

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE MEZCLA DE TINTES EN PINTURAS CÓNDOR.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

Estrella Montalvo David Fabián

Villacreses Sánchez Juan Manuel

DIRECTOR: PhD Luís Corrales

Quito, Marzo del 2007

PRESENTACIÓN

En la presente tesis se presente una solución a la necesidad de modernización de pinturas CONDOR, mediante el diseño y la implementación de la automatización del dispersor M16.

El presente trabajo se encuentra estructurado en 5 capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el Capítulo 1, se realiza una descripción del problema y se plantean las posibles soluciones. Además se complementa con una descripción general de las actividades que realiza Pinturas CONDOR, dando énfasis al proceso de dispersión.

En el Capítulo 2, se presenta inicialmente la selección del software con el que se va a desarrollar el HMI, para esto se analizan varias alternativas con sus ventajas y desventajas. Después de dar una pequeña descripción del software de desarrollo se describe la aplicación desarrollada para el proyecto M16.

En el Capítulo 3, se inicia con la justificación de la selección del PLC LC700. Se continúa con la descripción del hardware y software del PLC, para que exista mayor entendimiento del programa. También se describe la lógica de programación implementada. Finalmente se detalla los diagramas de conexión eléctrica diseñados.

En el Capítulo 4, se describen el diseño y la realización de las pruebas ejecutadas para probar el correcto funcionamiento del sistema.

En el Capítulo 5, se detallan las conclusiones y recomendaciones que se obtienen luego de realizar el diseño, implementación y pruebas del sistema.

RESUMEN

Este proyecto se realiza con el fin de solucionar la necesidad de automatización del proceso que maneja el dispersor M16, para lo cual se utiliza un PLC como controlador y la implementación de una HMI en una PC.

El sistema implementado permite una supervisión y mando remotos de los elementos involucrados en el proceso de descarga y mezcla de materias primas en el dispersor M16, en el tanque M34, en el tanque M35 y en el tanque M36. Se permite funcionamiento automático y manual para las descargas de materia prima.

El sistema está conformado por un PLC que se encarga de recibir y enviar señales de campo, este a su vez se comunica con una HMI desde donde el usuario podrá visualizar y manejar los procesos.

Este proyecto se lo realizó con el fin de minimizar las posibilidades de error humano, para esto en el desarrollo del HMI se incluyeron mensajes de advertencia y bloqueo de funcionamiento cuando se realicen operaciones indebidas.

Para un manejo más seguro del sistema se crean cuatro niveles del acceso al HMI, esto permite discriminar a los usuarios que manejan el proceso.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE MEZCLA DE TINTES BASE

| | | | |
|-----------|---|----|----|
| 1.1 | Teoría de mezcla de tintes base en la industria | 1 | |
| 1.1.1 | Introducción | | 1 |
| 1.1.2 | Sistema de Producción | | 3 |
| 1.1.3 | Proceso de Fabricación | | 4 |
| 1.1.3.1 | Revisión de materia prima | | 5 |
| 1.1.3.2 | Dispersión | | 5 |
| 1.1.3.3 | Estabilización | | 6 |
| 1.1.3.4 | Emulsificación | | 6 |
| 1.1.3.5 | Adición de aditivos y terminación | 7 | |
| 1.1.3.6 | Control de calidad | 7 | |
| 1.2 | Descripción del problema | | 8 |
| 1.3 | Alternativas y soluciones | | |
| 10 | | | |
| 1.3.1 | Diseño de la lógica de control | | |
| 10 | | | |
| 1.3.2 | Descripción y selección del controlador | | |
| 13 | | | |
| 1.3.2.1 | Alternativa 1 | 13 | |
| 1.3.2.2 | Alternativa 2 | 15 | |
| 1.3.2.3 | Selección del controlador | | 16 |
| 1.3.3 | Lógica de programación | | |
| 16 | | | |
| 1.3.3.1 | Alternativa 1 | 17 | |
| 1.3.3.1.1 | Descripción | | 17 |
| 1.3.3.1.2 | Ventajas y desventajas | | 17 |
| 1.3.3.2 | Alternativa 2 | 17 | |
| 1.3.3.2.1 | Descripción | | 17 |
| 1.3.3.2.2 | Ventajas y desventajas | | 17 |
| 1.3.3.3 | Alternativa 3 | 18 | |
| 1.3.3.3.1 | Descripción | | 18 |
| 1.3.3.3.2 | Ventajas y desventajas | | 18 |
| 1.3.3.4 | Selección de la lógica de programación | | 18 |

CAPÍTULO 2 DESARROLLO DEL HMI DEL SISTEMA

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Desarrollo del HMI para el Dispensor M16 | |
| 19 | | |
| 2.1.1 | Selección del software para el HMI | 19 |

| | | | |
|----|-----------|---|----|
| 19 | 2.1.1.1 | Alternativa 1 | |
| | 2.1.1.1.1 | Descripción | 19 |
| | 2.1.1.1.2 | Ventajas y desventajas | 20 |
| 20 | 2.1.1.2 | Alternativa 2 | |
| | 2.1.1.2.1 | Descripción | 20 |
| | 2.1.1.2.2 | Ventajas y desventajas | 21 |
| 21 | 2.1.1.3 | Alternativa 3 | |
| | 2.1.1.3.1 | Descripción | 21 |
| | 2.1.1.3.2 | Ventajas y desventajas | 21 |
| 22 | 2.1.1.4 | Alternativa 4 | |
| | 2.1.1.4.1 | Descripción | 22 |
| | 2.1.1.4.2 | Ventajas y desventajas | 22 |
| 22 | 2.1.1.5 | Selección del software para el HMI | |
| 23 | 2.1.2 | Nociones básicas para el desarrollo del HMI | |
| 23 | 2.1.3 | Parámetros de comunicación del Intouch | 23 |
| 24 | 2.1.4 | Configuración de la comunicación PC y PLC | |
| 24 | 2.1.4.1 | Configuración del I/O server | |
| | 2.1.4.2 | Configuración del Access Name | 25 |
| | 2.1.4.3 | Configuración de los I/O tags | |
| 26 | 2.1.5 | Desarrollo del HMI | 27 |
| | 2.1.5.1 | Creación de modos de funcionamiento | 27 |
| | 2.1.5.2 | Creación de ventanas | 28 |
| | 2.1.5.3 | Creación de niveles de acceso | 43 |
| | 2.1.5.4 | Operación de los elementos | |
| 44 | 2.1.6 | Descripción general del HMI | |
| 49 | 2.2 | Pruebas del HMI | |
| 51 | | | |

CAPÍTULO 3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC

| | | | |
|-----|-----------|---|----|
| 3.1 | 3.1 | Características y funcionamiento del PLC SMAR LC700 | |
| 54 | 3.1.1 | Alternativas de selección del PLC | 54 |
| | 3.1.1.1 | Alternativa 1 | |
| 56 | 3.1.1.1.1 | Descripción | 56 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | 31.1.1.2 Ventajas y desventajas | 56 |
| | 3.1.1.2 Alternativa 2 | |
| 57 | | |
| | 3.1.1.2.1 Descripción | 57 |
| | 3.1.1.2.2 Ventajas y desventajas | 57 |
| | 3.1.1.3 Alternativa 3 | |
| 58 | | |
| | 2.1.1.3.1 Descripción | 58 |
| | 2.1.1.3.2 Ventajas y desventajas | 58 |
| | 3.1.1.4 Alternativa 4 | |
| 58 | | |
| | 3.1.1.4.1 Descripción | 58 |
| | 3.1.1.4.2 Ventajas y desventajas | 59 |
| | 3.1.1.5 Selección del PLC | 59 |
| | 3.1.2 Características Generales | |
| 60 | | |
| | 3.1.3 Arquitectura | |
| 61 | | |
| | 3.1.4 Sistema LC700 para el proyecto del dispersor M16 | |
| 63 | | |
| | 3.1.5 Comunicación del CPU | |
| | 70 | |
| 3.2 | Características y funcionamiento del software CONF700 v8.55 | 72 |
| | 3.2.1 Requerimientos para la instalación del CONF700 V8.55 | 72 |
| | 3.2.2 Configuración de una aplicación | |
| 72 | | |
| | 3.2.3 Desarrollo de una aplicación | |
| 74 | | |
| | 3.2.4 Direcciones MODBUS | |
| 78 | | |
| 3.3 | Desarrollo del programa del PLC para el dispersor M16 | 80 |
| | 3.3.1 Declaración de variables de entrada del PLC | |
| 87 | | |
| | 3.3.2 Declaración de variables de salida del PLC | |
| 92 | | |
| | 3.3.3 Diagramas de conexión eléctrica | |
| 94 | | |
| 3.4 | Pruebas del software del PLC | 104 |

CAPÍTULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS

| | | |
|-----|-----------------------------------|-----|
| 4.1 | Diseño y ejecución de las pruebas | 105 |
| 4.2 | Análisis de los resultados | 109 |

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 1

7

5.1 Conclusiones

111

5.2 Recomendaciones

113

BIBLIOGRAFÍA

115

ANEXOS

CAPITULO 1: FUNDAMENTOS DE MEZCLA DE TINTES BASE

Este capítulo tiene como objetivo precisar las bases de funcionamiento del proceso a automatizarse en el presente proyecto. Además, presenta una descripción de la necesidad expuesta por la empresa y la elección de las soluciones planteadas para la misma.

1.1 TEORÍA DE MEZCLA DE TINTES BASE EN LA INDUSTRIA

1.1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la empresa de Pinturas CONDOR es líder en cuanto a la producción y comercialización de pinturas en el país. Esto ha obligado a la empresa a mantener su sitio mediante la modernización constante de su planta industrial, con el objetivo de mejorar la producción y la calidad de los productos. Para lograr este fin se han venido planificando una serie de proyectos en distintas áreas, entre estos se encuentra el diseño y la implementación de un proceso para la elaboración de pasta, la misma que sirve como base para la elaboración de las pinturas, así como la distribución y almacenamiento de la misma.

La planta de producción de “Pinturas Cóndor” se puede dividir de forma física en dos partes: en la primera se elaboran los productos en base a solventes y en la segunda los productos en base a agua.

