
O:4/12		DISPONIBLE
O:4/13		DISPONIBLE
O:4/14		DISPONIBLE
O:4/15		DISPONIBLE

Cuadro 2.3: Índice de salidas digitales

SALIDAS DIGITALES		
DIR	TAG	DESCRIPCIÓN
O:5/0	TP-BN	TRANSMISOR DE PRESIÓN DE BOMBA
O:5/1		DISPONIBLE
O:5/2		DISPONIBLE
O:5/3		DISPONIBLE

Cuadro 2.4: Índice de entradas analógicas

2.3. Hardware propuesto

El hardware se selecciona dependiendo del número de entradas y salidas a controlar, así como otros factores. Se tiene un total de treinta entradas digitales a controlar, treinta y siete salidas digitales y una entrada analógica.

Se propone el siguiente hardware para este número de señales es el siguiente:

- A) 1764-24AWA : Unidad base con 12 entradas/ 12 salidas digitales e incluye un procesador con catálogo 1764-LSP y 1764-MM1 Memoria
- B) 1769-IA16 Módulo de 16 entradas digitales
- C) 1769-IA8I Módulo de 8 entradas digitales
- D) 1769-OA16 Módulo de 16 salidas digitales
- E) 1769-OA16 Módulo de 16 salidas digitales
- F) 1769-IF4I Módulo de 4 entradas analógicas
- G) 1769-ECR Terminación de tapa final

La Figura 2.2 identifica el sistema descrito anteriormente:

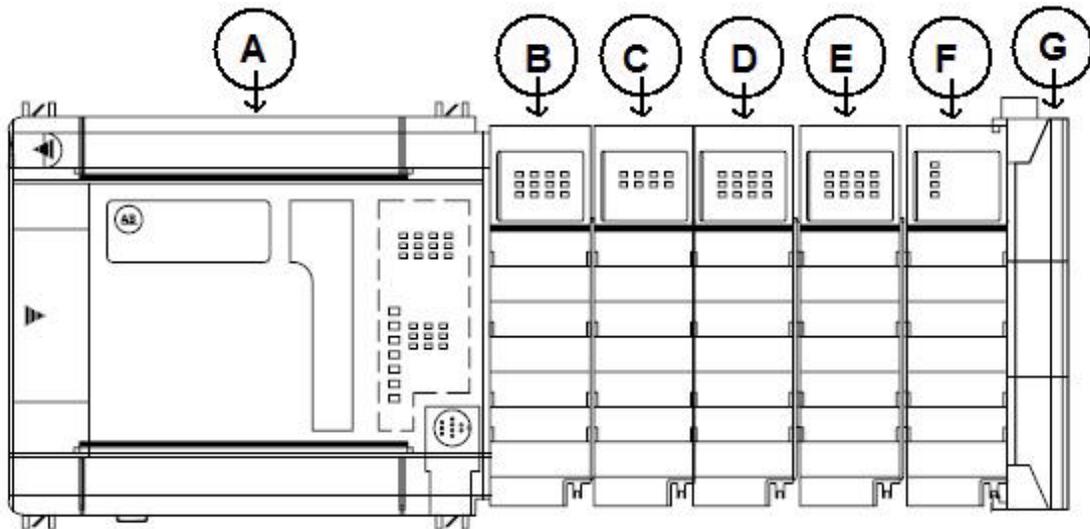


Figura 2.2: Hardware propuesto

2.4. Ingeniería de detalle

En esta parte se muestran esquemas eléctricos para cada módulo utilizado. Es de utilidad para identificar fácilmente los dispositivos a conectar; ilustran cada dispositivo de manera simbólica al punto del módulo conectado y la alimentación eléctrica de los módulos.

2.4.1. Módulo base

Las Figuras 2.3 y 2.4 muestran la conexión eléctrica del módulo base. Como se menciona anteriormente el módulo base incluye doce entradas digitales, se ilustra en la Figura 2.3

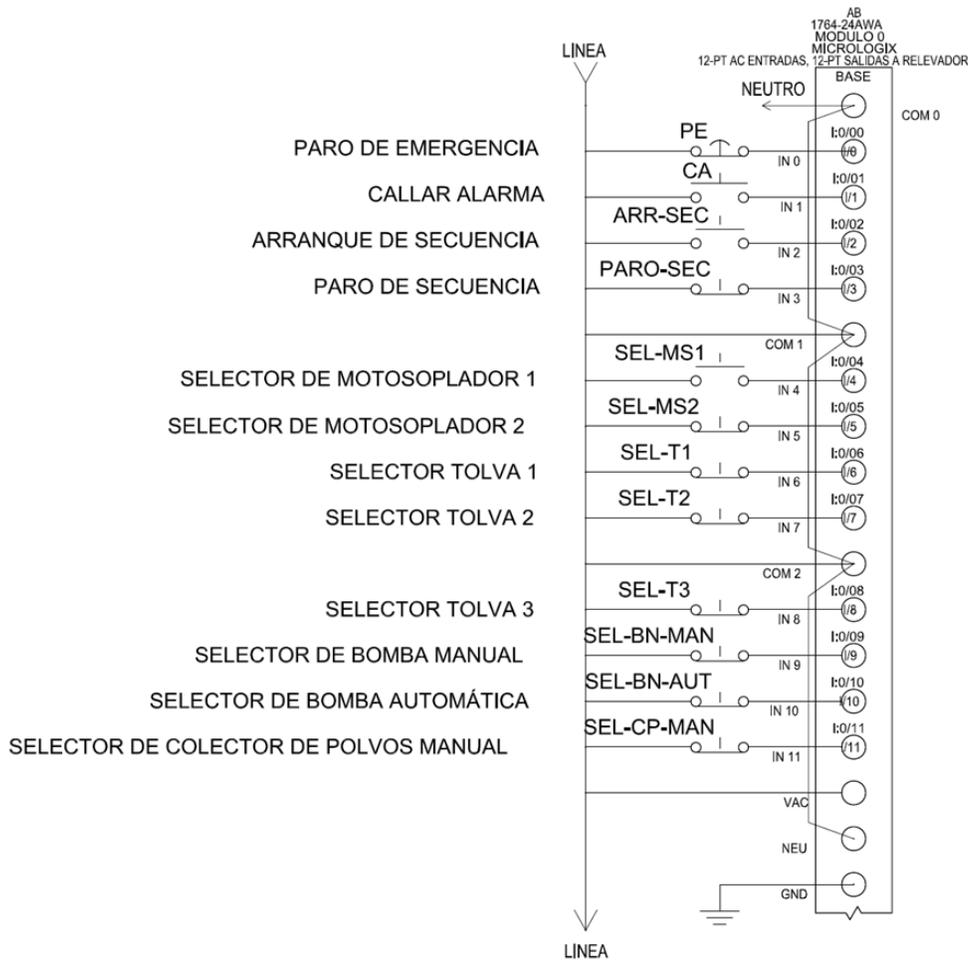


Figura 2.3: Diagrama eléctrico de entradas del módulo base MicroLogix1500

En la Figura 2.4 se muestra la conexión del diagrama eléctrico de salidas digitales del módulo base.

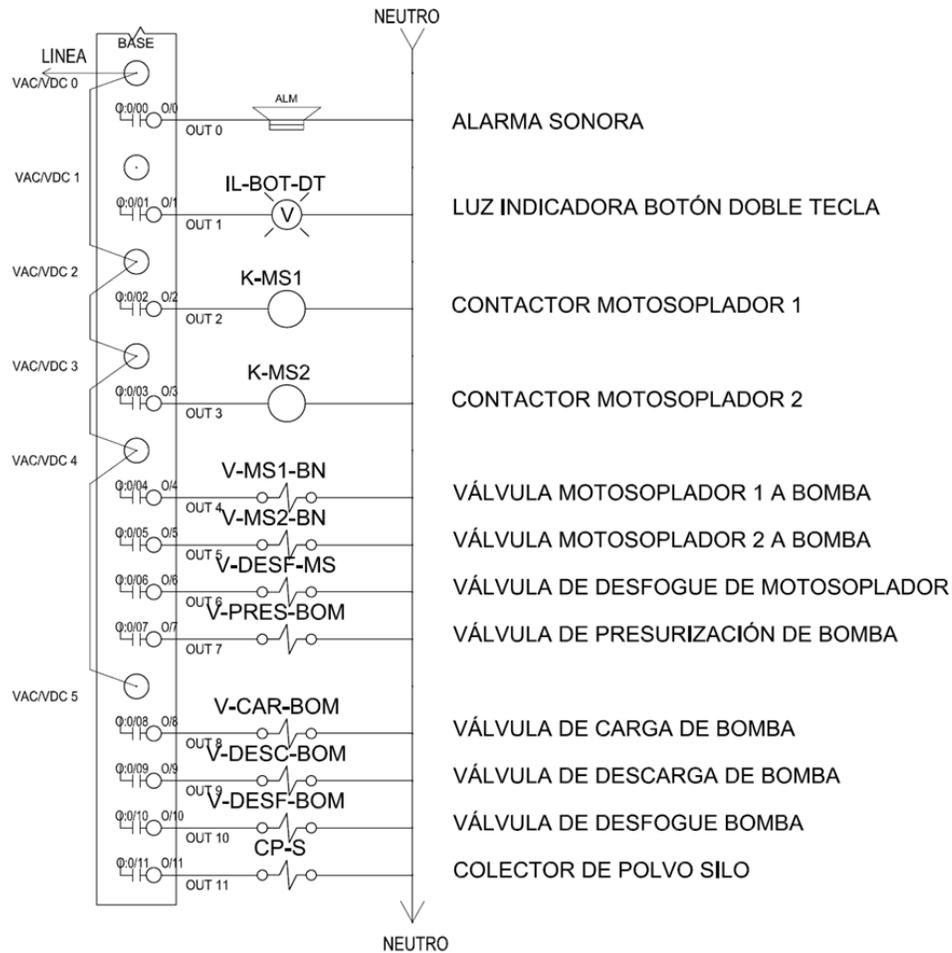


Figura 2.4: Diagrama eléctrico de salidas del módulo base MicroLogix1500

2.4.2. Módulos de entradas digitales

La Figuras 2.5 y 2.6 muestran las entradas utilizadas de los dispositivos, como los sensores de las válvulas, la botonería de mando (selectores), indicadores de nivel, etc.:

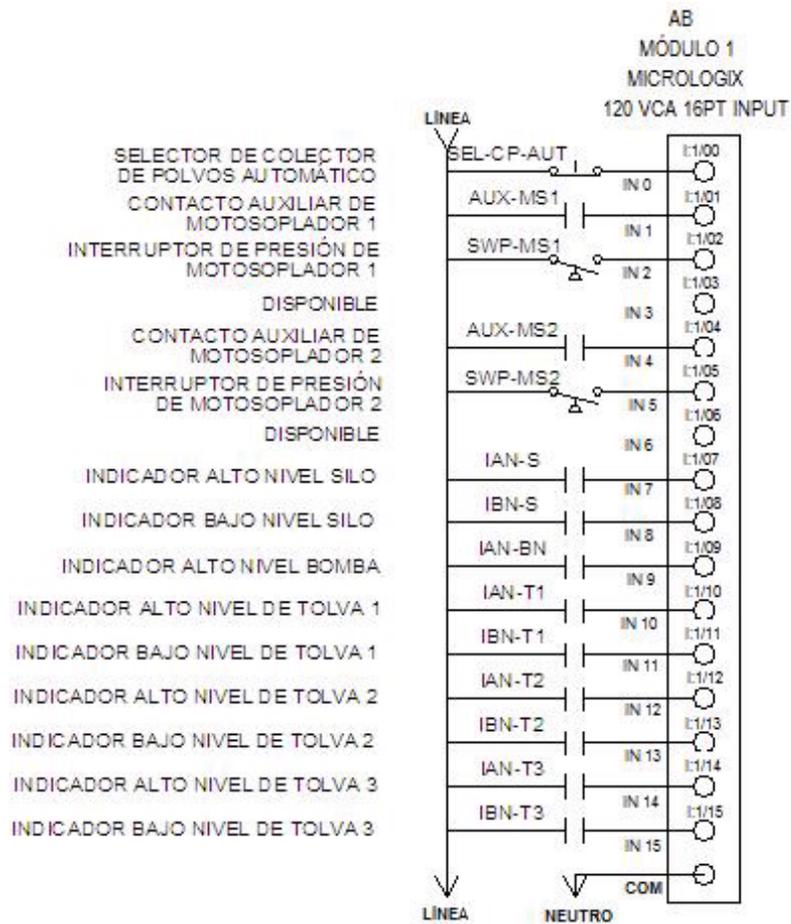


Figura 2.5: Diagrama eléctrico del módulo de 16 entradas digitales

El diagrama eléctrico de la Figura 2.6 indica la conexión eléctrica de los sensores de las válvula diversora.

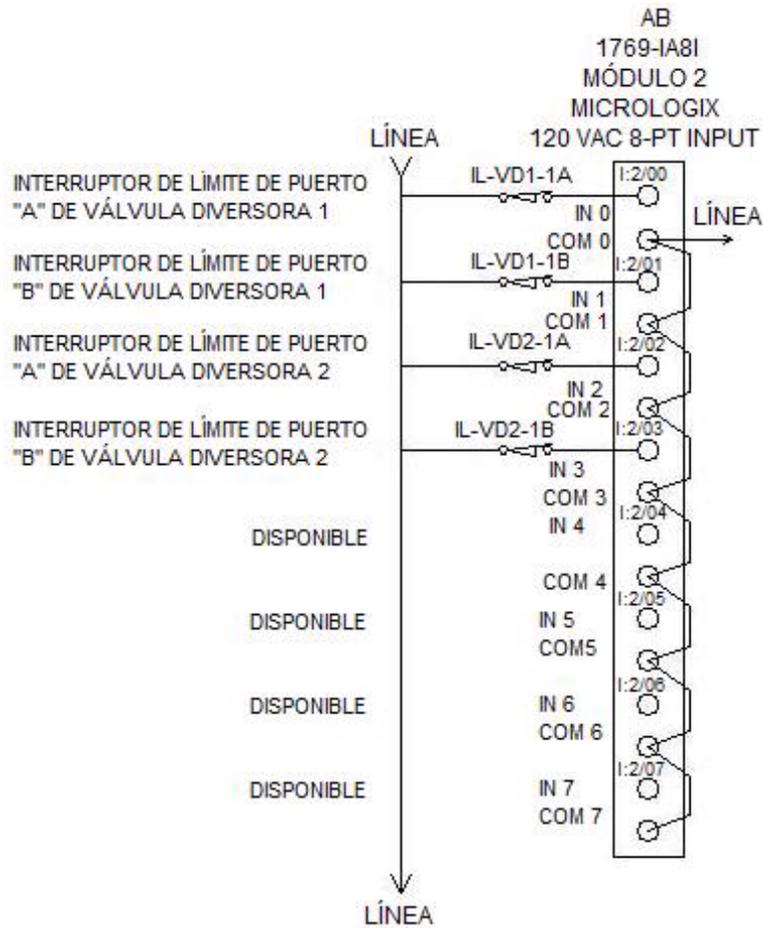


Figura 2.6: Diagrama eléctrico del módulo de 8 entradas digitales

2.4.3. Módulos de salidas digitales

Las Figuras 2.7 y 2.8 muestran las salidas a conectar, como motores, válvulas y lámparas indicadoras del estado del proceso (utilizadas como interfaz).