Básicamente se elaboraran tres tipos de productos como son: las pinturas (como las pinturas de esmaltes alquílicos), las resinas (como el poliéster) y los solventes (como el tiñer).

El dispersor M16, que se desea automatizar, es una máquina que se utiliza en la elaboración de pinturas, por lo que se profundizará en la descripción y análisis de este producto.

El dispersor M16 fue adquirido con el fin de aumentar la producción y modernizar la planta. Este dispersor se diferencia de anteriores por no permitir que los compuestos que se evaporan en el proceso de dispersión se escapen al ambiente. Esto, además de disminuir las pérdidas en la producción, permite disminuir los niveles de contaminación, factor importante ya que “Pinturas Cóndor” trabaja bajo la norma ISO 14000. Al hablar de pérdidas se considera el no salirse de la variación al costo estándar, ya que si esto sucede se produce una disminución en el margen de ganancia que se obtiene.

Se puede tener muchas definiciones para pintura, pero en Pinturas Cóndor se maneja la concepción de que pintura es un recubrimiento que sirve para ser colocado sobre una superficie para protección, decoración y señalización.

Una pintura básicamente tiene los siguientes componentes:

- Resinas.
- Solventes.
- Pigmentos (también conocidos como polvos o pastas de tinturación).
- Aditivos.

El elemento base que sirve para determinar el tipo de pintura a fabricarse es la resina, dependiendo de la cual se pueden obtener pinturas para aviones, para construcción, para barcos, etc.

Las pinturas que se producen en “Pinturas Cóndor” son las siguientes:

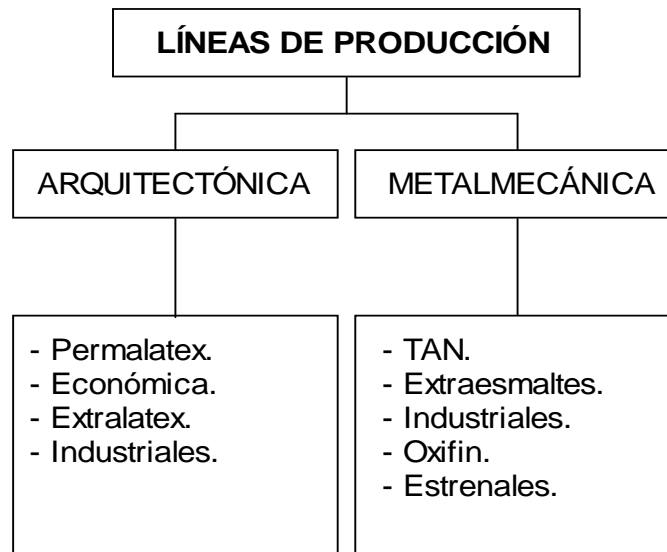


Figura 1.1 Esquema de productos en Pinturas Cóndor

Cada pintura tiene un código industrial único, el mismo que utiliza dos números para definir el color de la misma, por ejemplo, para una pintura permalatex blanca se utiliza el código 2100, donde el 00 especifica que se trata de un color blanco.

1.1.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Para la obtención de un lote de producto es necesario seguir una serie de pasos, los mismos que serán explicados a continuación.

1. **Mercadeo:** En la etapa de mercadeo se obtiene la demanda estimada que existe en el mercado para cada uno de los productos, en un periodo determinado de tiempo. Para obtener los datos de mercadeo es necesario utilizar los datos de venta de cada uno de los productos, para poder realizar un análisis estadístico de la demanda. Además se utiliza un software de computadora llamado “Forecast”.

2. **Planificación:** En base a los datos obtenidos en la etapa de mercadeo se planifica la elaboración de órdenes de fabricación. Lo primero que se hace para poder sacar una orden de fabricación es verificar que exista la materia prima y el material de envasado necesario para sacar un nuevo lote. Cuando se saca una orden de fabricación se debe especificar donde se fabricará este lote, como se lo hará y quien va a estar a cargo. Esto permite una correcta supervisión del proceso de producción.
3. **Revisión:** Una vez que se ha emitido una orden de fabricación, esta debe ser revisada por el departamento técnico, los mismos que basados en la experiencia pueden proponer cambios. El departamento técnico debe dar el último visto bueno antes a producir un lote.
4. **Producción:** En esta etapa se da comienzo a la fabricación que empieza con la elaboración misma de un lote, en el mismo que se controla continuamente la calidad del producto para saber si se cumple con las especificaciones de la orden de fabricación y con todas las normas de calidad impuestas para el producto que se va a obtener. Una vez elaborado el producto se lo envasa y se verifica que los envases tengan la cantidad justa de producto. Luego que se tiene al producto envasado se lo lleva a bodegas, en donde, al ser recibido, se da por terminada la etapa de producción.
5. **Distribución:** Esta etapa consiste en dar salida a todo el producto terminado que se tiene en bodegas. Para esto se deben utilizar los estudios hechos en la etapa de mercadeo y se trabaja de forma directa con el área de “Expocolor” que forma parte de “Pinturas Cóndor”.

1.1.3 PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación se detalla como es un proceso de fabricación para un lote de pinturas de esmalte, con el fin de explicar la forma en la que trabaja el dispersor M16.

Para empezar un proceso de fabricación, primeramente la bodega de materias primas debe preparar la carga, la misma que debe estar especificada en la orden de fabricación. Una vez que la materia prima llega al área de producción, se deben seguir los siguientes pasos:

1.1.3.1 Revisión de materia prima

Una vez que se recibe la materia prima es necesario realizar un chequeo para que las cantidades sean exactas a las de la orden de fabricación, ya que cualquier error puede variar el costo de producción y la cantidad de producto terminado. Siempre es necesario emitir un documento a las bodegas de materia prima, sea para constatar que se ha recibido correctamente las materias o para dar aviso de que falta o se excede alguna materia.

1.1.3.2 Dispersión

La dispersión permite obtener la pasta base y sirve para mezclar de forma correcta los pigmentos con el resto de materia prima. En la etapa de dispersión se utilizan solventes, resinas, dispersantes (humectantes) y pigmentos. Hay que aclarar que el proceso de dispersión no se realiza con toda la materia prima, sino que se utiliza solo la cantidad de solvente y resina necesarios para ofrecer una resistencia adecuada.

El primer paso es bombear resina hacia el dispersor, esto toma un tiempo aproximado de 30 minutos (este puede variar dependiendo de la cantidad y la temperatura de la resina, a mayor temperatura se tiene una resina mas liviana que fluye con mayor facilidad). Luego es necesario poner un poco de dispersante, también llamado humectante, que permite reducir el tiempo de dispersión. Una vez que se ha bombeado toda la resina y colocado el dispersante, es necesario encender el ánora a velocidad máxima durante unos 5 minutos, para realizar una primera mezcla.

Una vez que se tiene la resina en el dispersor se procede a bombear el solvente y a colocar los pigmentos, luego de esto es necesario encender el agitador por un periodo de tiempo que está entre 4 y 5 horas. De esta manera se puede dar por terminada la dispersión, siempre y cuando las características de la pasta se encuentren dentro de los rangos normales.

Para ver si una dispersión está bien realizada se debe evaluar las características de la misma. Las dos características principales que se debe evaluar son la finura y la limpieza. Para evaluar la finura se utiliza una escala (lo aceptable es 7 NS). Caso de no cumplir con esta es necesario aumentar el tiempo de agitación. Para evaluar la limpieza se usa una cartilla donde se aplica un poco de pasta, esta es revisada por operadores que determinan la cantidad de pigmentación, si esta es excesiva es necesario aumentar un poco de dispersante y repetir el proceso de agitación.

1.1.3.3 Estabilización

En esta etapa del proceso se termina de incorporar el solvente y la resina que se especificaban en la orden de fabricación. Para una correcta mezcla de estos con la pasta obtenida en la dispersión es necesario mantener encendido el agitador durante el bombeo. Para la estabilización, la velocidad del agitador puede ser menor que con la que se trabajó en la dispersión.

1.1.3.4 Emulsificación

La etapa de emulsificación permite aumentar la viscosidad de la pintura. El primer paso para una correcta emulsificación es encender el agitador a una velocidad mínima de 700 RPM, luego de esto se debe empezar a incorporar el agua a la mezcla. Aquí es muy importante la velocidad con la que se agrega el agua (por experiencia se determina que se debe incorporar a unos 45 Kg/min) para poder obtener una buena viscosidad. Después de que se ha

incorporado el agua especificada en la orden de fabricación es necesario seguir agitando la mezcla durante unos 30 a 40 minutos.

1.1.3.5 Adición de aditivos y terminación

Para que la pintura sea de secado rápido es necesario utilizar aditivos que se conocen como secativos, estos permiten disminuir el tiempo de secado de 10 horas a 3 horas aproximadamente.

Una vez incorporados los aditivos ya se tiene la pintura terminada, por lo que se realiza un control de viscosidad, la misma que debe estar entre el rango de 95 KV a 100 KV. En caso de que la pintura sea demasiado viscosa es necesario aumentar solventes y realizar una mezcla rápida. De faltar viscosidad, es necesario repetir la etapa de emulsificación aumentando un poco de agua.

1.1.3.6 Control de Calidad

Antes de proceder al envasado es necesario realizar un control de calidad, de la pintura. Lo primero que se hace es una revisión del color que tiene la pintura, para lo que se utiliza una cartilla. En esta se compara una muestra de pintura del lote que acaba de salir con una pintura estándar, primero se realiza una comparación visual y luego se usa el “datacolor”. El lote queda aprobado siempre y cuando el rango de variación con el estándar no supere el 2%.

El paso final en la revisión de calidad es llevar muestras de pintura al departamento técnico, el mismo que realizará pruebas de la pintura sobre distintas superficies con el fin de verificar que se cumplan todos los estándares de calidad impuestos.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Para la elaboración de la pasta es necesario dosificar en cantidades previamente definidas elementos como: solventes, resinas y polvos, los que son mezclados en un equipo especializado conocido como dispersor o reactor, equipo que realiza su función mediante el movimiento de un agitador y de un ánora. Para la obtención de la pintura se utilizan 3 tanques a los cuales se los provee de resinas, solventes, pasta y polvos, para que sean mezclados en cada tanque por una hélice. Existen dos tipos de resinas a distribuir: AMSO40 y AGSO50X, debido a esto se deberá establecer el cómo llevar la respectiva resina hasta el dispersor o hasta los tanques, según sea el caso.