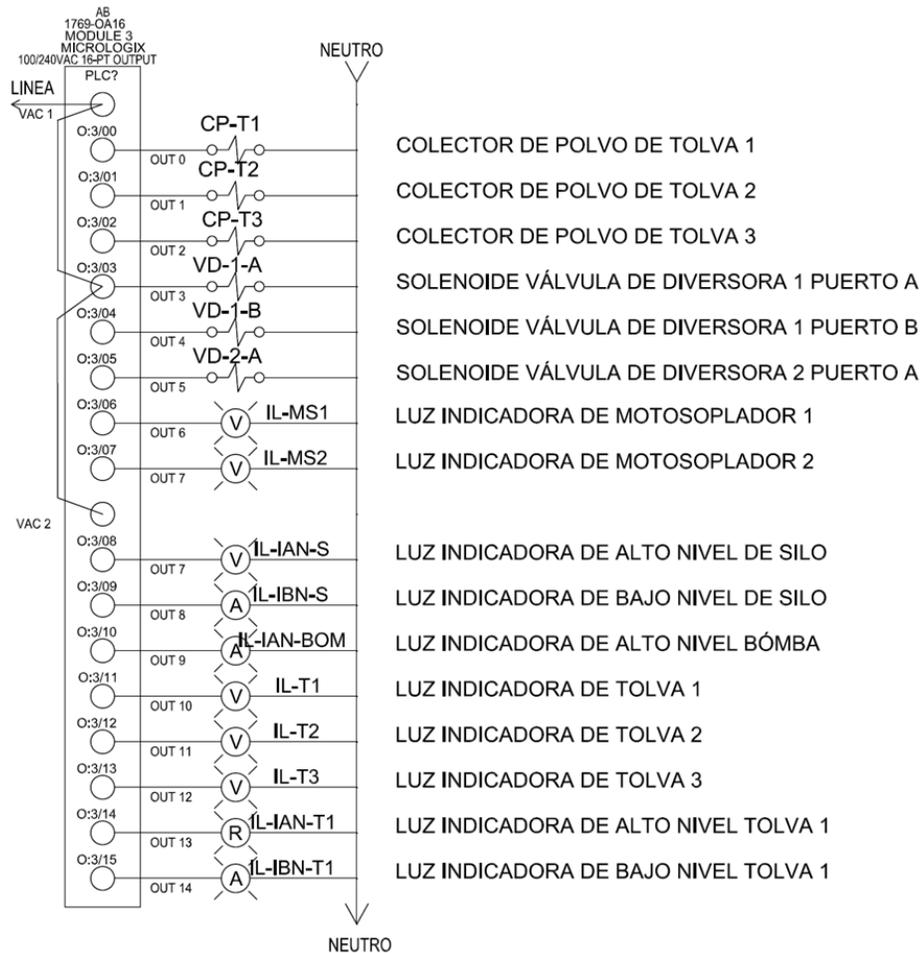


Figura 2.7: Diagrama eléctrico del módulo de 16 salidas digitales

El siguiente diagrama (ver Figura 2.8) indica la conexión eléctrica de una tarjeta de salidas digitales, el diagrama indica la conexión de las lámparas indicadores.

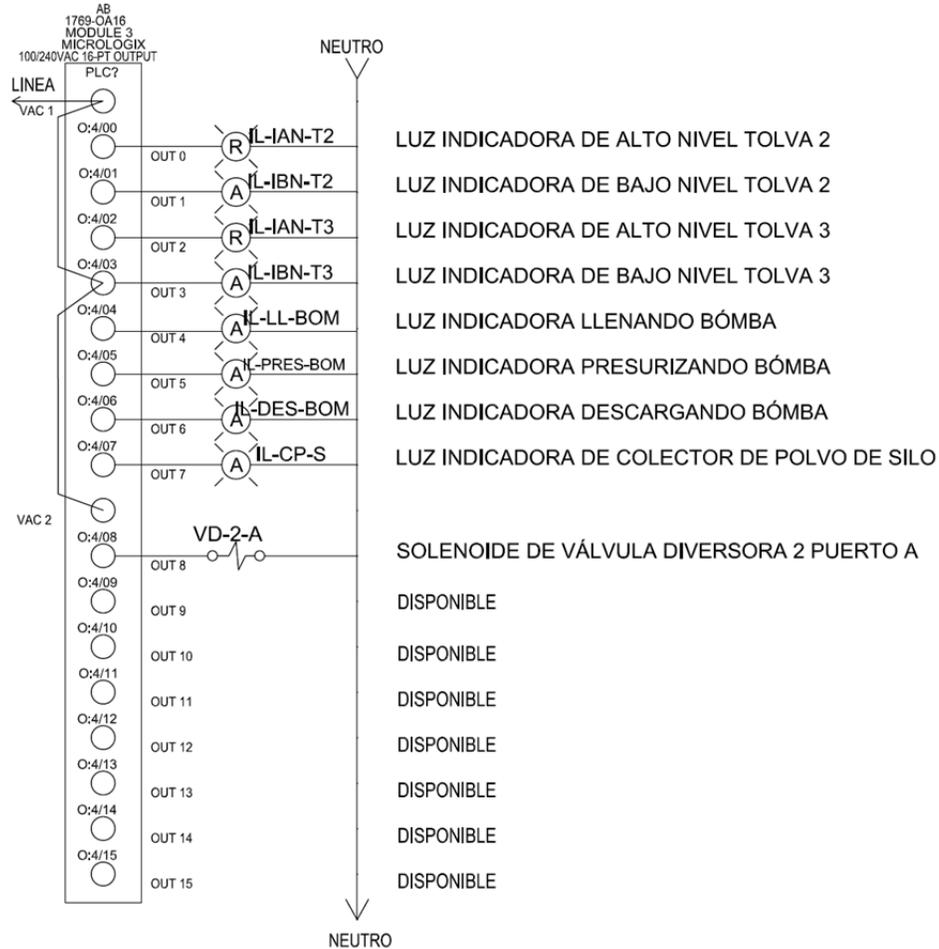


Figura 2.8: Diagrama eléctrico del módulo de 16 salidas digitales

2.4.4. Módulos de entradas analógicas

Por último la Figura 2.9 muestra la conexión eléctrica de un transmisor de presión; este módulo esta alimentado a 24 VCD

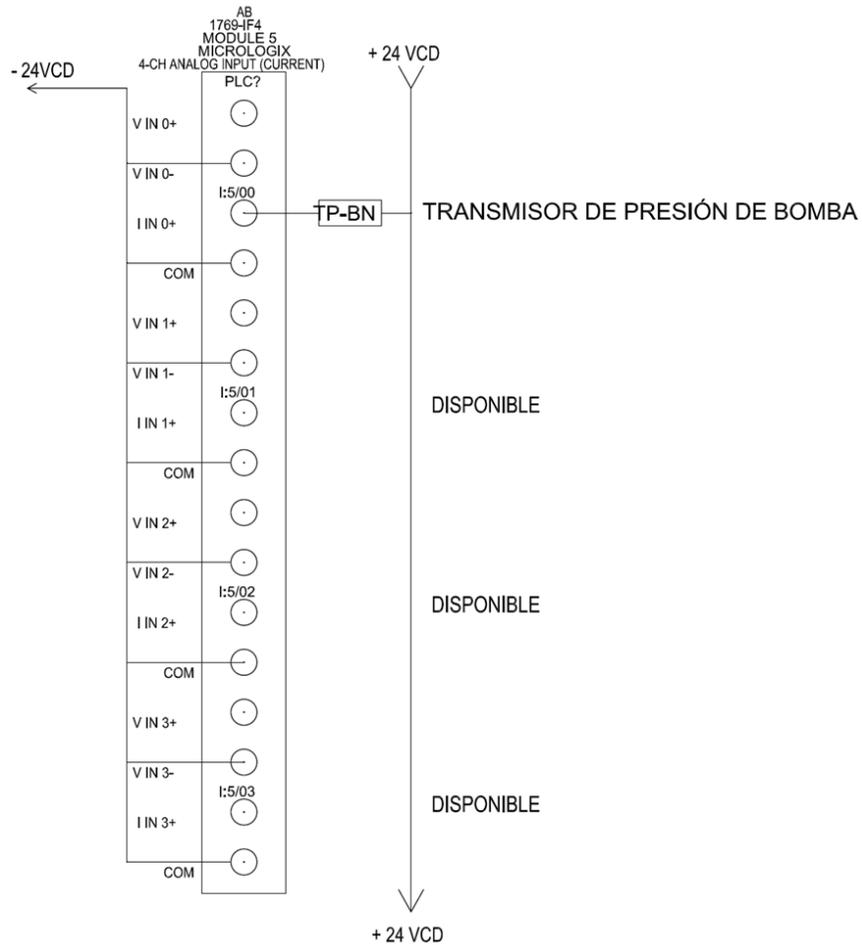


Figura 2.9: Diagrama eléctrico del módulo de entradas analógicas

2.5. Grafcet del proceso

A continuación se presenta el Grafcet del sistema. En la Figura 2.10 se muestran las etapas iniciales (de la cero a la tres) donde el operador selecciona el destino (Tolva 1, Tolva 2 o Tolva 3), en la etapa dos se espera la elección del motosoplador a usar; así una vez configurado el sistema se espera que el operador inicie el proceso mediante un botón de arranque.

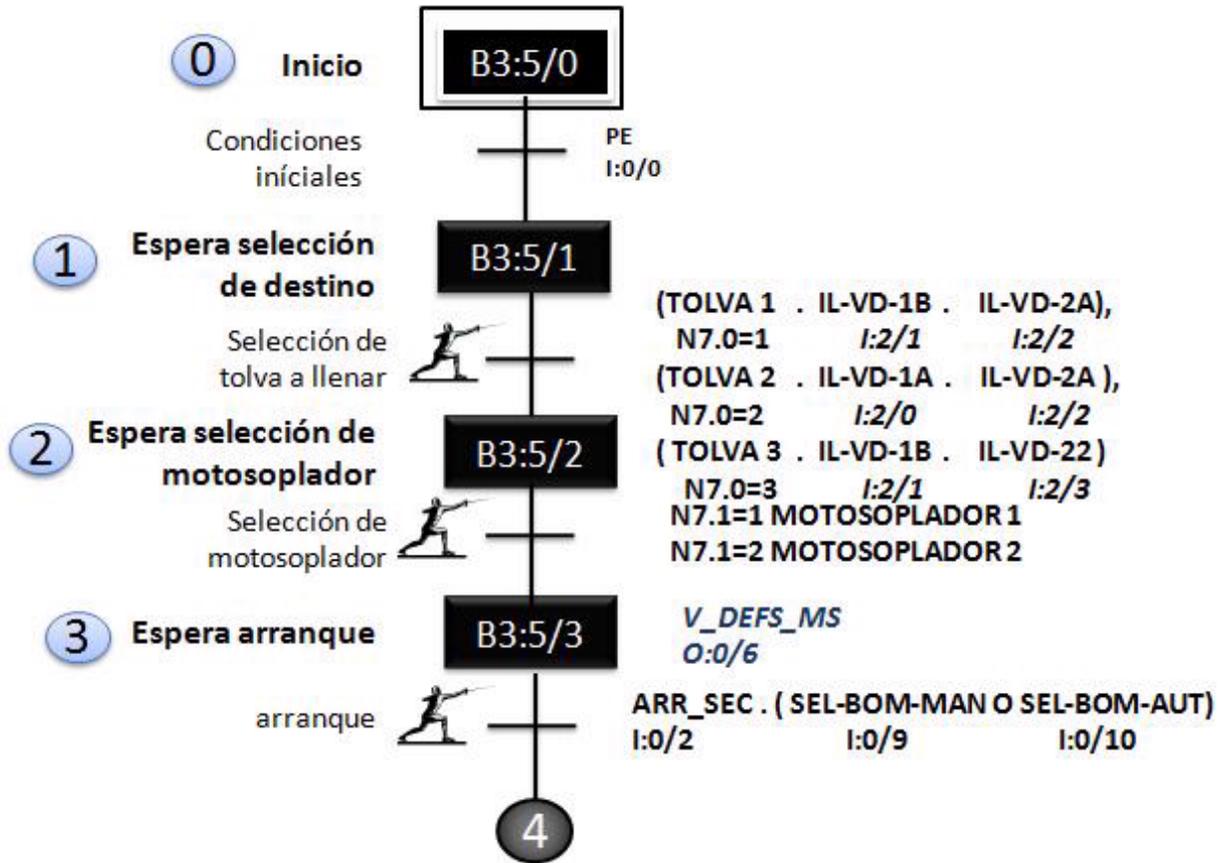


Figura 2.10: Grafcet del proceso en las etapas de inicio de secuencia

Una vez configurado el sistema, se procede a preparar la carga de bomba abriendo su válvula de carga como lo muestra la Figura 2.11 en el punto cuatro; si el sensor de válvula de carga es activado se inicia la carga de la bomba hasta que el nivel de la bomba se accione, o transcurra un tiempo de seguridad o el operador decida parar el sistema. Una vez llena la bomba se inicia la etapa de presurizado hasta llegar a 9 PSI; la presurización de la bomba permite transportar el material hasta el destino. Para transportar material se necesitan 9 PSI en la bomba (la presión es medida mediante un transmisor), cuando la presión baja a 3 PSI y no puede ser elevada significa que no hay material en la bomba.

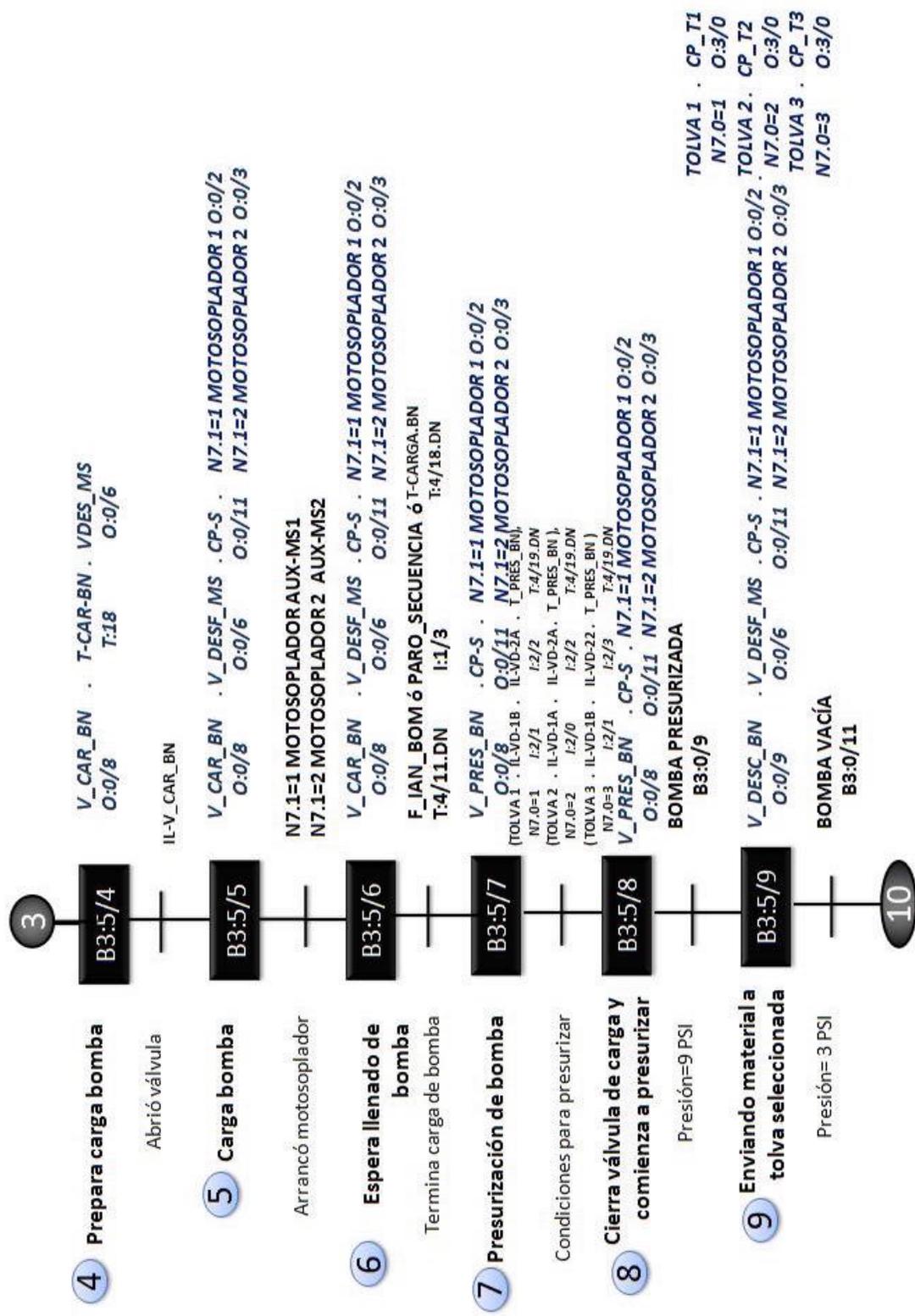


Figura 2.11: Grafcet de proceso en las etapas de secuencia de carga en estado normal

La Figura 2.12 muestra la continuación de Grafcet después de vaciar la bomba neumática de materia prima hacia la tolva destino, se procede a un barrido de línea. El punto once del Grafcet (ver Figura 2.12) es la etapa de toma de decisiones para determinar si se procede con otra carga o se para el sistema; esto se evalúa mediante cuatro transiciones (ver Figura 2.12 en los puntos A,B,C y D) dependiendo cuál de ellas se active primero (por alto nivel en el destino o si la bomba está en modo manual) ya sea que se mande a inicio o a cargar nuevamente la bomba.

2.6. Descripción del Grafcet

En las primeras etapas se describe la forma de iniciar una secuencia. Al seleccionar el número de tolva (T1, T2 ó T3) que se desee cargar. Inmediatamente se posicionarán las válvulas divisoras correspondientes a la tolva que haya seleccionado, y se activará en la lámpara correspondiente a la tolva seleccionada.

TOLVA 1: VD-1B y VD-2B

TOLVA 2: VD-1A y VD-2A

TOLVA 3: VD-1B y VD-2A

Una vez seleccionado el destino, el sistema pide que indique el número de motosoplador (MS1 ó MS2) con el que desee trabajar. Inmediatamente se cerrará su válvula de mariposa de motosoplador y se abrirá la válvula de desfogue de los motosopladores V-DESF-MS (NC). Posteriormente el sistema pide seleccionar el modo en el que trabajará la bomba (MAN ó AUTO).

- MODO MANUAL: El sistema solo realiza un envío. Es decir cargará la bomba neumática una sola vez y descarga también solo una vez.
- MODO AUTOMATICO: El sistema realiza cargas continuas. Siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:
 - Selector en modo AUTO.
 - Que no haya cambiado la selección de la tolva.
 - Que no exista alto nivel en la tolva.

Quedado indicado la manera de funcionamiento, sólo se espera la indicación con el ARRANQUE del sistema, inmediatamente iniciará el proceso, con el botón de PARO se detendrá el sistema.

El selector del colector de polvos en:

- MODO MANUAL: Sirve para encender el colector de polvos cuando se está llenando el silo.

- MODO AUTOMATICO: Esta opción es para que el colector funcione con la secuencia de bomba.

Al tener todas las condiciones indicadas arriba el sistema comienza abriendo la válvula de carga de bomba V-CAR-BN (NC) y válvula de desfogue de bomba V-DESF-BN (NC). y comienza un tiempo para preparar carga de BOMBA En este punto es cuando comienza la carga de la bomba, descarga del silo.

La carga de la bomba culmina por las tres siguientes causas:

- Alto nivel de la bomba.
- Por tiempo de 4 minutos.
- Por voluntad del operador.con el paro de secuencia, (ARRANQUE/PARO SISTEMA).

Si cualquiera de las condiciones falta inmediatamente, cierra la válvula de carga de la bomba V-CAR-BN (NC), cierra válvula de desfogue de motosopladores V-DESF-MS (NC). y comienza un tiempo para preparar presurizado de bomba. Se confirma que estén abiertos los puertos que correspondan a la tolva que haya seleccionado.

TOLVA 1: VD-1B y VD-2B

TOLVA 2: VD-1A y VD-2A

TOLVA 3: VD-1B y VD-2A

Una vez que haya terminado de preparar la descarga. Se abre válvula de presurización V-PRES-BN (NC), se activara el motosoplador que haya seleccionado. Comienza la presurización de la bomba. En la etapa de descarga, el sistema mantendrá una presión en la bomba que sea mayor ó igual a 0.9 Kg/cm². Se abre válvula de descarga V-DESC-BN (NC) y válvula de desfogue V-DESF-BN (NC) esta válvula abrirá y cerrará cuando la presión sea de: 0.8 kg/cm² (abre) y 0.6 kg/cm²(cierra). Comenzando la descarga de la bomba hacia la tolva que haya seleccionado.

Estando en la etapa de descarga si la presión es menor ó igual a 0.2 kg/cm². Comenzará el tiempo de barrido inicial. Esta presión indica que ya no hay material. Una vez que haya concluido el tiempo de barrido inicial. Comienza la etapa de toma de decisiones. Es decir el sistema inteligentemente decide que realizar, conforme a lo que se le haya seleccionado ó a la situación que se este presentando.

- Que siga seleccionada la misma tolva, que no haya alto nivel en tolva y que el selector de bomba este en AUTO. Inmediatamente el sistema pasa al paso 5.
- Que siga seleccionada la misma tolva, que no haya alto nivel en tolva y que el selector de bomba este en MAN. Inmediatamente el sistema pasa al paso 3

- Que siga seleccionada la misma tolva, que haya alto nivel y bajo nivel en tolva, y que el selector de bomba este en AUTO. Inmediatamente el sistema pasa al paso 12.
- Que siga seleccionada la misma tolva, que haya alto nivel y bajo nivel en tolva, pero el selector de bomba este en MAN. Inmediatamente el sistema pasa al paso 3.
- En este paso el sistema está en espera.
- Que siga seleccionada la misma tolva, que no haya alto nivel y bajo nivel en tolva y que el selector de bomba este en AUTO. Inmediatamente el sistema pasa al paso 5.
- Que siga seleccionada la misma tolva, que no haya alto nivel y bajo nivel en tolva y pero el selector de bomba este en MAN. Inmediatamente el sistema pasa al paso 3.

Los principales motivos por los cuales no iniciará la secuencia son:

- Con indicador de alto nivel de la tolva a llenarse.
- Falla de algunos de los motosopladores
- No responda alguna válvula diversora.
- Falla del transmisor de presión de la bomba.
- Activación de alguna alarma que no permita que siga la secuencia.
- Paro de emergencia activo.

2.7. Alarmas del sistema

El medio de visualización del operador es un gráfico del proceso (ver Figura 2.13) el cual indica por medio de luces es estado del proceso y las alarmas del mismo; estas luces son salidas programadas en el PLC.

El gráfico (ver Figura 2.13) sirve como ayuda al operador para identificar la ubicación de las alarmas programadas, las fases de la bomba neumática (llenado, presurizado y descarga), los niveles de materia prima que contienen las tolvas y el silo, la activación del colector de polvo y el motosoplador elegido.

ALARMAS DEL SISTEMA				
		Estado de la luz		
Elemento	Tag	Encendida	Apagada	Intermitente
Motosoplador 1	MS1	SI se activó	No activo	NO se activó motor
Motosoplador 2	MS2	SI se activó	NO activo	NO se activó motor
Colector de polvo de Silo	CP-S	SI se activó	NO activo	No aplica

Cuadro 2.5: Alarmas del proceso

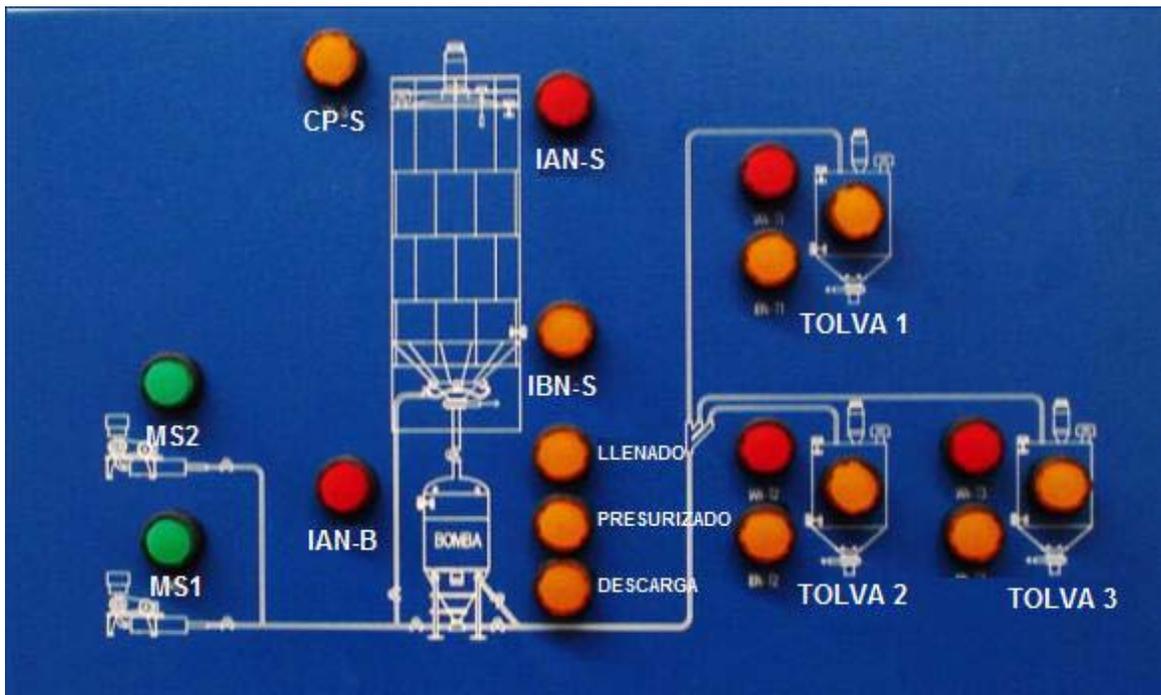


Figura 2.13: Gráfico del proceso

El cuadro 2.5 indica las alarmas programadas en el PLC, las luces indican el estado del sistema, cada luz está programada para tres estados: encendida, apagada o intermitente.

Una luz encendida indica un estado de encendido normal del dispositivo, de igual forma una en estado apagado indica que no está seleccionada una tolva en el caso de las luces del centro de las tolvas o que el dispositivo está apagado, y una luz intermitente aparecerá cuando el dispositivo esté en falla.

ALARMAS VISUALES				
		Estado de la luz		
Elemento	Tag	Encendida	Apagada	Intermitente
Indicador de Alto Nivel Silo	IAN S	SI se presentó alto nivel	NO esta en alto nivel	No aplica
Indicador de Bajo Nivel Silo	IBN S	SI se presentó bajo nivel	No aplica	NO esta en bajo nivel
Indicador de Alto Nivel BN	IAN BN	SI se presentó alto nivel	NO esta en alto nivel	No aplica
Llenando	No aplica	SI esta en etapa de llenado	NO esta en etapa de llenado	TP en falla
Presurizado	No aplica	SI esta en etapa de presurizado	NO esta en etapa de presurizado	TP en falla
Descarga	No aplica	SI esta en etapa de descarga	NO esta en etapa de descarga	TP en falla
Indicador de Alto Nivel T1	IAN-T1	SI se presentó alto nivel	NO esta en alto nivel	No aplica
Indicador de Bajo Nivel T1	IBN T1	SI se presentó bajo nivel	No aplica	NO esta en bajo nivel
Indicador de Tolva 1	T1	SI seleccionada	NO seleccionada o TOLVA con alto nivel	NO abrió VD-1B o VD-2B
Indicador de Alto Nivel T2	IAN T2	SI se presentó alto nivel	NO esta en alto nivel	No aplica
Indicador de Bajo Nivel T2	IBN T2	SI se presentó bajo nivel	No aplica	NO esta en bajo nivel
Indicador de Tolva 2	T2	SI seleccionada	NO seleccionada o TOLVA con alto nivel	NO abrió VD-1A o VD-2A
Indicador de Alto Nivel T3	IAN T3	SI se presentó alto nivel	NO esta en alto nivel	No aplica
Indicador de Bajo Nivel T3	IBN T3	SI se presentó bajo nivel	No aplica	NO esta en bajo nivel
Indicador de Tolva 3	T3	SI seleccionada	NO seleccionada o TOLVA con alto nivel	NO abrió VD-1A o VD-2A
Luz de Botonera de Secuencia	No aplica	En secuencia	NO en secuencia	Etapa de Barrido

2.8. Programa de PLC del proceso

El programa consiste en la realización de siete subrutinas, las cuales son:

1. **ACTIVACIÓN DE SALIDAS:** En esta subrutina se programa cuando se van activar las salidas, por ejemplo, en la Figura 2.14 se muestra que la válvula de presión de la bomba se activará en la etapa 8, 9 y 10.



Figura 2.14: Subrutina: Activación de salidas del programa

2. **BITS:** En esta parte son programados los bits utilizados, por ejemplo (ver Figura 2.15), la activación del de presurización de la bomba, el cual se activa cuando se esta en la etapa de presurización y cuando se tiene una presión de $.9 \text{ Kg/cm}^2$

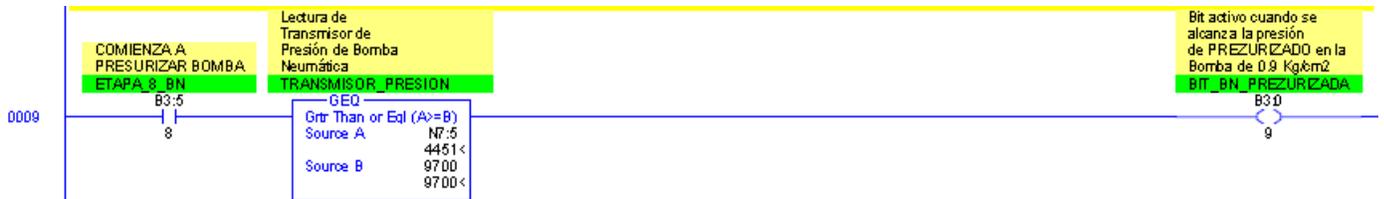


Figura 2.15: Subrutina: Bits del programa

3. **TIMERS:** Aquí son programados los times, por ejemplo (ver Figura 2.16), el filtro del indicador de nivel del silo es programado para asegurarse que después de cinco segundos (PRESET) está activado el indicador nivel con la finalidad de asegurar de que no es un falso contacto.



Figura 2.16: Subrutina: TIMERS del programa

- ALARMAS: Son las alarmas programadas utilizando el bloque OSR, el cual sirve para guardar la activación de una entrada en este caso de una alarma. Por ejemplo (ver Figura 2.17), la alarma del indicador de alto nivel, esta se activa cuando el filtro de este indicador se activo y pasó cinco segundos, el OSR tiene la propiedad de almacenar en un bit la activación y mandar mediante un bit de salida un flanco.



Figura 2.17: Subrutina: Alarmas del programa

- SECUENCIA: Esta parte es el esqueleto del programa, aquí se programa la secuencia del proceso mediante enclavamientos y desenclavamientos. Por ejemplo, en la Figura 2.18 se muestra un comando (L), este sirve para enclavar un bit para que este a su vez active alguna salida, y el comando (U) que sirve para desenclavar un bit y enclavar al mismo tiempo otro.



Figura 2.18: Subrutina: Secuencia del programa

- ANALÓGICAS: Aquí es programado el la señal entrante del transmisor de presión.
- ID TOL/MS: En esta subrutina se programan la identificación de las tolvas y motosopladores seleccionados mediante la utilización de un entero, por ejemplo, para identificar que se ha seleccionado la tolva 1 se mueve (comando MOV) un 1 al entero N7:0 cuando se activen las etapas 1, 2 y 3, como lo muestra la Figura 2.19.



Figura 2.19: Subrutina: IDTOL/MS del programa

Conclusiones y trabajos a futuro

La automatización del sistema de control de transporte neumático de granulados se ejecutó mediante un análisis del proceso de operación del sistema, el análisis consistió en determinar el número de señales necesarias para establecer el hardware que controla el proceso mismo, estableciendo las entradas, salidas digitales y analógicas.

Una vez analizado el proceso y habiendo determinado el hardware de control, se desarrolló el Grafset del sistema, ayudando dicha herramienta a elaborar el diagrama de escalera que controla el sistema propuesto en el presente proyecto. La programación del PLC fue llevada a cabo mediante el software RSLogix500; se implementó de manera eficiente, dicho programa se estructuró considerando siete subrutinas, debido a la arquitectura misma del sistema.

La automatización del presente proyecto reflejó los beneficios de establecer un proceso de dosificación de granulados de manera automática hacia los hornos de vidrio, tal y como fue propuesto desde un inicio; eliminando los posibles errores humanos de operación y manteniendo monitoreada y controlada la dosificación de la materia prima, garantizando con ello la dosificación constante hacia el horno de fundición y eliminando los tiempos muertos ocasionados por dosificar de manera manual el llenado de tres tolvas de operación del sistema.