Para lograr una mayor eficiencia en el proceso antes descrito se ha visto necesario el uso de un interfaz hombre-máquina basado en un computador que permita controlar las dosificaciones de los distintos componentes y la mezcla de los mismos tanto en los tanques como en el dispersor. También se ha pensado en la implementación de un sistema autónomo en base a recetas, el cual permitirá elegir la cantidad en que se va a dosificar cierto componente, su destino así como el orden con que se debe realizar este proceso. Además, considerando el hecho de que el proceso de dosificación toma demasiado tiempo, se ha visto la necesidad de realizar dosificación durante las horas no laborables.

Por petición de pinturas CONDOR fue necesario incluir en el proyecto la posibilidad de expansión a futuro de la descarga de una materia prima

adicional llamada UREA, al tanque M34 y a una balanza, y la descarga de pasta a un proceso de llenado externo. Esta parte del proceso no se piensa implementar físicamente de forma inmediata pero su implementación está dentro de los planes de la empresa, por lo que se la implementará en el HMI.

Un factor que debe ser considerado en el presente proyecto es la optimización de recursos ya existentes, aprovechando elementos que están en funcionamiento actualmente. Para aprovechar el uso de bombas para la descarga de resinas se plantea crear un bypass para llevar la resina a nuestro proceso. También se aprovechará la existencia de un sistema de descarga de solventes, en donde se limitará el ingreso del mismo.

Para un mejor entendimiento del proceso a automatizar se ha dividido al mismo en algunas partes las que se establecen mediante gráficos a continuación detallados.

Para la elaboración de pasta (elemento base en la generación de pinturas) dentro del dispersor M16, se necesita incorporar solventes, resinas, aditivos y polvos (Figura 1.2). Los polvos y los aditivos se incorporan de forma manual, mientras que los solventes y las resinas son bombeados desde tanques de almacenamiento y llevados mediante tuberías. Para realizar la mezcla dentro del dispersor M16 se utiliza el movimiento de un agitador y un ancora (motores eléctricos existentes en el dispersor M16).

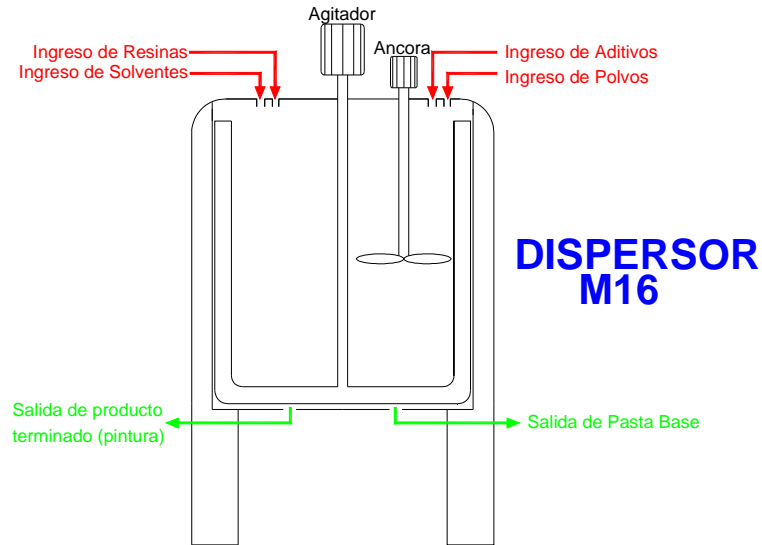


Figura 1.2 Dispensador M16

Existen tres tanques (Tanque M34, Tanque M35 y Tanque M36), utilizados para dos funciones principales: almacenamiento de productos terminados provenientes del dispersor M16 y generación de productos luego de mezclar pasta base con elementos adicionales. Los elementos adicionales a ser incorporados en cada tanque dependen del producto al que se destina el mismo (Figuras 1.3, 1.4 y 1.5). Todos estos elementos son bombeados desde tanques de almacenamiento y llevados mediante tuberías.

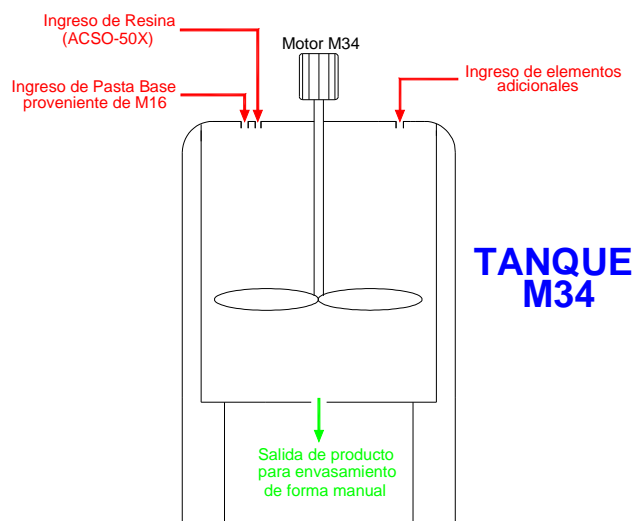
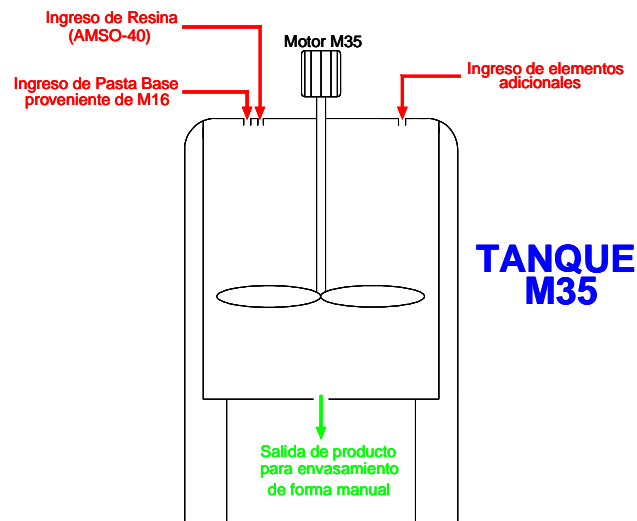
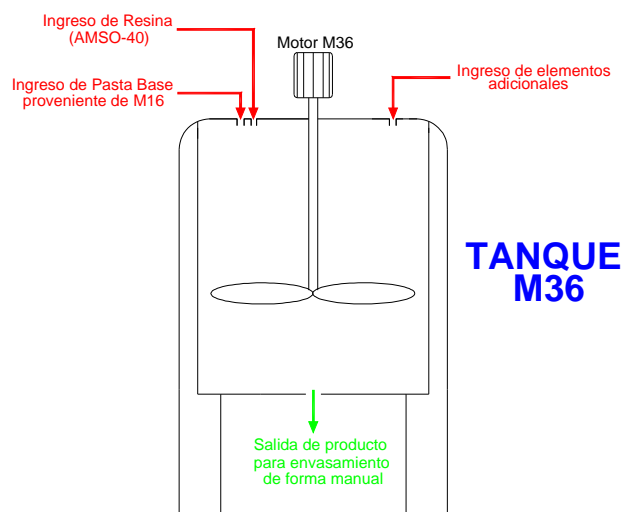


Figura 1.3 Tanque M34

**Figura 1.4 Tanque M35****Figura 1.5 Tanque M36**

Del proceso explicado anteriormente se concluye que los procesos de bombeo, envío de elementos y mezclado son susceptibles de ser automatizados.

Finalmente resumiendo todo lo anteriormente dicho, la siguiente Figura 1.6 indica los elementos que se incluirán en el proyecto (bombas, válvulas y motores).

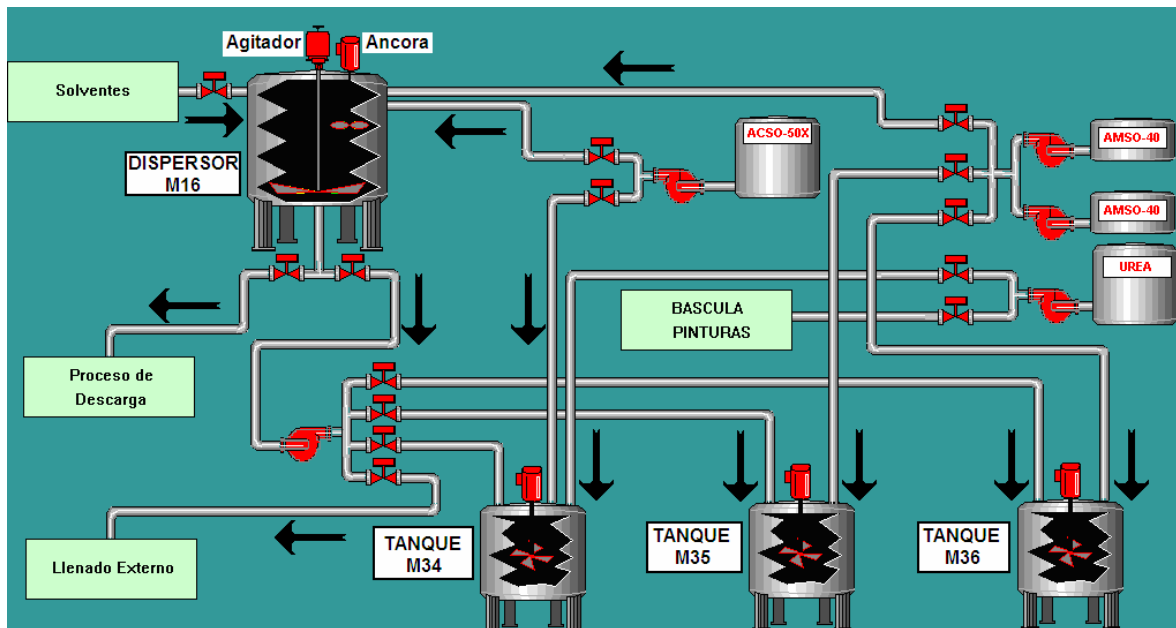


Figura 1.6 Esquema del proceso completo del proyecto Dispensador M16

1.3 ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES

Con el fin de realizar la automatización del dispensador es necesario primero determinar el diseño de la lógica de control.