Los trabajos a futuro comprende eliminar luces indicadoras y remplazarlas con un HMI para tener mejor control del proceso. Este desarrollo comprende que en la HMI permitan visualizarse las alarmas. La HMI propuesta para esta etapa es un panel view plus 400 de la marca Allen Bradley.

Otra propuesta de mejora es establecer comunicación con otros procesadores de la planta para el control de la descarga de las tolvas.

Bibliografía

- [1] Bolton, W. (2006). *Mecatrónica Sistemas de control electronico en la ingenieria mecánica y eléctrica*, México: Alfaomega.
- [2] Smith, C. A., & Corripio, A. B. (1999). *Control Automático de procesos*. México, Limusa.
- [3] Mavainsa (Sin fecha).www.mavainsa.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2008, de mavainsa: www.mavainsa.com/doc5
- [4] Rockwell Automation. (2004). *MicroLogix Programmable Controllers Selection Guide 1761,1762,1764*. Publication 1761-SG001A-EN-P , 4-5.
- [5] Hugh Jack (2007), *Automating Manufacturing Systems with PLCs*.
- [6] Bryan, Luis (2003), *Programable Controlles, Theory and Implementation*. Estados Unidos
- [7] Festo (2006, 26 de Septiembre). España. Recuperado el 14 de Noviembre de 2008, de http://www.testo.es/online/embedded/Sites/ESP/MainNavigation/ServiceAndSupport/DownloadCenter/guiaspracticas/Guia_presion.pdf
- [8] Cenam (Centro Nacional de Metrología) (2006). México. Recuperado el 13 de Noviembre de 2008, de: <http://www.cenam.mx/fyp/definiciones.html>
- [9] Mastermagazine, Revista digital líder en informática (2004). España. Recuperado el 10 de Noviembre de 2008, de: <http://www.mastermagazine.info/termino/5018.php>

Glosario

Aire comprimido: Aire a presión superior a una atmósfera.

Controlador: Un controlador de dispositivo es un programa de control específico que permite a una computadora trabajar con un determinado dispositivo como, por ejemplo, una impresora o una unidad de disco.

Ethernet: EtherNet/IP, abreviatura de “EthernetTM Industrial Protocol” (Protocolo Industrial Ethernet), es una solución abierta estándar para la interconexión de redes aprovecha los medios físicos y los industriales que chips de comunicaciones Ethernet comerciales

Firmware: (Termino que hace referencia a la programación en firme) es el software compuesto por un bloque de instrucciones que tienen un fin específico y que almacena y se ejecuta desde la memoria ROM (Memoria de sólo lectura). Este software está integrado en la parte del hardware, es decir que viene incorporado con el dispositivo.

IEC: (International Electrical Commission)-Es un grupo Sueco de estándares eléctricos.

Presión: La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmosferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada).

Presión positiva: Presión medida por encima de la presión barométrica diaria, su medida de referencia es la presión ambiente. La presión de medición siempre es mayor que la presión de referencia.

Subrutina: Es un segmento de programa en un diagrama de escala que realiza una tarea separada.

Saltación: La saltación es el modo de transporte básico, sobre todo para las arenas. La altura de las trayectorias no supera el metro y medio, ni su longitud los dos metros. Dependiendo de la velocidad del viento desplaza partículas de entre 0,2 y 0,5 milímetros.

Transporte neumático en fase densa: Transporte con aire comprimido para mover grandes cantidades de material a través de tubería en pequeños lotes “controlados” de producto cercanos entre sí. Este proceso es muy similar a la extrusión. A velocidades relativamente bajas, con un manejo más suave de los sólidos muy pesados, altamente abrasivos o que no toleran degradación o para distancias muy largas.

Transporte neumático en fase diluida: Este concepto consiste en utilizar un volumen mayor de aire a una menor presión (debajo de 15 PSI), a presión o a vacío, para mover productos en polvo o granulares a través de una tubería. Las velocidades y el volumen de aire llevan en suspensión (de forma diluida) el producto. Muy útil para materiales no abrasivos, no frágiles, ligeros de una manera eficaz y segura.

Vacío: Presión menor a la presión atmosférica, el vacío también puede medirse con respecto al cero absoluto como una presión absoluta menor a la presión atmosférica.

VCA: Voltaje de Corriente Alterna

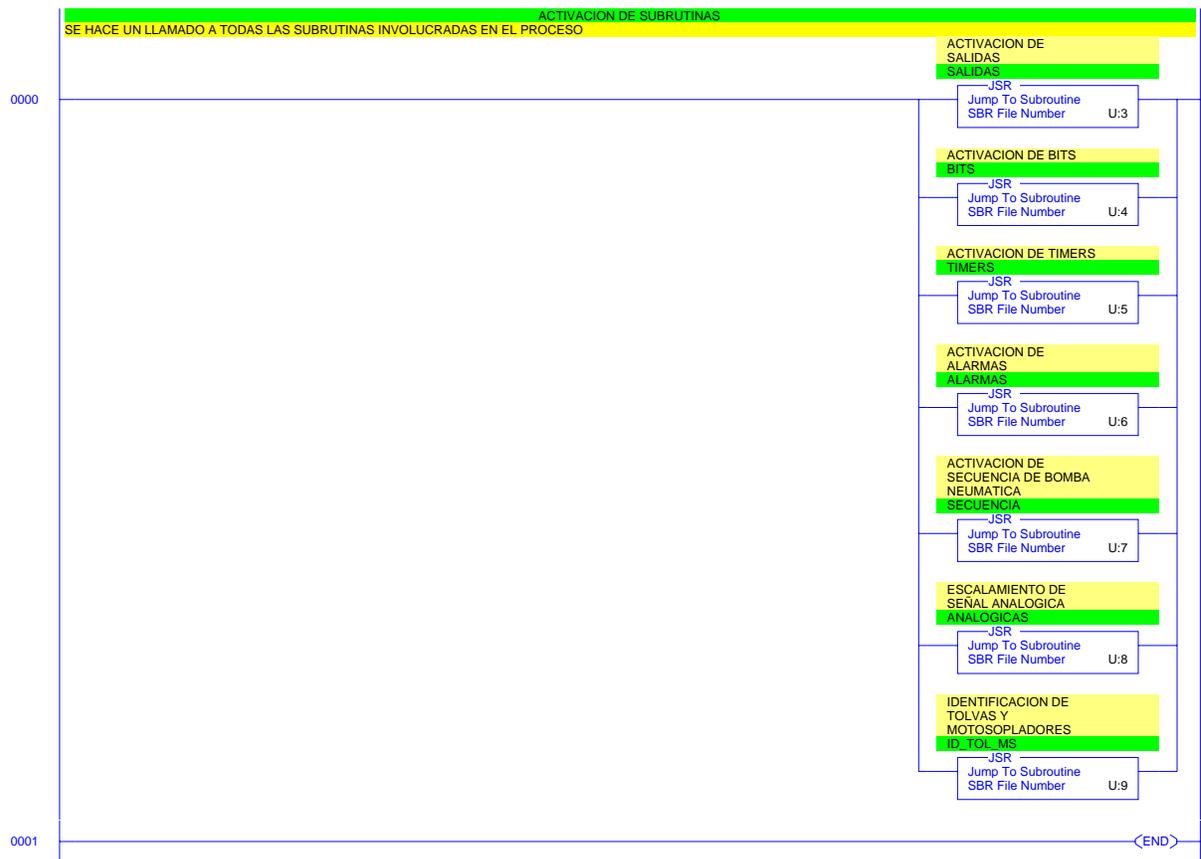
VDC: Voltaje de corriente Directa

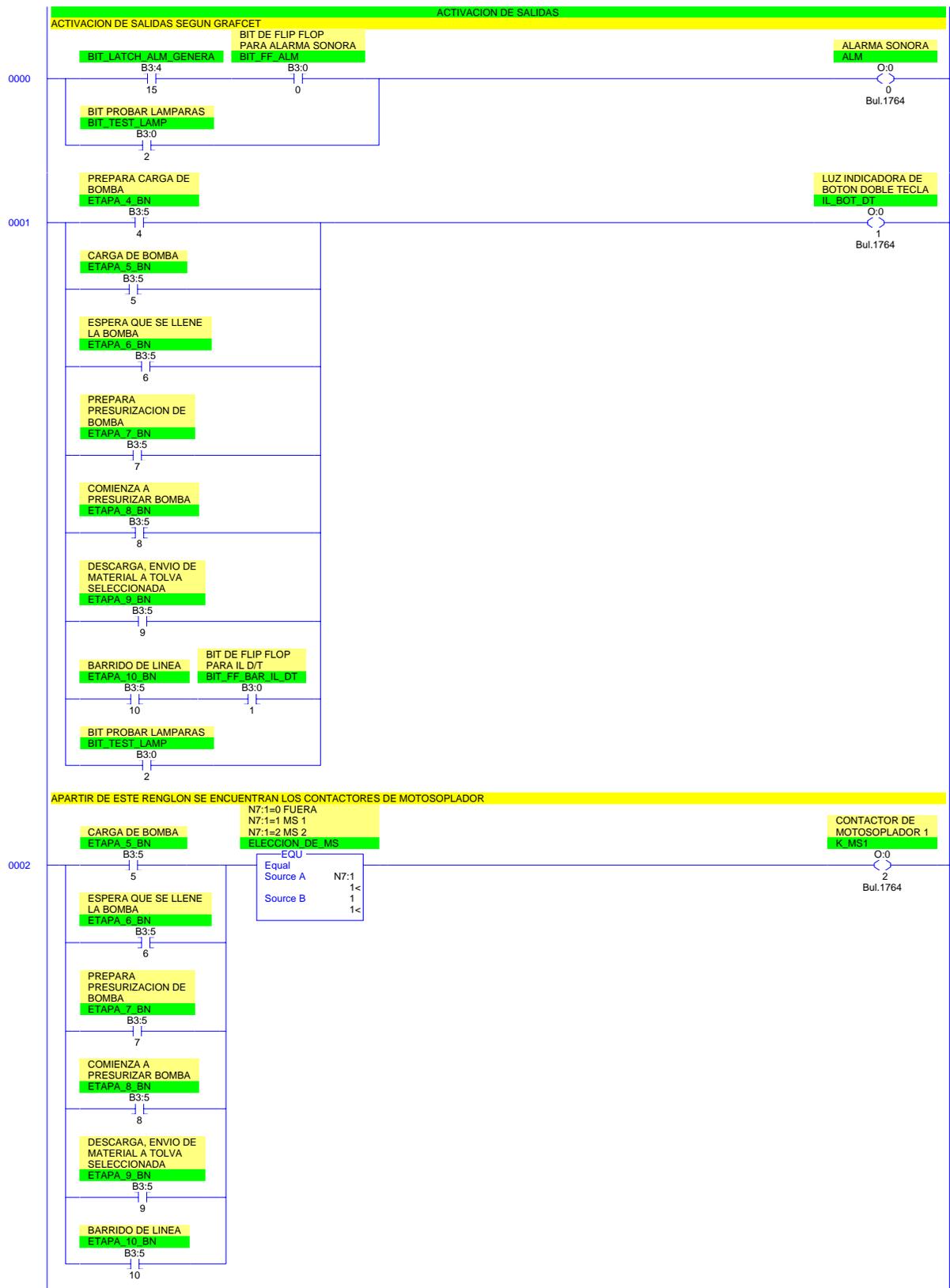
Apéndice

A continuación se anexa en programa desarrollado en el software de programación RSLogix 500 en lenguaje escalera.

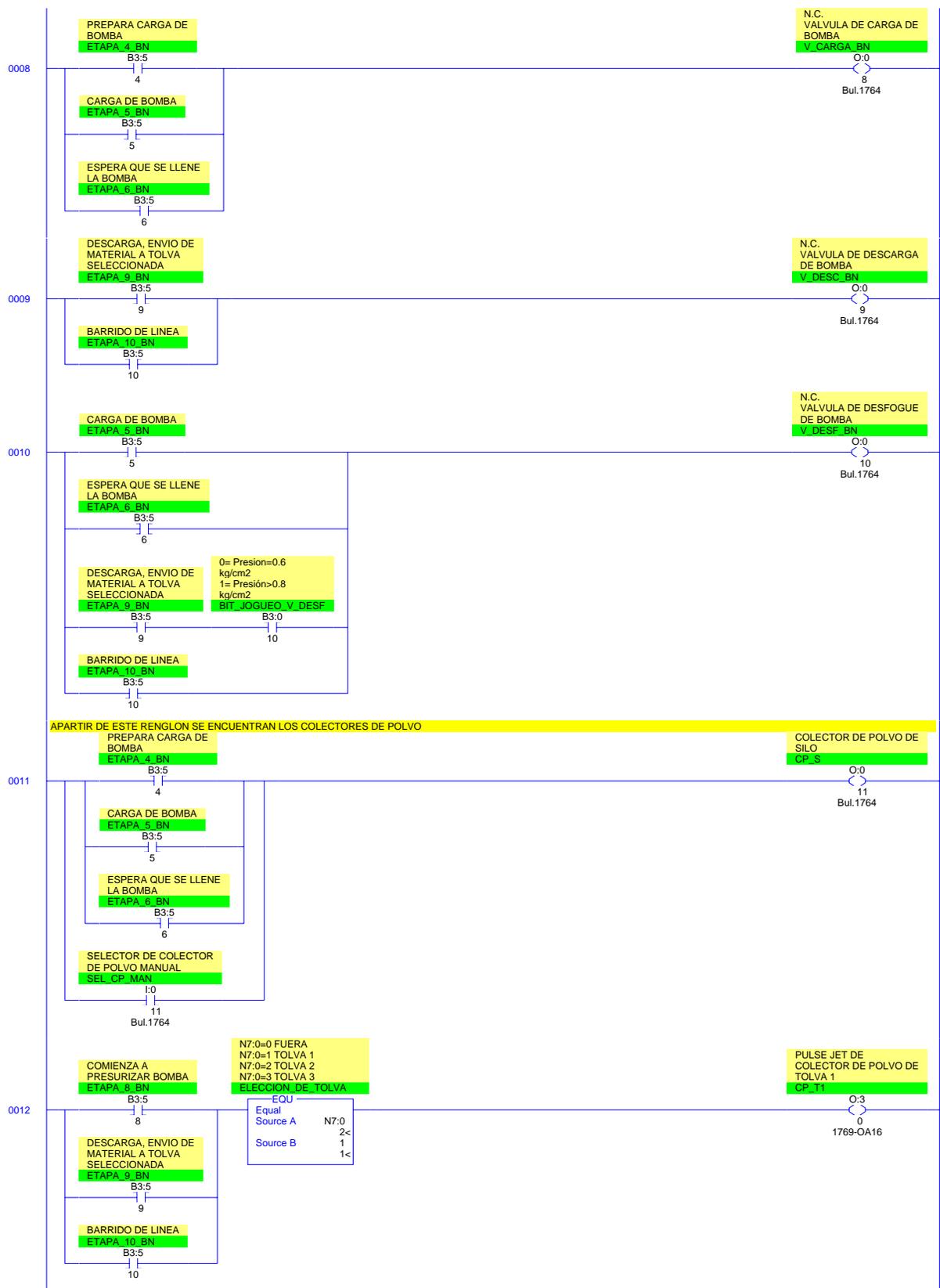
RSLogix500 Project Report

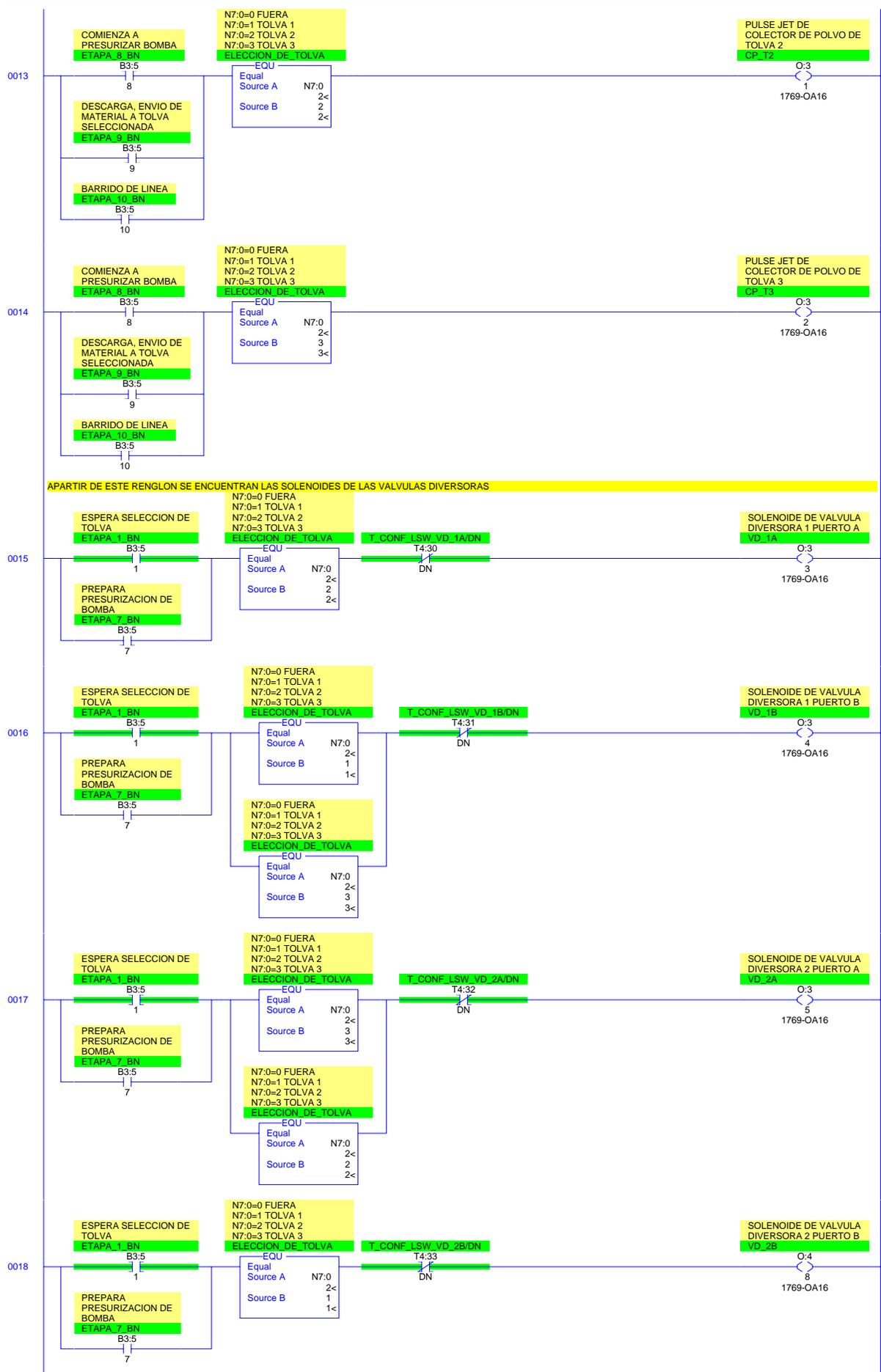




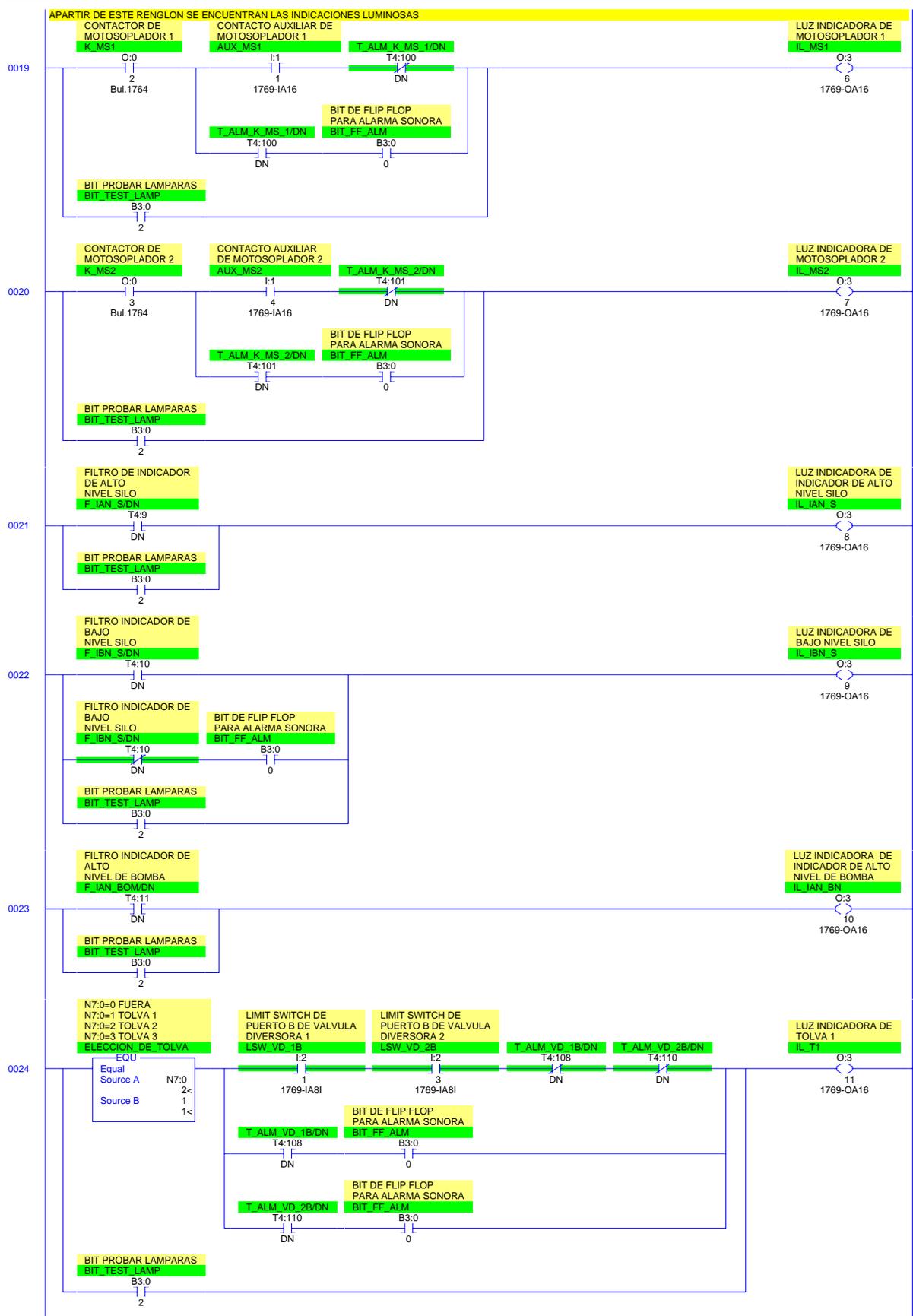




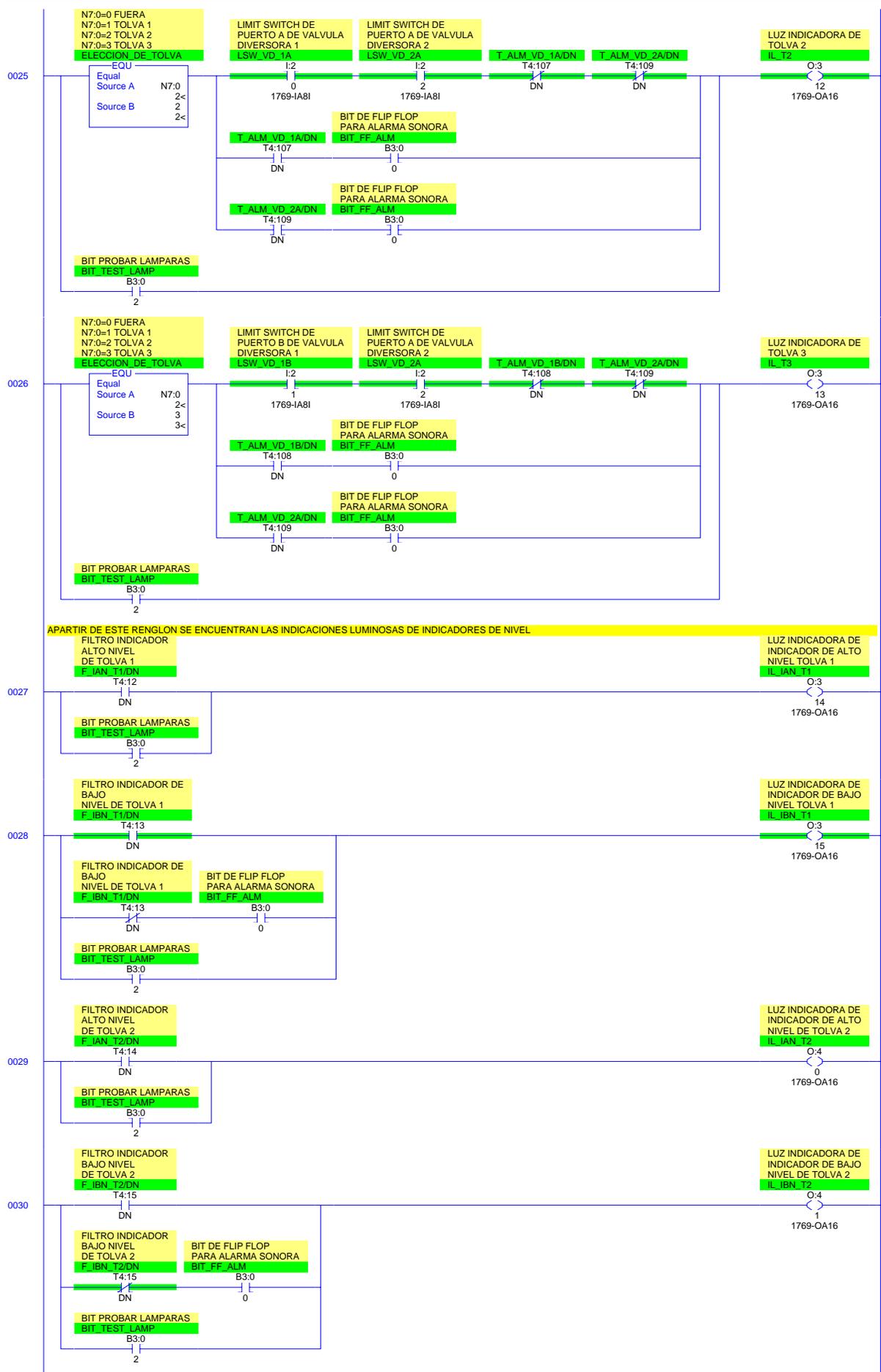


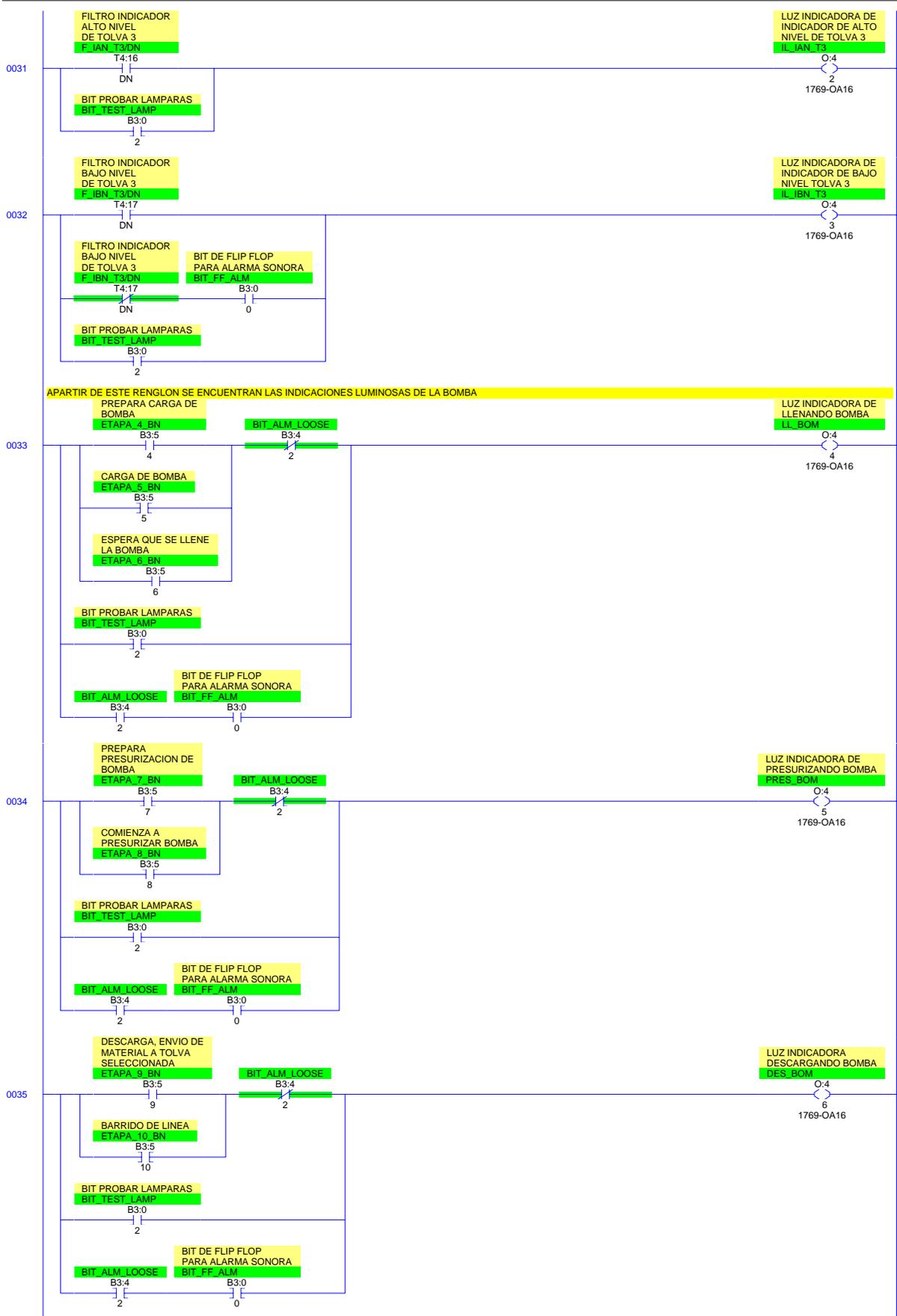


LAD 3 - SALIDAS --- Total Rungs in File = 38