1.3.1 DISEÑO DE LA LOGICA DE CONTROL

La lógica de control tiene su base en la creación de dos modos de funcionamiento bien definidos que son:

Modo Local.- Este corresponde a un modo de funcionamiento desde sitio mediante la manipulación de pulsantes de marcha y paro que a su vez determinan la operación de relés y contactores para establecer el funcionamiento de los distintos elementos involucrados en el proyecto.

Modo Remoto.- Este modo corresponde a una operación desde una HMI implementada en un computador. Para esto se comunicará la HMI con un controlador, el mismo que mediante datos provenientes del HMI, señales de campo y un programa interno decidirá el funcionamiento de los distintos elementos involucrados en el proceso.

En la operación remota del proceso se puede trabajar en dos modos de funcionamiento que son modo manual y modo automático (recetas). El modo manual consiste en la manipulación directa de las señales de mando. El modo automático consiste en la configuración de tareas, para que sean ejecutadas por el controlador

Para poder visualizar la lógica de control se establece el siguiente diagrama de bloques (Figura 1.7).

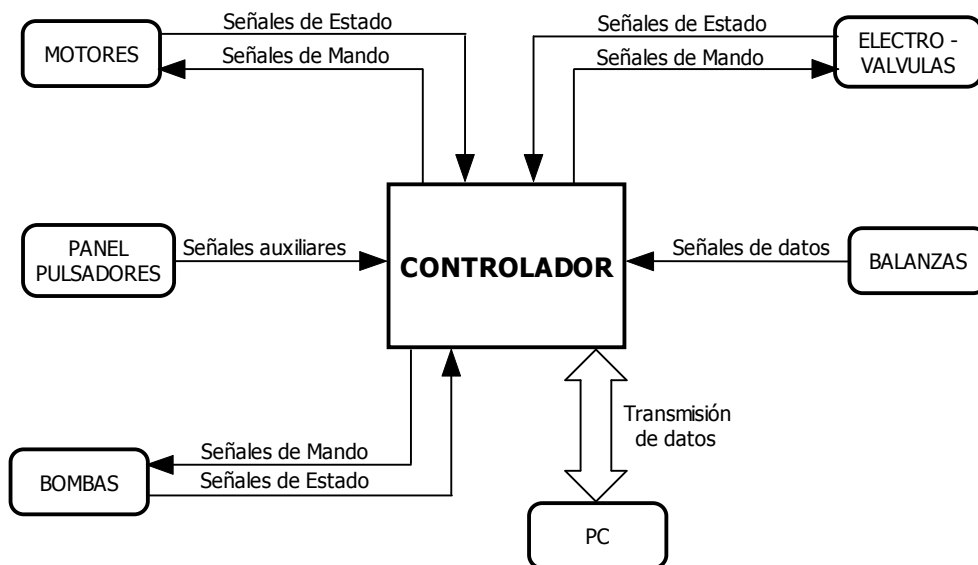


Figura 1.7 Diagrama de bloques de la lógica de control para el proceso del dispersor M16

Para poder realizar el proceso de forma automática se plantea la necesidad de utilizar un controlador capaz de manejar todas las señales y datos especificados en el diagrama de bloques.

A continuación se da una descripción de cada una de las señales que intervienen en el proceso así como la función que cumplen.

- **Señales de estado.**- Estas son señales discretas de entrada al controlador, aquí se pueden diferenciar dos tipos de señales que son las de estado de funcionamiento y las de estado de térmico. La señal de estado de funcionamiento sirve para conocer el estado de operación de motores, bombas o electroválvulas. La señal de estado de térmico indica si una protección térmica se ha accionado para un motor o bomba, con el fin de mostrar esta información en el HMI y hacer que el controlador ponga en 0 la señal discreta de funcionamiento de este elemento.
- **Señales de mando.**- Estas son señales discretas de salida del controlador, estas señales sirven para comandar el funcionamiento de motores, bombas o electroválvulas, el cambio de estado de esta variable puede depender de dos factores según sea el modo de funcionamiento. Si el funcionamiento es manual el controlador deberá recibir esta información del HMI, pero si el funcionamiento es mediante recetas el controlador usando datos provenientes del HMI y utilizando un algoritmo previamente programado establecerá el estado de las mismas de forma automática.
- **Señales auxiliares.**- Estas son señales discretas de entrada al controlador, estas señales corresponden al selector de modo de funcionamiento para motores o bombas. Cuando el funcionamiento es local toda la lógica de control se la hace físicamente por medio de relés auxiliares y el controlador al recibir esta señal debe deshabilitar el control que se le ha programado. Cuando el funcionamiento es remoto el controlador toma todas las decisiones de control y se deshabilita el control físico.

- **Señales de datos.**- Estas son señales análogas de entrada al controlador, las mismas que provienen de balanzas que realizan el pesaje de los 3 tanques y el dispersor. También existe una señal de temperatura proveniente del dispersor y una de velocidad del agitador del dispersor. Estas señales serán mostradas de forma continua en el HMI con el fin de que sean supervisadas por el operador, además en el modo de funcionamiento mediante recetas darán la información necesaria al controlador para que este decida las acciones a tomar mediante un algoritmo de control.
- **Transmisión de datos.**- En la transmisión de datos del controlador a la PC y viceversa se trabajará tanto con datos discretos como con datos enteros, por lo que estos elementos deben poder internamente trabajar con este tipo de datos. Los datos que se manejan en la transmisión de datos son todos aquellos que se mostrarán al operador del HMI, los que ingresa el mismo para tomar decisiones en el proceso, y todas las variables auxiliares que se deban comunicar del HMI al controlador o viceversa.

1.3.2 DESCRIPCION Y SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Para la selección de un controlador se debe considerar varios factores tanto de la parte técnica como de la económica. A continuación se describen algunos puntos que van a ser considerados en cada alternativa de controlador que se plantee:

- La forma en que el controlador va a manejar las señales provenientes del campo. Se debe analizar el número de entradas y salidas que se pueden manejar (discretas y análogas), así como la posibilidad de algún acondicionamiento de las señales.

- **El tipo de comunicación con el computador, para la transmisión y recepción de datos. Es importante establecer el protocolo de comunicación que utiliza así como la interfaz de comunicación.**
- **La capacidad de memoria con que se cuenta.**
- **El tipo de lenguaje que utiliza para programación, su facilidad de manejo así como su alcance.**
- **La confiabilidad del controlador y su robustez para trabajo en la industria.**
- **Es importante considerar la facilidad de manejo y el mantenimiento que se le pueda dar al mismo, así como la posibilidad que brinde para realizar posibles expansiones.**
- **Se considerará el aspecto económico como un factor de selección.**

Alternativa 1

Una primera alternativa que se planteó fue el uso de un PLC.

Este al ser un controlador diseñado para la industria, permite un manejo fácil de las señales de campo, tanto en la conexión física como en trabajo de software.

Dependiendo de la marca y modelo del PLC, se pueden utilizar una variedad muy amplia de protocolos de comunicación. Uno de los protocolos más utilizados es el MODBUS, el mismo que al no ser propietario ha sido empleado por una gran cantidad de fabricantes. También se ha popularizado el TCP/IP ya que permite una conexión directa a las redes administrativas. Las interfaces de comunicación que utilizan la mayoría de PLCs son el RS-232 para distancias cortas y el RS-485 para distancias largas. Al hablar de

forma general de PLCs, se tiene un amplio rango de selección para el tipo de comunicación que se puede realizar.

En la capacidad de memoria se debe tener en cuenta la cantidad de variables que puede utilizar en software un PLC así como el tamaño del programa que se pueda implementar. La capacidad de memoria de un PLC dependerá del fabricante y del modelo, lo que abre una amplia gama de selección.

El lenguaje de programación mas común para PLC es el Ladder y el de bloque de funciones, pero dependiendo del PLC se pueden tener lenguajes distintos o complementarios a los ya mencionados. Como se puede escoger entre varios PLCs en el mercado se debería buscar el que brinde más versatilidad en lo que se refiere a software de programación.

Un PLC tiene la ventaja de ser de fácil manejo, además la mayoría de fabricantes brindan asesoramiento técnico por medio de las distribuidoras a nivel nacional o en consultas directas al fabricante vía telefónica o por medio del Internet, esto también se traduce en una mayor facilidad en el mantenimiento. Siempre al seleccionar un PLC se debe considerar que el PLC sea modular pues brinda mayor libertad para realizar posibles expansiones en el futuro.

Esta alternativa resulta relativamente costosa, el costo dependerá de distintos factores como: la marca, el modelo, la cantidad de entradas, la cantidad de salidas, la cantidad de memoria, la garantía, etc.

Alternativa 2

Como segunda alternativa se planteó utilizar un sistema en base a un microcontrolador PIC.

Los PICs necesitan un acondicionamiento de las señales de entrada y salida de campo, ya que son diseñados para trabajar con valores de voltajes y

corrientes bajos. La cantidad de entradas y salidas que se pueda manejar está limitada al número de puertos que se tenga.

Un PIC no viene con un protocolo predeterminado para comunicación, sino que este debe ser implementado dentro del software de control que se utilice. En lo que se refiere a la interfaz de comunicación, se tiene una TX y un RX que trabajan con 0V (0L) y 5V (1L), pero se puede establecer la interfaz estándar de comunicación RS-232 utilizando un hardware adicional.

En cuanto a la capacidad de memoria de un microcontrolador PIC se establece que la misma se encuentra en el orden de los kilobytes, pero que es factible de expansión mediante la adición de memorias externas.

El lenguaje de programación tiene una amplia gama de posibilidades entre las que se cuentan:

- El ensamblador;
- En base a Q Basic;
- En base al lenguaje C;
- En base a Pascal.

Para su uso en la industria se debe contar con elementos adicionales que lo hagan más robusto pues es susceptible de ser afectado por ruidos exteriores creados por ejemplo por el funcionamiento de motores, factor que lamentablemente lo hace poco confiable para el trabajo de campo.

Al crear un sistema en base a un PIC se tiene también limitaciones con respecto al mantenimiento, ya que una vez implementado el sistema no se contará con un asesoramiento técnico, lo que implica también dificultades para posibles expansiones.