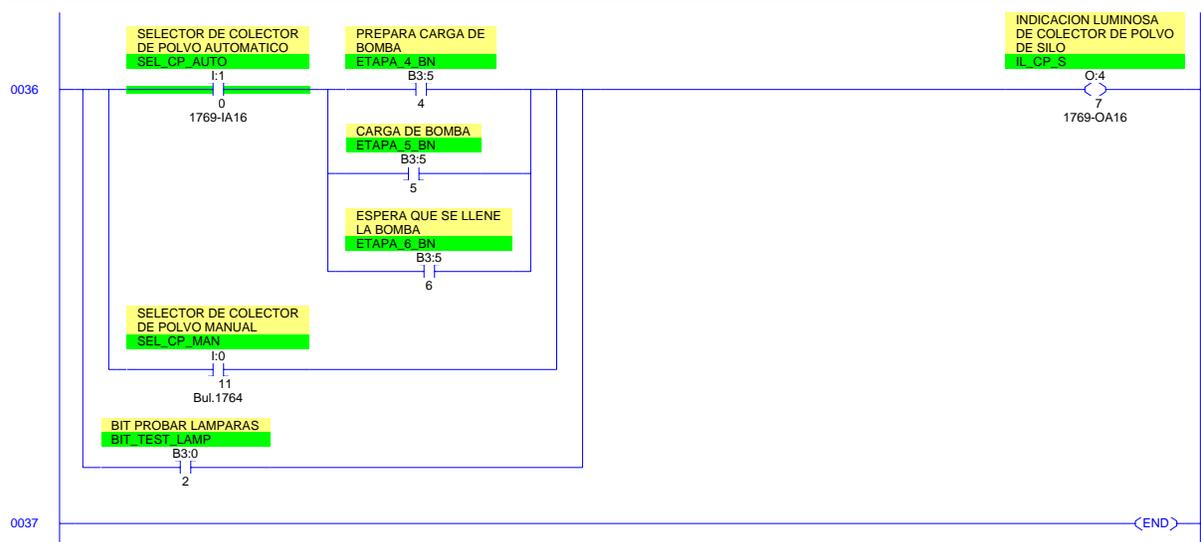


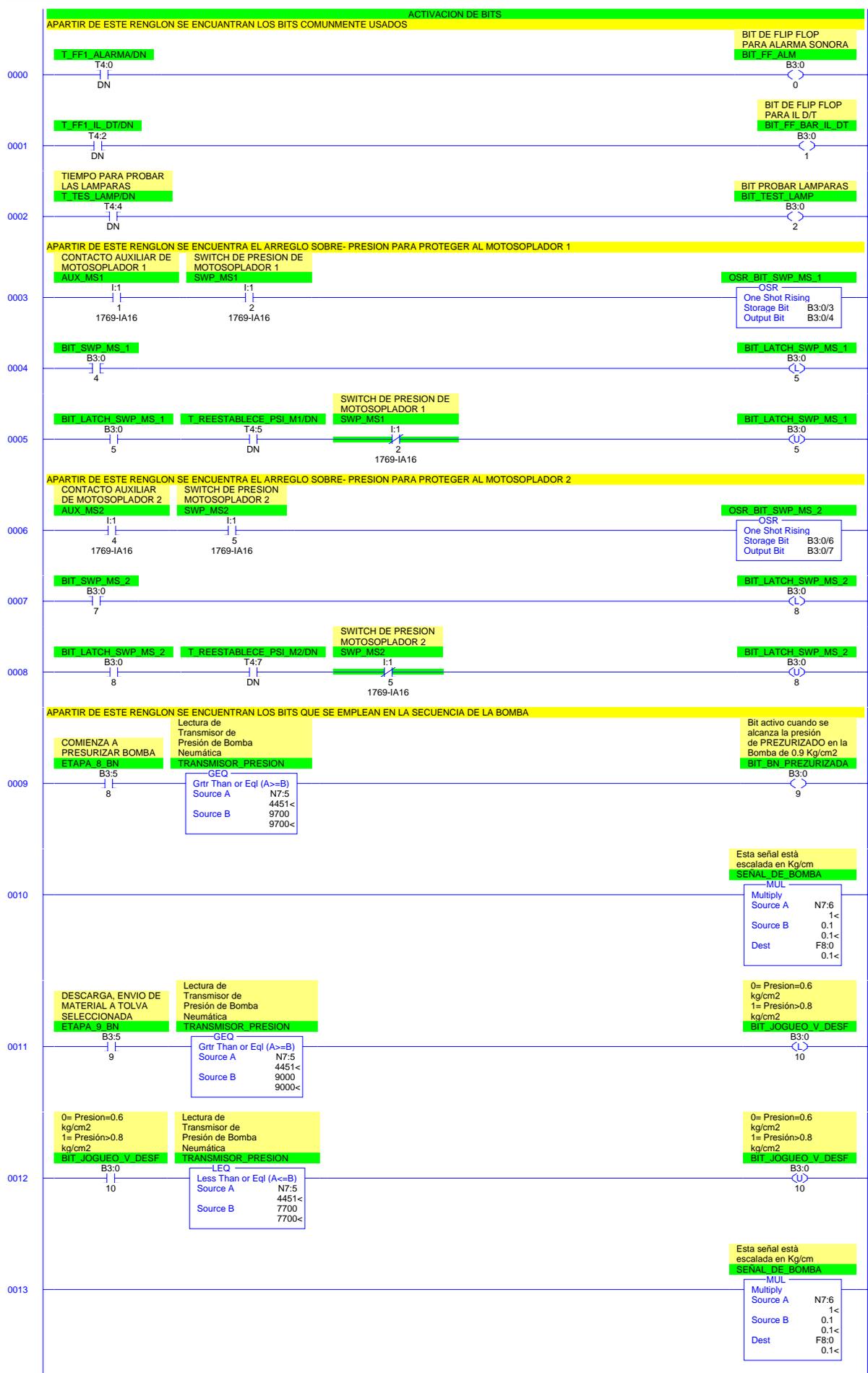
LAD 3 - SALIDAS --- Total Rungs in File = 38



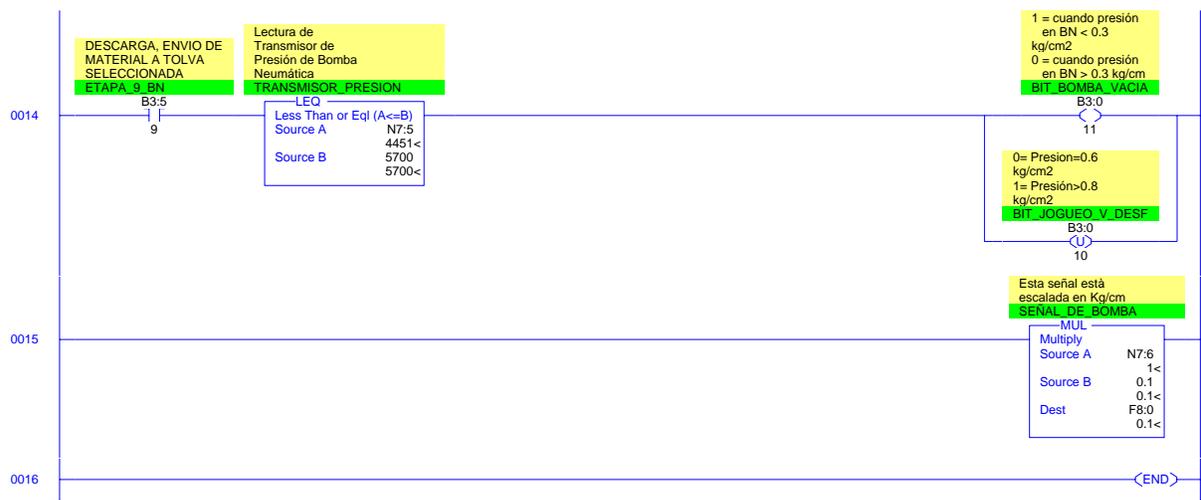


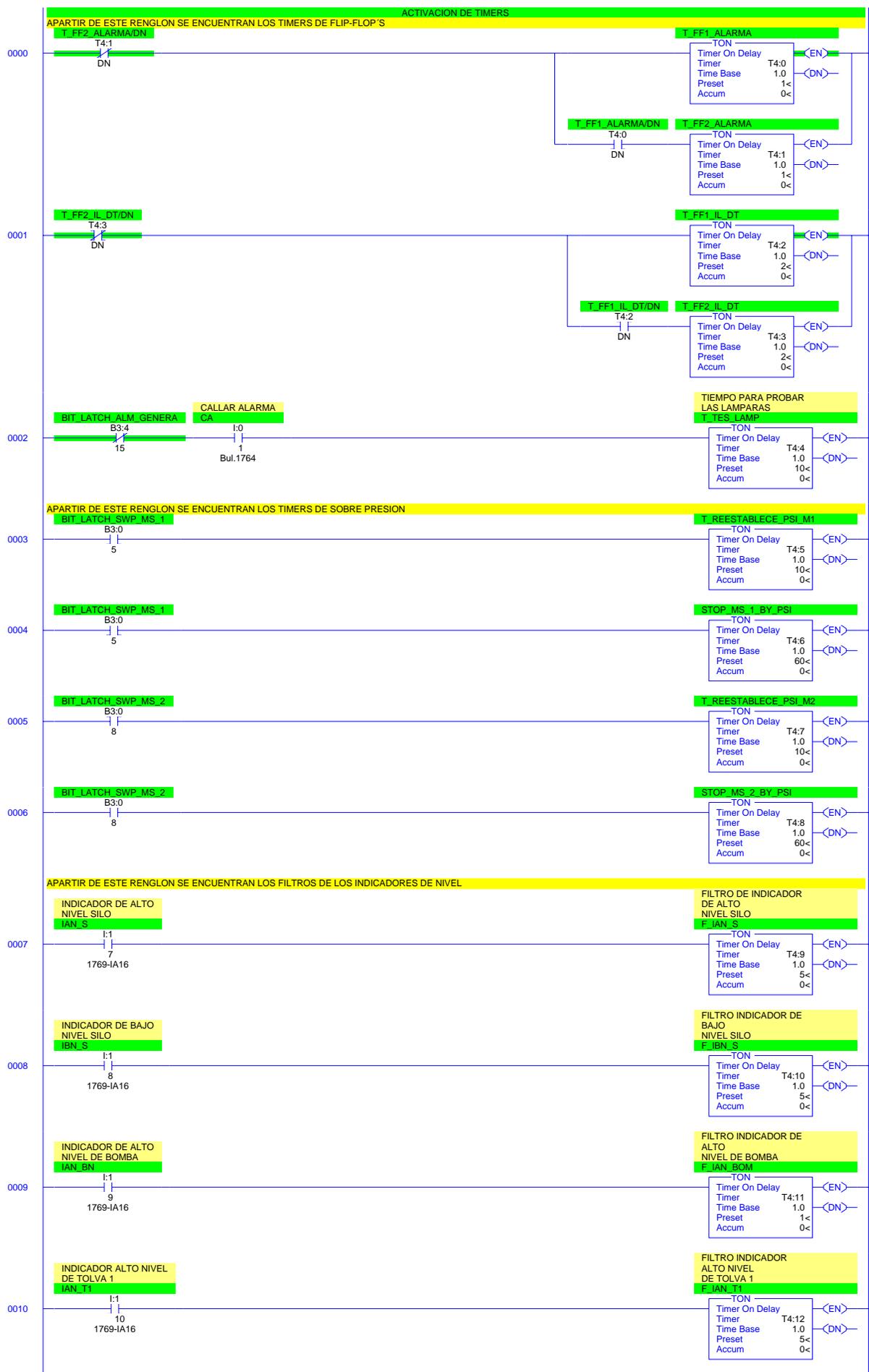
LAD 3 - SALIDAS --- Total Rungs in File = 38





LAD 4 - BITS --- Total Rungs in File = 17

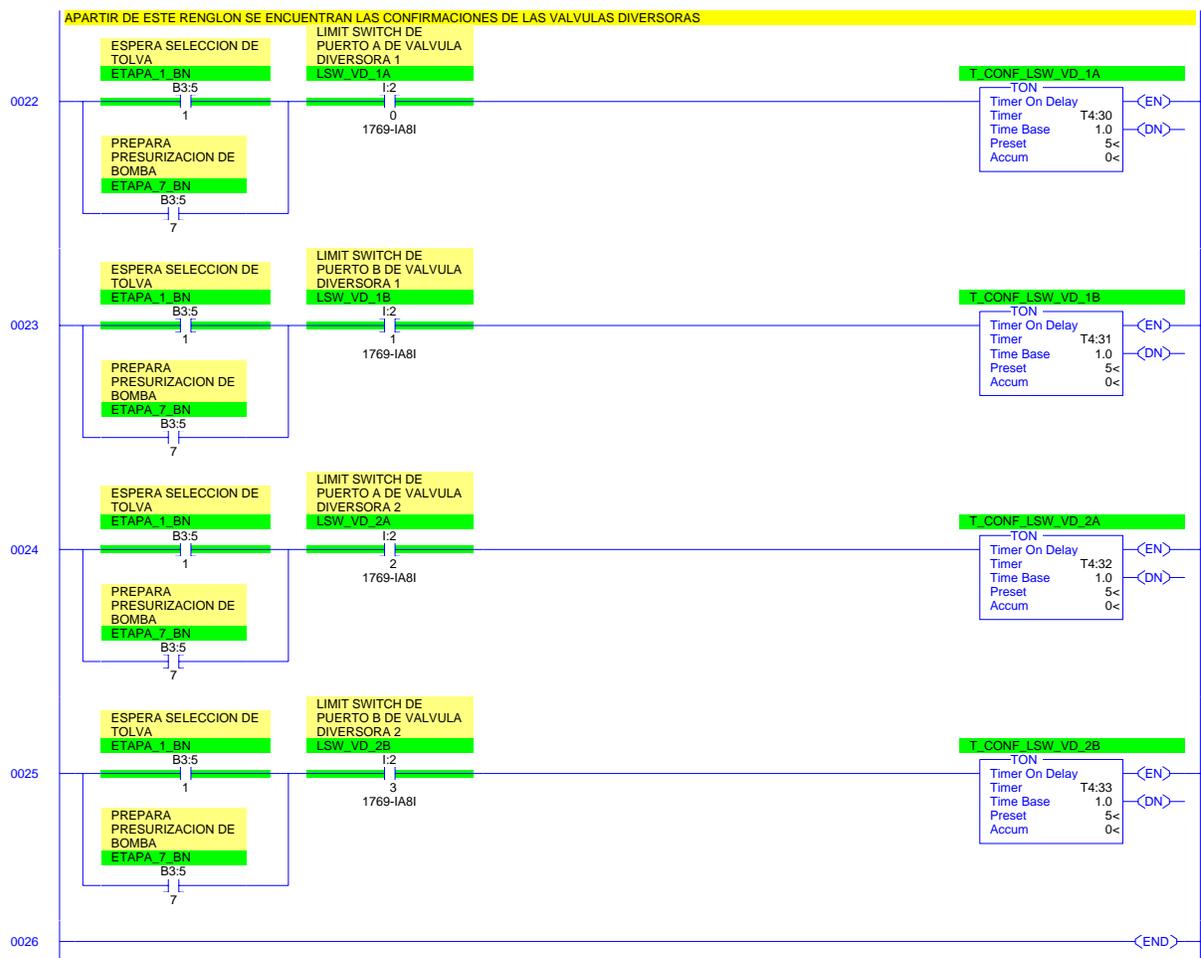


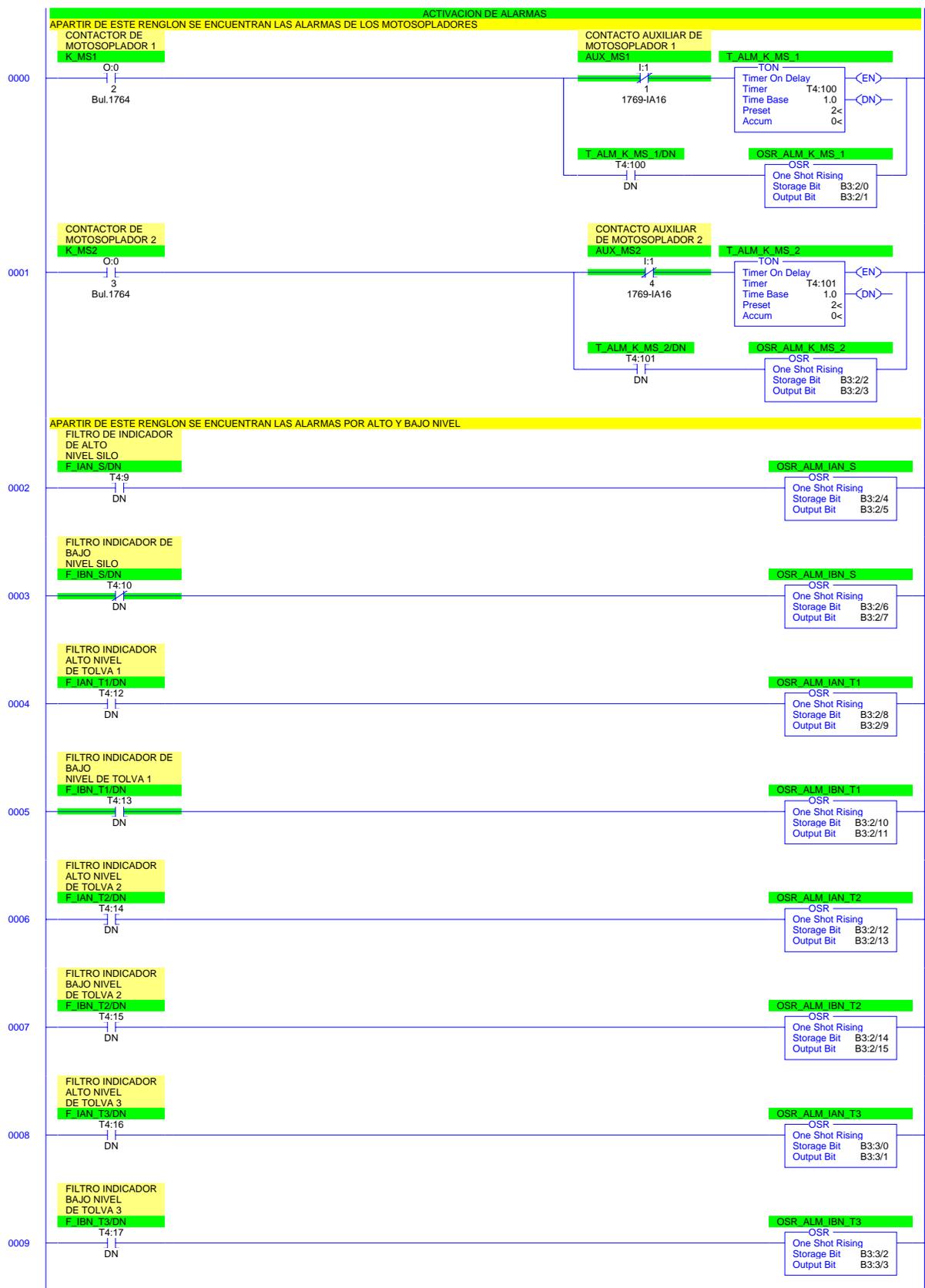


LAD 5 - TIMERS --- Total Rungs in File = 27

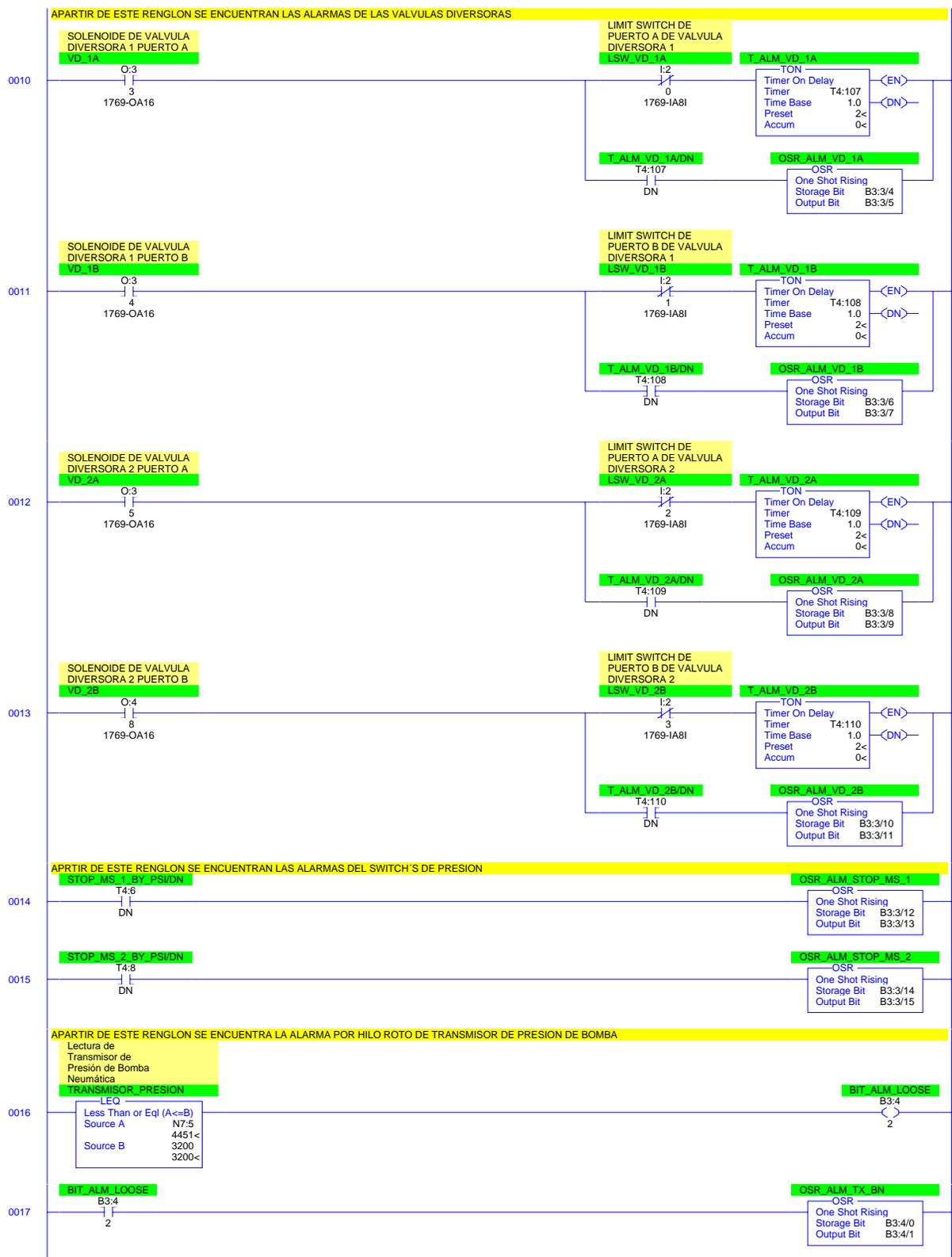


LAD 5 - TIMERS --- Total Rungs in File = 27

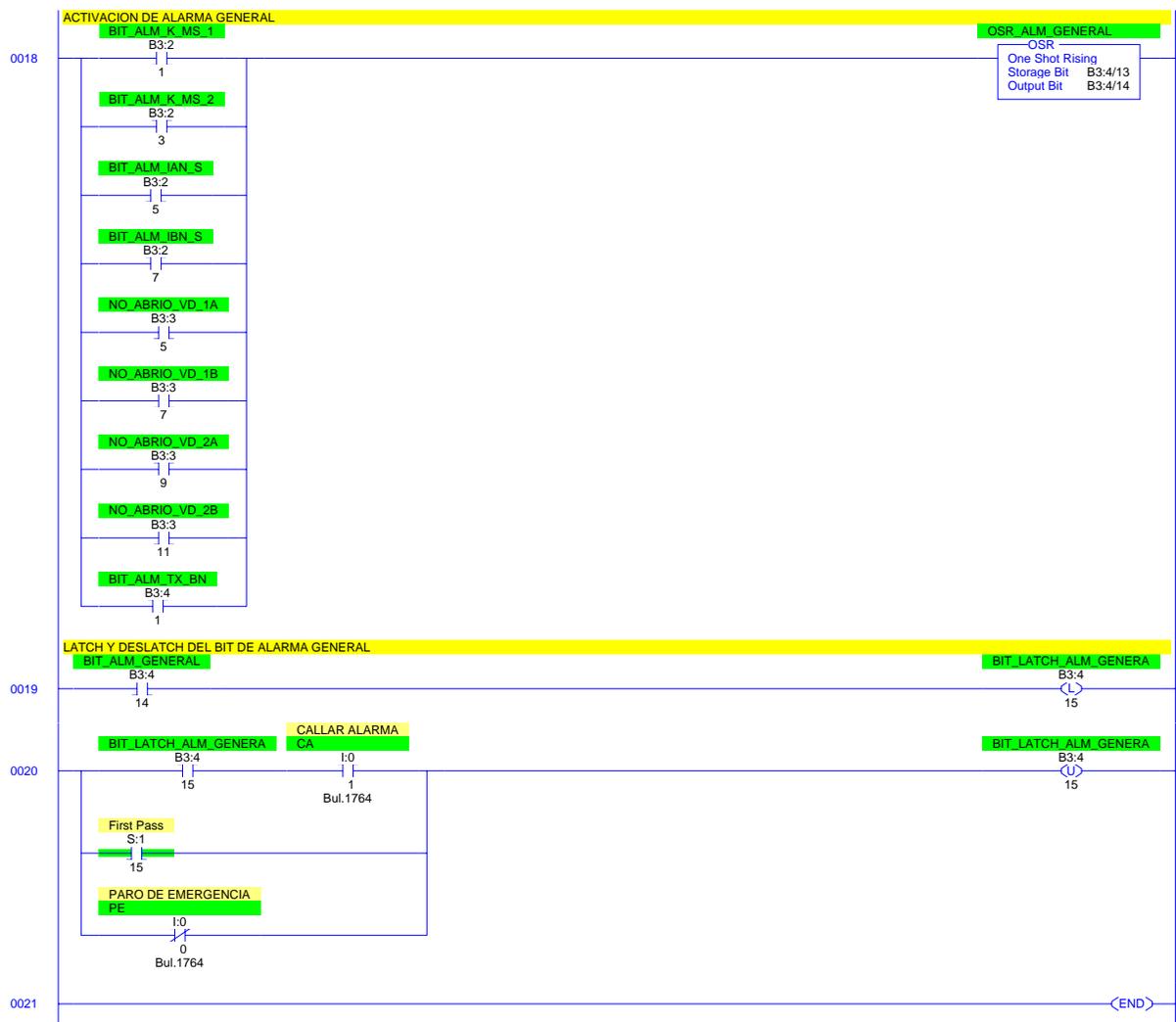


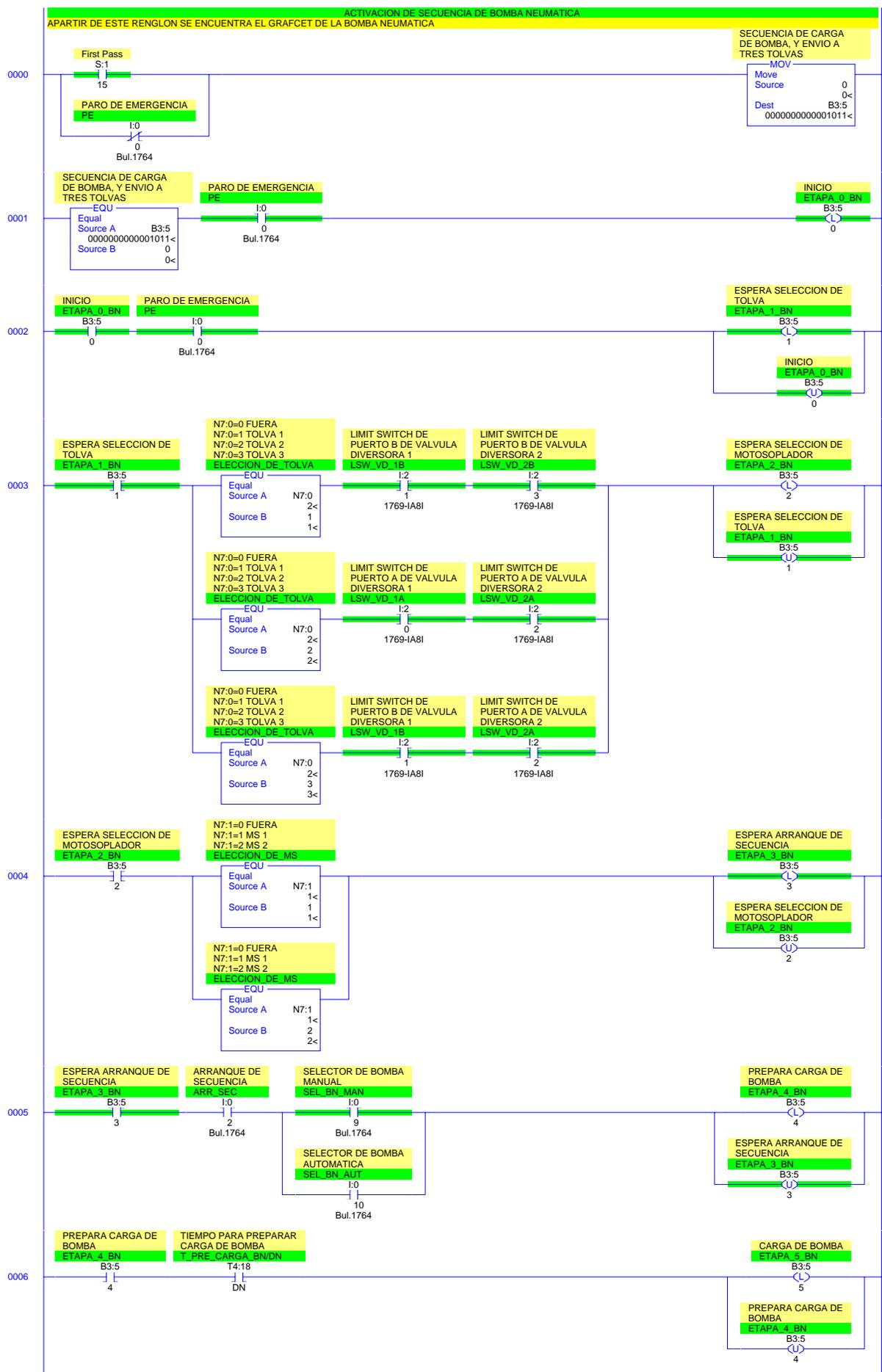


LAD 6 - ALARMAS --- Total Rungs in File = 22

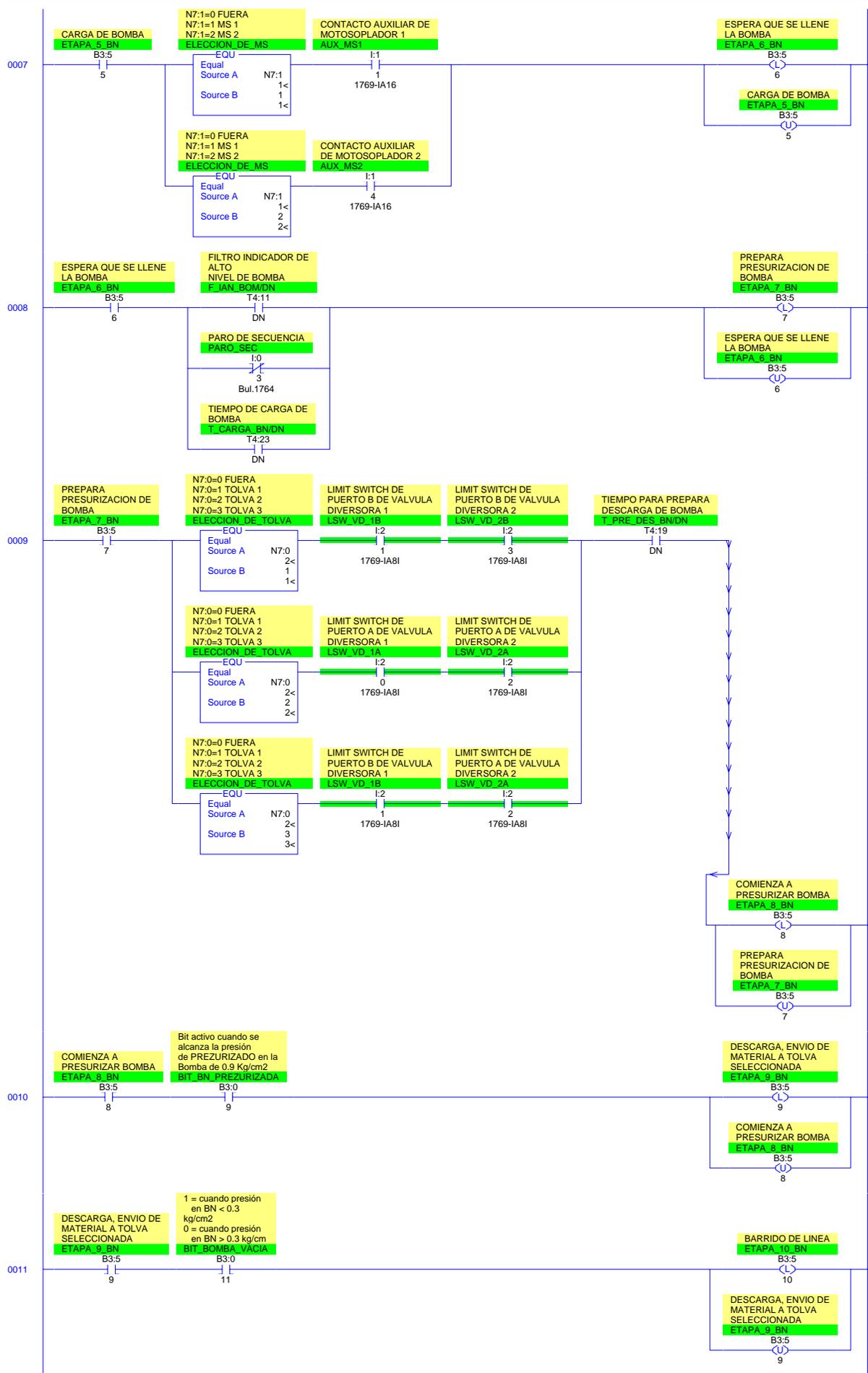