El costo del microcontrolador PIC junto a todo el hardware adicional es relativamente bajo.

Selección del Controlador

Después de analizar las alternativas existentes se escoge al PLC como controlador por las siguientes razones:

- Una clara inclinación por parte de la dirigencia de CONDOR a trabajar con un PLC.
- La robustez y confiabilidad que da el mismo para trabajo industrial, resulta crucial debido a la naturaleza del proceso.
- La posibilidad de poder elegir entre una amplia gama de modelos y marcas, lo que implica poder escoger entre varios protocolos de comunicación, tipos de CPU, variedad de memoria, etc.
- El respaldo y soporte técnico que los PLCs tienen por parte de los fabricantes y distribuidores.

1.3.3 LOGICA DE PROGRAMACION

Respecto a la lógica de programación coherente entre PLC y HMI, para realizar el control, se pensó en las siguientes alternativas:

Alternativa 1

Descripción

En esta alternativa se pensó en realizar todo el control desde el computador por medio del HMI y hacer que el PLC solo se utilice para manejo de señales.

Ventajas y Desventajas

Esta alternativa tiene la ventaja de facilitar la programación, ya que los lenguajes de programación con los que se trabajan para desarrollar el HMI en el computador son más amigables para el usuario.

La desventaja más significativa de esta alternativa radica en que todo el control dependería del correcto funcionamiento del computador, el mismo que no es muy confiable en relación al PLC.

Alternativa 2

Descripción

Una segunda alternativa consiste en distribuir el control entre el PLC y el computador. Logrando de esta manera reducir la complejidad de los programas tanto del PLC como el del HMI.

Ventajas y Desventajas

Al distribuir el programa tanto en el PLC como en el computador, se puede desarrollar el programa con las ventajas de ambos lenguajes de programación, lo que facilita el trabajo de desarrollo, siendo esta una ventaja en esta alternativa.

Al tener el control tanto en el PLC como en el computador, se está dependiendo de ambos elementos para tener un buen funcionamiento del control, esto incrementa la posibilidad de que se generen errores.

Alternativa 3

Descripción

Para esta opción se consideró realizar el control enteramente desde el PLC dejando al HMI la visualización de datos para supervisión y el ingreso de datos para la operación. Esto permite un funcionamiento más seguro del sistema y es la alternativa preferida en los sistemas industriales.

Ventajas y Desventajas

La ventaja principal es la alta confiabilidad que se tendría en el control, ya que el PLC es un elemento mucho más confiable y robusto que un computador.

El desarrollar la lógica de control completamente en el PLC, implica una desventaja en la programación, ya que el lenguaje manejado por el PLC es menos amistoso que el del software para desarrollar el HMI.

Selección de la lógica de Programación

De la comparación entre las 3 alternativas se escoge a la *alternativa 3* debido a que el proyecto requiere de un alto grado de confiabilidad para lo cual se debe realizar la programación por completo en el PLC.

A continuación, en el capítulo 2, se explicará la forma en la que se desarrollo el HMI del presente proyecto así como su respectiva operación.

| | |
|---|----|
| CAPITULO 1: FUNDAMENTOS DE MEZCLA DE TINTES BASE | 8 |
| 1.1 TEORÍA DE MEZCLA DE TINTES BASE EN LA INDUSTRIA | 8 |
| 1.1.1 INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 1.1.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1.1.3 PROCESO DE FABRICACIÓN..... | 11 |
| 1.1.3.1 Revisión de materia prima..... | 12 |
| 1.1.3.2 Dispersión..... | 12 |
| 1.1.3.3 Estabilización | 13 |
| 1.1.3.4 Emulsificación | 13 |
| 1.1.3.5 Adición de aditivos y terminación..... | 14 |
| 1.1.3.6 Control de Calidad..... | 14 |
| 1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.3 ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES | 19 |
| 1.3.1 DISEÑO DE LA LOGICA DE CONTROL..... | 19 |
| 1.3.2 DESCRIPCION Y SELECCIÓN DEL CONTROLADOR | 22 |
| 1.3.3 LOGICA DE PROGRAMACION | 26 |

CAPITULO 2: DESARROLLO DEL HMI DEL SISTEMA

En el presente capítulo se realiza una descripción de la plataforma de desarrollo del HMI que se utilizará en el presente proyecto. Se establece la lógica utilizada en el desarrollo del HMI, además se indica la forma de operación del mismo.

2.1 DESARROLLO DEL HMI PARA EL DISPERSOR M16

La plataforma de desarrollo que se utilizará para la elaboración del Interfaz Hombre-Maquina del presente proyecto es el INTOUCH 7.0, pues CONDOR cuenta con el paquete y la licencia del mismo.

2.1.1 NOCIONES BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DEL HMI

La plataforma de desarrollo INTOUCH versión 7.0, está diseñada para crear aplicaciones en Windows 95 y NT. Este software trabaja bajo dos ambientes que son WindowMaker y WindowViewer, los cuales requieren licencias individuales o una que abarque los dos ambientes de trabajo (las licencias requieren una llave física). Los ambientes de trabajo se describen a continuación

Windowmaker.- Este es el ambiente de desarrollo, donde en base a gráficos animados se crea ventanas de visualización interactivas.

Windowviewer.- Este es el ambiente de ejecución, en donde se despliegan las ventanas previamente desarrolladas en el windowmaker.

El INTOUCH es una plataforma que se caracteriza por trabajar en base a tags, los que corresponden a las variables que serán usadas en la

aplicación. Existen distintos tipos de tags, dentro de los cuales se diferencian los que se utilizan solo en la aplicación y los que se utilizan para la comunicación con dispositivos externos.

2.1.2 PARAMETROS DE COMUNICACIÓN DEL INTOUCH

Para la presente aplicación que se desarrolla en el INTOUCH, se establece que el protocolo de comunicación que se usara es el MODBUS, por lo que el servidor de comunicación a utilizarse será el Wonderware Modicon MODBUS I/O Server.

Los servidores de comunicación para el intouch, usan una convención para identificación de variables basada en tres partes, que son application name, item name y topic name, a continuación se explica cada una de ellas.

Application name.- Identifica el nombre de la aplicación en ejecución, que necesita acceder al dato.

Topic name.- Es el nombre que se designa para poder identificar cada uno de los elementos con los que se realiza la comunicación, esto implica que cada elemento externo requiere su propio topic name.

Item name.- Es el parámetro que permite asignar una dirección a un tag, permitiendo un entendimiento entre las variables de comunicación del HMI y el elemento externo.

2.1.3 CONFIGURACION DE LA COMUNICACIÓN PC Y PLC

Para configurar la comunicación es necesario seguir algunos pasos.

2.1.3.1 Configuración del I/O Server

La configuración del servidor modicon MODBUS de wonderware consta de dos partes, la primera es configurar el puerto de comunicación que se va a utilizar mediante la ventana mostrada en la Figura 2.1.

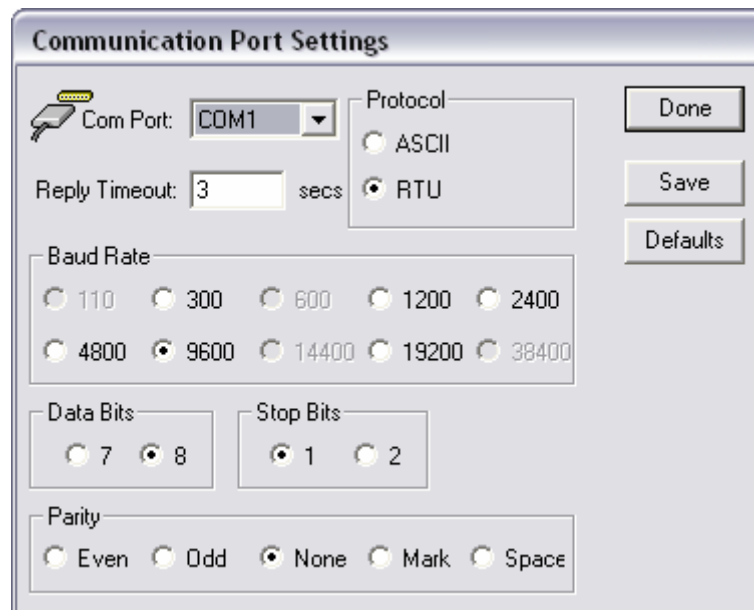


Figura 2.1 Ventana de configuración del puerto de comunicación

El segundo paso es crear y configurar un tópico. Se debe definir un topic name por cada dispositivo conectado al HMI. En la ventana de "Topic Definition" (Figura 2.2) se puede observar los parámetros a configurar, como son: el tipo de dispositivo, puerto de comunicación, etc. La configuración mostrada en la Figura 2.2 es la recomendada por el fabricante.

MODBUS Topic Definition

Topic Name:

Com Port: Slave ID:

Slave Device Type:

Use Concept Data Structures

String Variable Style

- Full length (padded with spaces on the end)
- C style (end marked by zero byte)
- Pascal style (first byte contains length)

Register Type

- BINARY
- BCD

Block I/O Sizes

Coil Read: Register Read:

Coil Write: Register Write:

Update Interval: msec

OK Cancel

Figura 2.2 Ventana de configuración de un topic name

2.1.3.2 Configuración del Access Name

Ya en la aplicación, en el WindowMaker, se debe crear un “Access Name”. Para esto en el menú principal se selecciona special/access name/add, también se puede modificar un access name ya creado seleccionando modify en lugar de add.

En la Figura 2.3 se puede observar la ventana de configuración del “Access Name”.

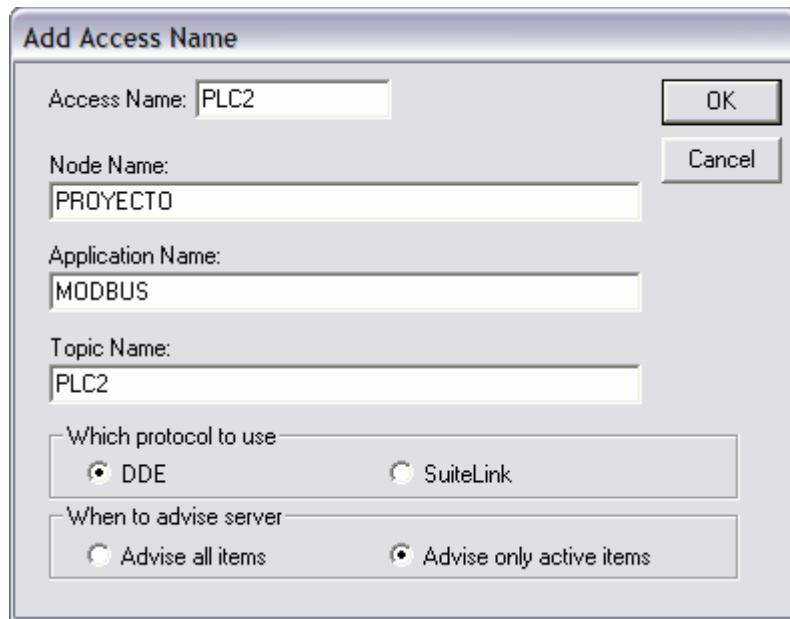


Figura 2.3 Ventana de configuración de un access name

Dentro de los principales parámetros a configurar tenemos:

- **Access Name**. Corresponde al nombre del “Access Name”.
- **Node name**. Corresponde a un nombre para identificar el lugar donde se encuentra el HMI.
- **Application name**. Es el nombre del I/O Server que utilizara el “Access Name”.
- **Topic name**. Se pone el “Topic Name” del elemento que usará el “Access Name” que se está configurando.

2.1.3.3 Configuración de los I/O tags

Dentro del tipo de Tags que se pueden crear en intouch se tiene un grupo que sirve para la comunicación, estos son del tipo I/O. Sin importar si una variable I/O es discreta, real o entera, requiere que se configuren dos parámetros, primero se le debe asignar un “Access Name” y segundo se debe dar a la variable un “Item Name”.

2.1.4 DESARROLLO DEL HMI

En el desarrollo del HMI se persiguió cumplir con los requerimientos expresados por Pinturas CONDOR, de ahí que el interfaz implementado se basa en gran parte al HMI existente para el proyecto de “Resinas”.

Dentro de los planteamientos de CONDOR esta la necesidad de que existan 2 modos de funcionamiento desde el HMI. El primer modo debía permitir la operación manual de forma remota de los elementos, implicando completa responsabilidad en la toma de decisiones por parte del operador. El segundo modo debía ser capaz de realizar descargas de materia prima de forma autónoma y a cualquier hora.

Además de los modos de funcionamiento plateados por CONDOR, se pensó en un modo de funcionamiento completamente independiente a la operación del PLC.

Otro planteamiento realizado por CONDOR es que el HMI debía contar con algunos niveles de acceso con el fin de limitar el nivel de operación de acuerdo a la experiencia y responsabilidad de la persona que se encuentre manejando el sistema.

Con el fin de cubrir estos planteamientos al HMI se lo desarrolló de la siguiente manera:

2.1.4.1 Creación de Modos de Funcionamiento

Se crearon tres modos de funcionamiento que son:

Modo Local.- En este modo se podrá operar desde sitio a los motores y bombas mediante pulsantes físicos.

Modo Manual.- El modo de funcionamiento manual permitirá operar, mediante el HMI, los elementos involucrados en el sistema. Este modo de funcionamiento implicará una supervisión continua del operador para poder realizar descargas.

Modo Recetas.- El modo recetas requerirá que el operador ingrese la secuencia de descargas a realizar y las cantidades a descargar. El operador podrá iniciar una receta de forma instantánea o seleccionar la hora de inicio.

2.1.4.2 Creación de Ventanas

Debido a la existencia de los tres modos de funcionamiento el HMI dispone de varios tipos de ventanas: ventana de acceso, ventanas secundarias, ventanas de información, ventanas de operación, ventanas de supervisión y ventana de receta.

Ventana de Acceso.- Esta ventana será la primera en aparecer al iniciar el HMI, en esta se debe ingresar el nombre de usuario y la clave de acceso. No es posible abrir otra ventana de la aplicación si no se ingresa parámetros validos para un usuario. La ventana de acceso se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Ventana de acceso

Ventanas Secundarias.- Estas ventanas permiten operar en el modo manual a las motores, válvulas y bombas. Para acceder a estas ventanas se debe pulsar sobre las representaciones de los elementos existentes en las ventanas de operación. Estas ventanas se detallan en el manejo de los elementos en las ventanas de operación. En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de una de las ventanas secundarias.



Figura 2.5 Ejemplo de una ventana secundaria

Ventanas de información.- Estas ventanas son desplegadas con distintos mensajes de información que permiten advertir errores y guiar al operador en el manejo del HMI.

Ventanas de Operación.- Estas ventanas tienen una representación de cada elemento a ser comandado o supervisado, como son: tanques, motores, válvulas y bombas. Cada representación tiene un enlace directo a una ventana secundaria en donde se permite la operación de: marcha-paro, encendido-apagado, apertura-cierre del respectivo elemento. Además, todas las representaciones indican el estado del elemento al que corresponden al cambiar de color.

La Figura 2.6 muestra un ejemplo de una ventana de operación.

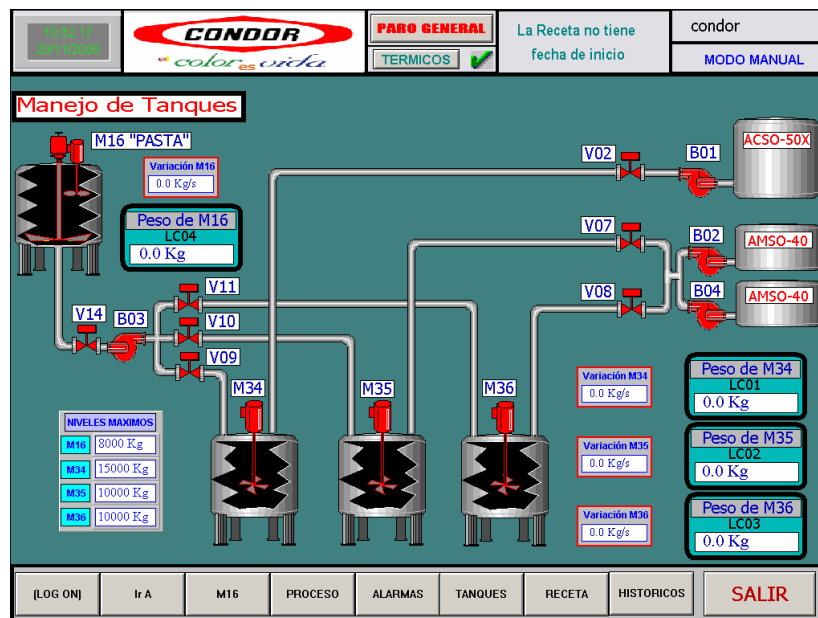


Figura 2.6 Ejemplo de ventana de operación

Estas ventanas además cuentan con recuadros en donde se puede apreciar el valor en tiempo real de las variables análogas que representan: peso del contenido del dispersor M16, peso del contenido del tanque M34, peso del contenido del tanque M35, peso del contenido del tanque M36, velocidad de giro del agitador del dispersor M16 y temperatura del dispersor M16.

Una característica general de las ventanas de operación es la de contar con un encabezado en la parte superior y un menú de navegación en la parte inferior.

- **Encabezado.-** Todas las ventanas de operación muestran un encabezado que proporciona información general del proceso. En la Figura 2.7 se describe el mismo.



Figura 2.7 Encabezado

El botón **PARO GENERAL** permite generar un paro en caso de un desborde ya que permite cerrar válvulas y apagar bombas. Al presionar sobre este se despliega una ventana secundaria de confirmación de paro, para asegurar que este no ha sido pulsado por accidente. Si se confirma el paro general, este será ejecutado de forma inmediata y una ventana (Figura 2.8) será desplegada en la cual se encuentra información que permita establecer posibles causas por la que se debió generar el paro. La ventana de paro general será desplegada además, si el paro se lo generó de forma externa, pero el botón “CANCELAR PARO GENERAL” quedará deshabilitado.

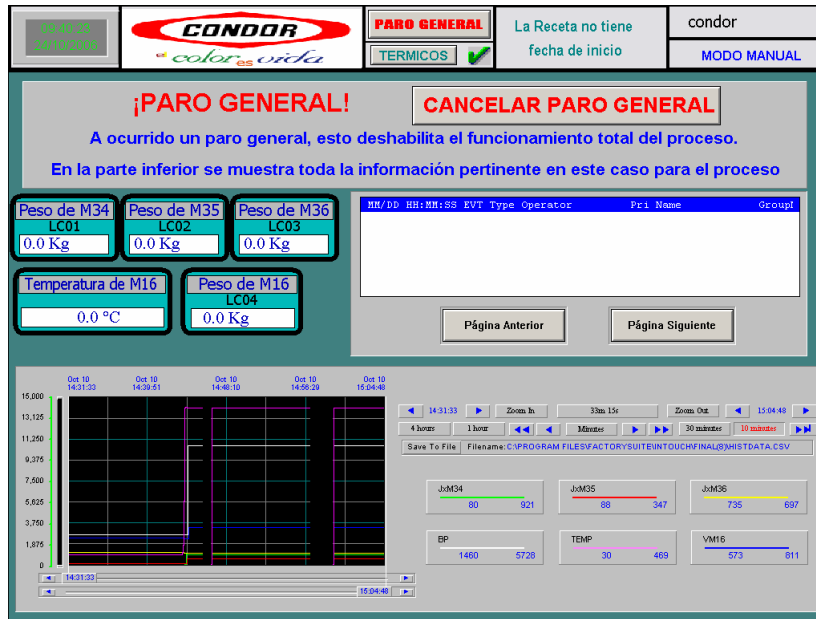




Figura 2.8 Ventana de paro general

La imagen de estado de los térmicos permite conocer si una de las protecciones térmicas de los motores o las bombas se ha accionado. Si ninguna protección térmica se ha accionado, se mostrará el siguiente símbolo  , caso contrario este se reemplaza por el siguiente símbolo  (además la palabra “TERMICOS” comenzara a parpadear entre los colores rojo y verde).