LAD 6 - ALARMAS --- Total Rungs in File = 22

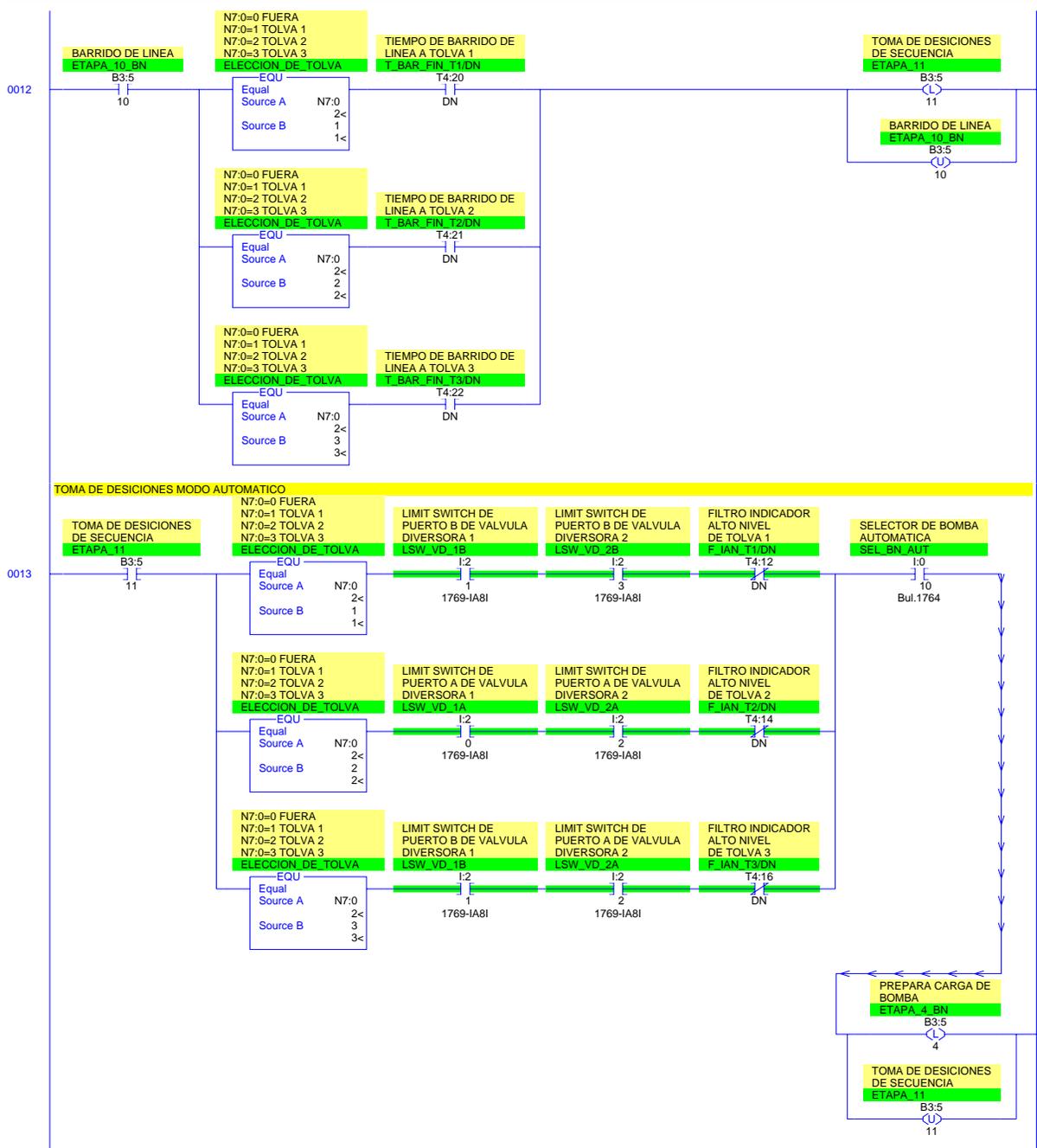


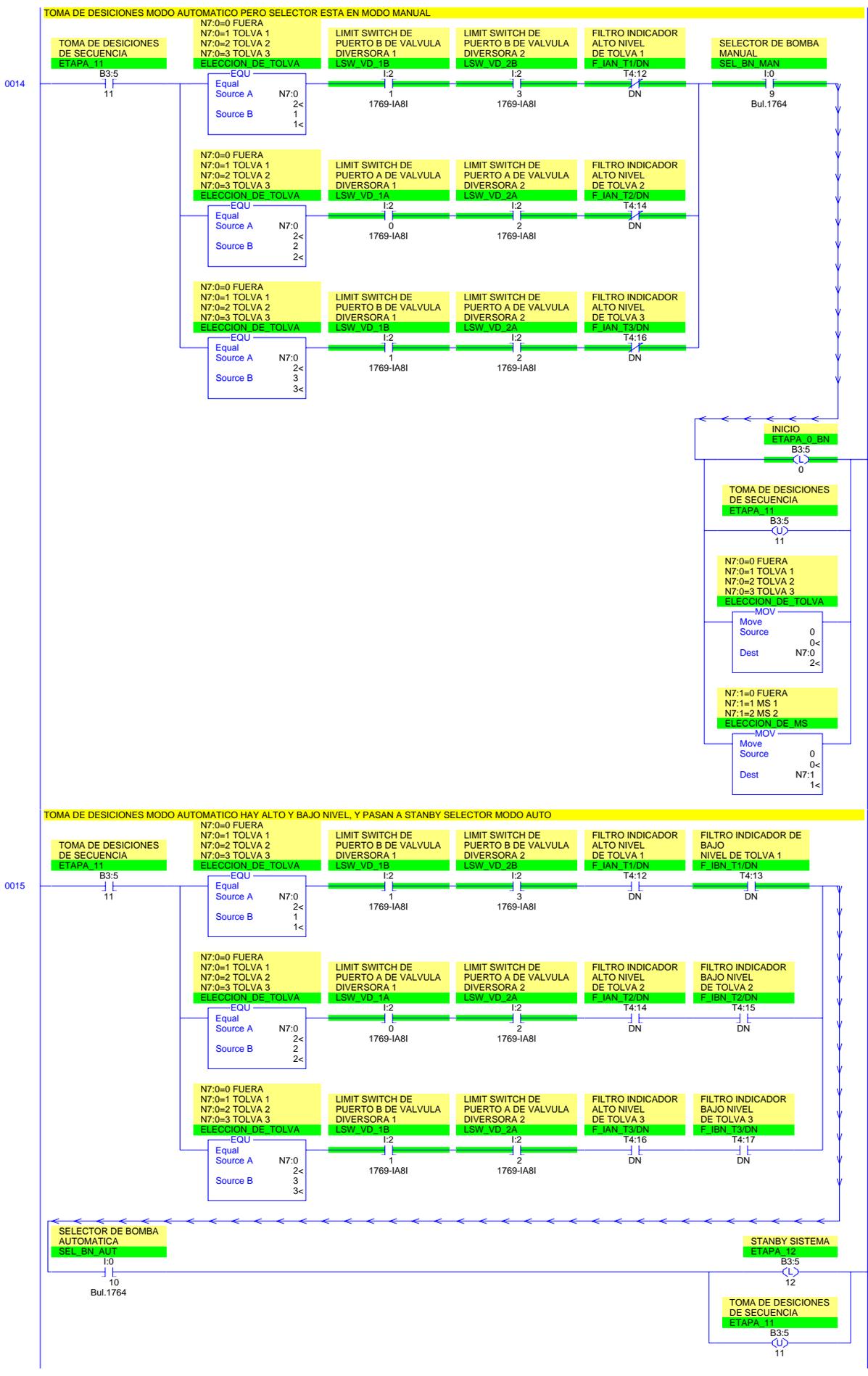


LAD 7 - SECUENCIA --- Total Rungs in File = 20

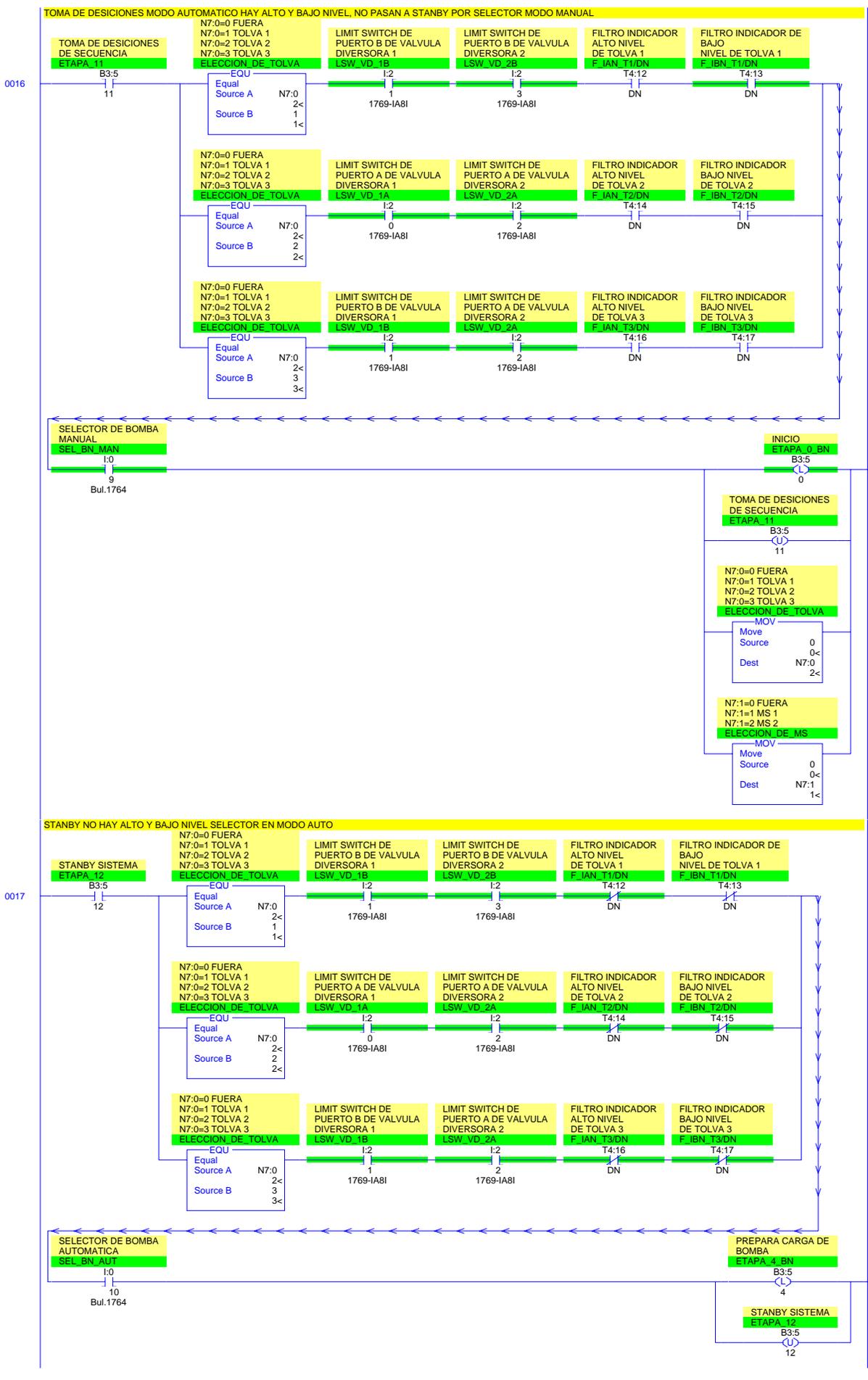


LAD 7 - SECUENCIA --- Total Rungs in File = 20

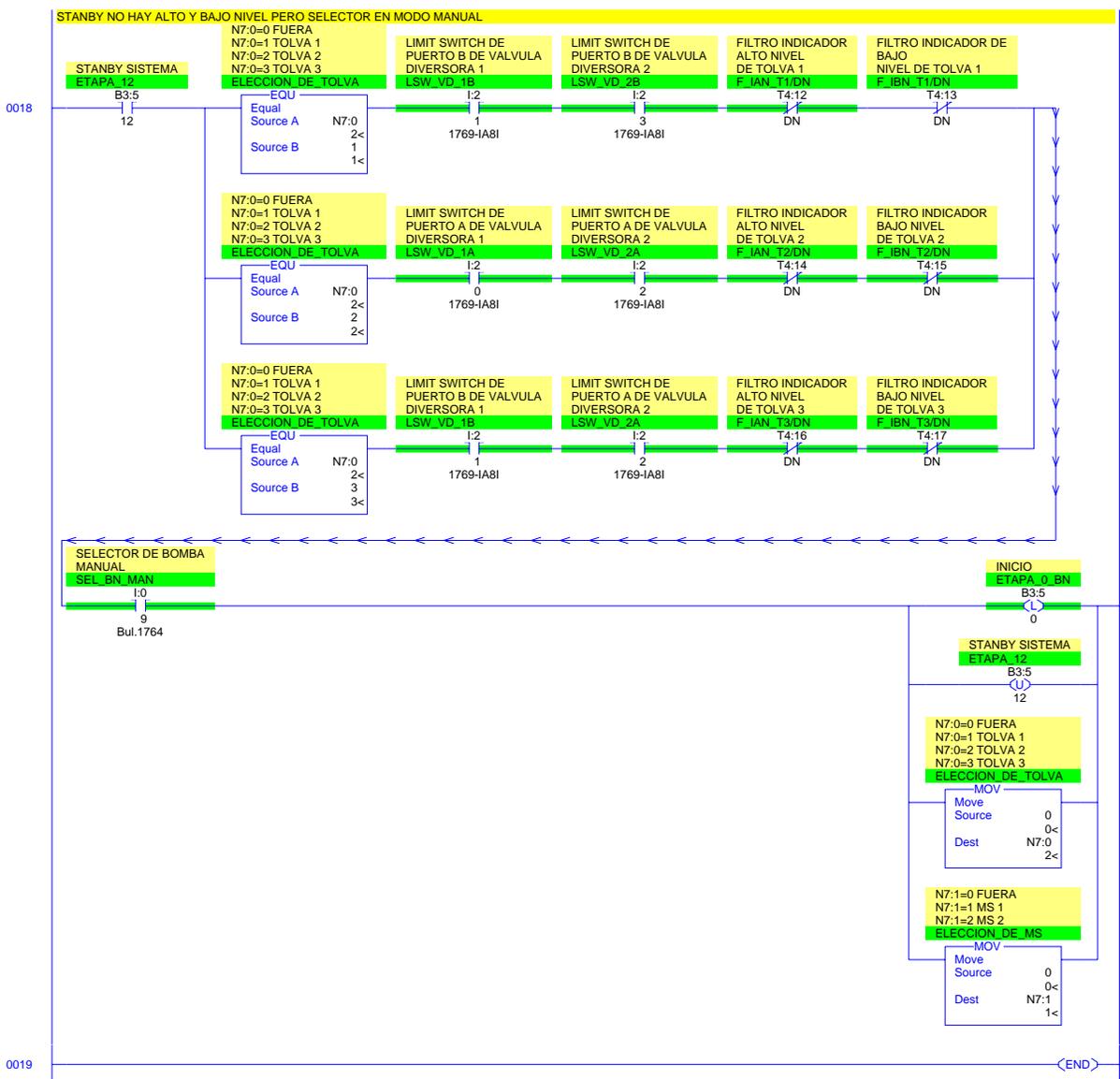




LAD 7 - SECUENCIA --- Total Rungs in File = 20



LAD 7 - SECUENCIA --- Total Rungs in File = 20



LAD 8 - ANALOGICAS --- Total Rungs in File = 4