Al pulsar sobre el botón  , una ventana de información se desplegará, que muestra el estado de las protecciones térmicas (Figura 2.9).



Figura 2.9 Ventana de térmicos

El recuadro de *información de receta* puede tener cuatro estados que son:

1. Receta inactiva.- Este estado indica que ninguna receta a sido configurada o iniciada (Figura 2.10).

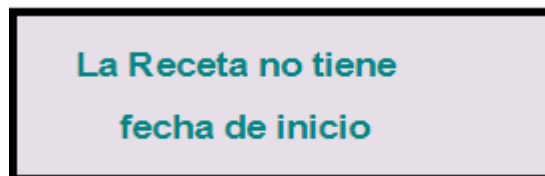


Figura 2.10. Receta Inactiva

2. Receta en proceso.- Este estado indica que una receta se encuentra en operación (Figura 2.11).



Figura 2.11 Receta en proceso

3. Receta ingresada con una fecha de inicio.- Este estado previene al operador de que una receta ha sido configurada e iniciará su operación en una fecha y hora determinadas (Figura 2.12).

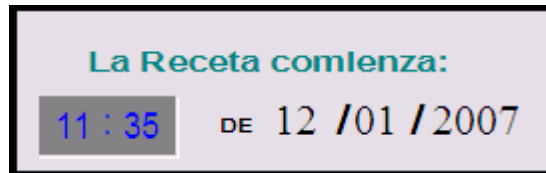


Figura 2.12 Receta con fecha de inicio

4. Receta en pausa.- Este estado indica que una receta que estuvo en proceso se encuentra en pausa (Figura 2.13)

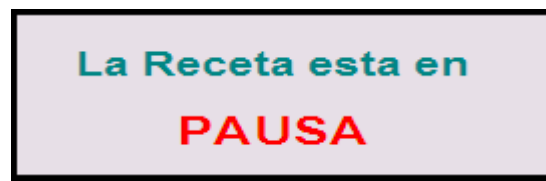


Figura 2.13 Receta en pausa

El recuadro de *nombre de usuario* sirve para identificar al usuario que se encuentra operando el HMI en ese momento.


El recuadro de *modo de funcionamiento* permite visualizar de que forma está operando el HMI. En caso de estar funcionando una receta aparecerá **MODO AUTOMATICO**, caso contrario el funcionamiento será manual y aparecerá **MODO MANUAL**.

- Menú de navegación.- Otra característica común de las ventanas de operación es el menú inferior de navegación (Figura 2.14). Este tiene botones para acceder a las principales ventanas del HMI y un botón para

cerrar el WindowViewer (“SALIR”). Al presionar sobre este botón la aplicación se cierra y por lo tanto la comunicación con el PLC se interrumpe, en este caso el único modo de funcionamiento es el local.



Figura 2.14 Menú Inferior de Selección

Si se desea cambiar de usuario se debe pulsar sobre , de esta manera aparece la ventana de acceso. Se debe considerar que cada vez que se pulse “LOG ON” se perderá el nombre de usuario anterior.

El botón “Ir A” permite acceder a una ventana auxiliar de acceso a las ventas de operación o supervisión (Figura 2.15).

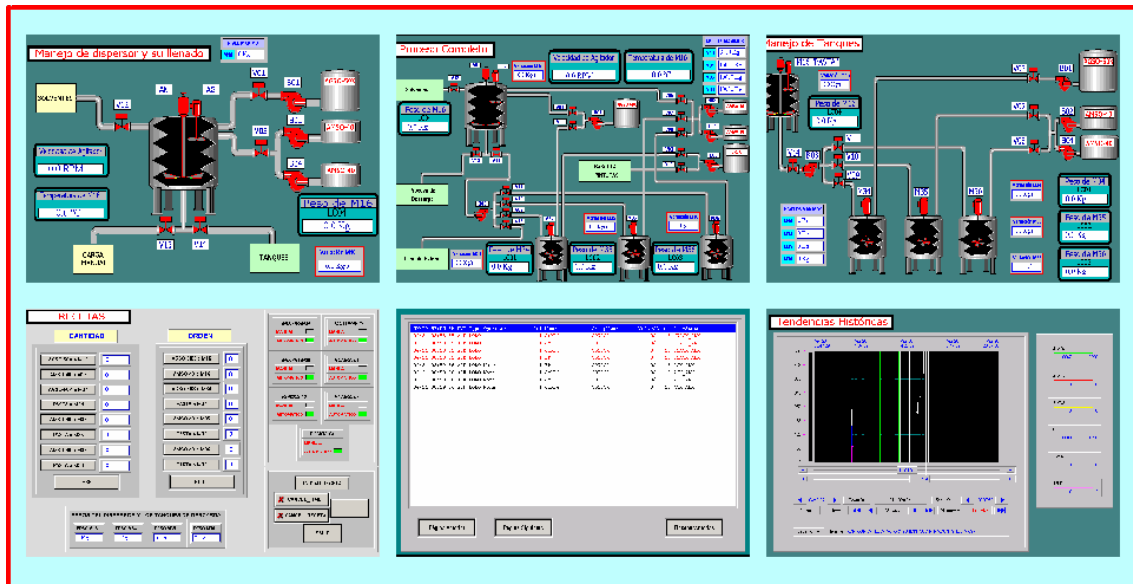


Figura 2.15 Ventana auxiliar de “Ir A”

Los botones restantes permiten acceder a las ventanas de operación o supervisión cuyo nombre corresponda al nombre del botón.

Las ventanas de Operación creadas son:

- **Ventana Proceso.-** Esta ventana muestra todos los elementos involucrados en el proyecto, con el fin de dar una visualización global del proceso. En la Figura 2.16 se muestra la ventana Proceso.

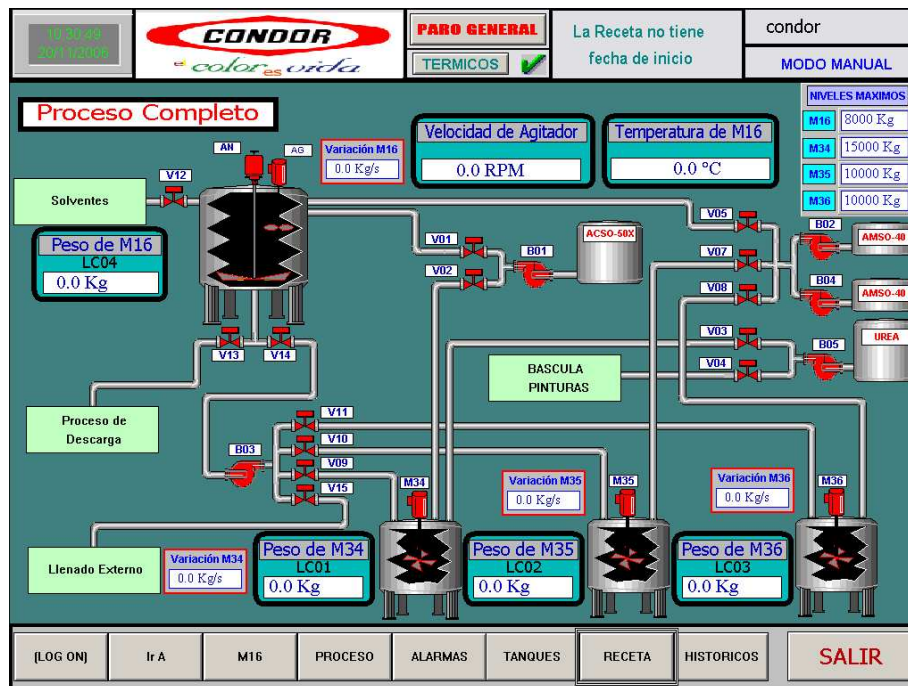


Figura 2.16 Ventana Proceso

- **Ventana M16.-** La ventana de M16 muestra solo los elementos involucrados en la descarga de materia prima en el dispersor M16, y la posterior dispersión. (Figura 2.17).

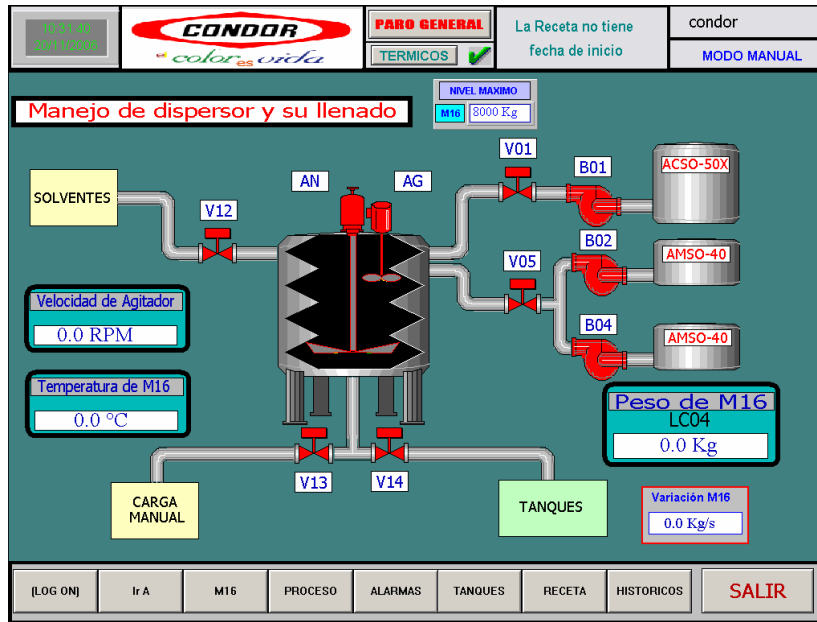


Figura 2.17 Ventana M16

- **Ventana Tanques.**- Esta ventana abarca las partes del proceso asociadas a la descarga de materia prima a los tanques M34, M35 y M36, y su posterior mezclado (Figura 2.18).

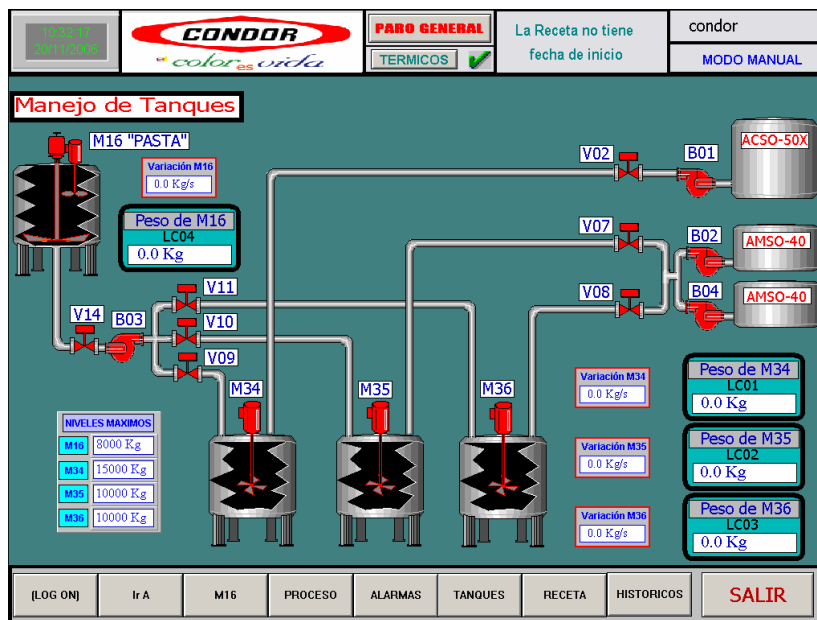


Figura 2.18 Ventana Tanques

Ventanas de Supervisión.- Estas ventanas permiten que el operador observe le comportamiento de las variables de campo (peso del contenido del tanque M34, peso del contenido del tanque M35, peso del contenido del tanque M36, peso del contenido del dispersor M16, velocidad del agitador del dispersor M16 y temperatura del dispersor M16)

Las ventanas de supervisión creadas son: ventana históricos y ventana alarmas.

- **Ventana Históricas.-** La ventana “Históricas” (Figura 2.19) muestra las tendencias históricas de las variables análogas. En esta ventana se muestra con líneas de distintos colores cada una de las variables análogas (Tabla 2.1). En la parte inferior del gráfico se tiene varios botones que sirven para navegar en el eje del tiempo.

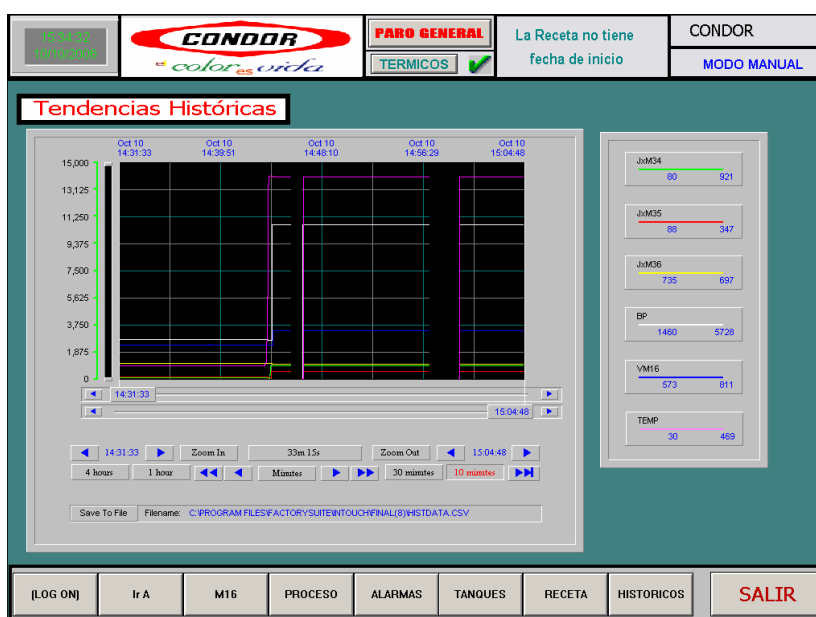


Figura 2.19 Ventana Históricas

| Variable Análoga | Rango | Descripción |
|------------------|-----------------------|----------------------------|
| JXM34 | 0 – 16000 (Kg) | Peso del Tanque M34 |
| JXM35 | 0 – 16000 (Kg) | Peso del Tanque M35 |

| | | |
|-------|----------------|---|
| JXM36 | 0 – 16000 (Kg) | Peso del Tanque M36 |
| BP | 0 – 16000 (Kg) | Peso del Dispensor M16 |
| TEMP | 0 – 100 (°C) | Temperatura del Dispensor M16 |
| VM16 | 0 – 880 (RPM) | Velocidad del agitador del Dispensor M16 |

Tabla 2.1 Descripción de variables análogas

- **Ventana Alarmas.**- La ventana de “Alarmas” muestra los valores críticos que alcanzan las variables análogas (peso del contenido del dispensor M16, peso del contenido del tanque M34, peso del contenido del tanque M35, peso del contenido del tanque M36, velocidad del agitador del dispensor M16 y temperatura del dispensor M16) tanto niveles mínimos como máximos. En esta ventana se registra la fecha, la hora, el usuario, la variable y el límite al que llegó la variable en ese instante. Esta se actualiza de forma constante. Las alarmas producidas en un periodo de tiempo son almacenadas en un archivo para que puedan ser revisadas para futuros informes. Se puede navegar en el archivo mediante los botones “Página Anterior” y “Página Siguiente”. El botón “Reconocer Todas” sirve para reconocer los últimos eventos de alarmas producidos para todas las variables. Aparecerá un mensaje de color negro que indica cuales son los eventos reconocidos. La ventana alarmas se muestra en la Figura 2.20.

| MM/DD | HH:MM:SS | EVT | Type | Operator | Pri | Name | GroupName | Value/Limit | AlarmState |
|-------|----------|-----|------|----------|-----|-------|-----------|-------------|---------------|
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | VM16 | CONDOR | 0/ | 10 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | TEMP | CONDOR | 0/ | 26 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | JxM34 | CONDOR | 0/ | 15 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | JxM35 | CONDOR | 0/ | 15 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | JxM36 | CONDOR | 0/ | 15 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:17 | ALM | LOLO | | 1 | BP | CONDOR | 0/ | 10 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:23 | RTN | LOLO | None | 1 | BP | CONDOR | 3925/ | 10 ACK_RTN |
| 01/03 | 14:05:23 | RTN | LOLO | None | 1 | JxM34 | CONDOR | 5085/ | 15 ACK_RTN |
| 01/03 | 14:05:24 | RTN | LOLO | None | 1 | JxM35 | CONDOR | 1180/ | 15 ACK_RTN |
| 01/03 | 14:05:24 | ALM | LO | None | 1 | JxM36 | CONDOR | 45/ | 100 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:05:24 | ALM | LO | None | 1 | TEMP | CONDOR | 27/ | 30 UNACK_ALM |
| 01/03 | 14:06:28 | ACK | LO | condor | 1 | JxM36 | CONDOR | 45/ | 100 ACK_ALM |
| 01/03 | 14:06:28 | ACK | LO | condor | 1 | TEMP | CONDOR | 27/ | 30 ACK_ALM |
| 01/03 | 14:06:28 | ACK | LOLO | condor | 1 | VM16 | CONDOR | 0/ | 10 ACK_ALM |

Figura 2.20 Ventana Alarmas

Ventanas de Receta.- Esta ventana esta diseñada para poder configurar e iniciar una receta (Figura 2.21).

Figura 2.21 Ventana de Receta

En esta ventana se puede visualizar información útil al momento de configurar una receta, tal es el caso de: el peso del contenido de los tanques y del dispersor M16, el modo de funcionamiento de motores y bombas.

Para poder ingresar una receta se tiene dos grupos de botones, el primero para ingresar las cantidades a descargar y el segundo para ingresar el orden en que se ejecutarán las descargas, además existe en cada columna un botón que permite encerrar todas las variables de la columna correspondiente.

El botón “INICIAR RECETA”, permite desplegar una ventana de selección para la forma en que va a dar inicio la receta (Figura 2.22). Una vez seleccionado un modo de inicio se debe pulsar el botón “ENTRAR”, esto permite desplegar según lo seleccionado la ventana de la Figura 2.23 o la ventana de la Figura 2.24. En el funcionamiento instantáneo solo es necesario pulsar en el botón de “START” para que inicie la receta. En el funcionamiento por tiempo es necesario primero ingresar la hora de inicio. Para esto se debe pulsar sobre el botón “Ingrese la Hora” y el botón “Ingrese el minuto”, luego se debe pulsar en confirmar para que quede ingresado la hora de inicio.



Figura 2.22. Ventana de Selección modo de Receta



Figura 2.23 Inicio instantáneo de Receta

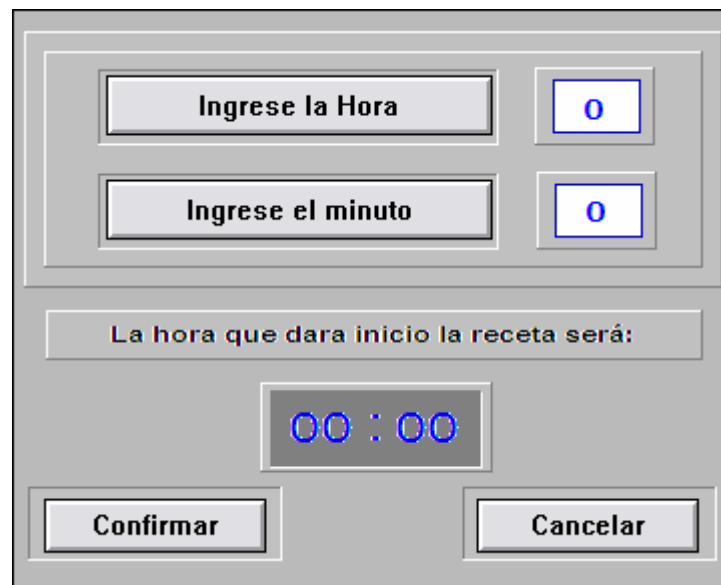


Figura 2.24 Inicio por tiempo de Receta

El botón, "CANCEL_TIME" permite cancelar una receta que esta configurada para iniciar por tiempo, "CANCEL_RECETA" permite cancelar una receta que esta en proceso. Estos botones se observan en la (Figura 2.25).

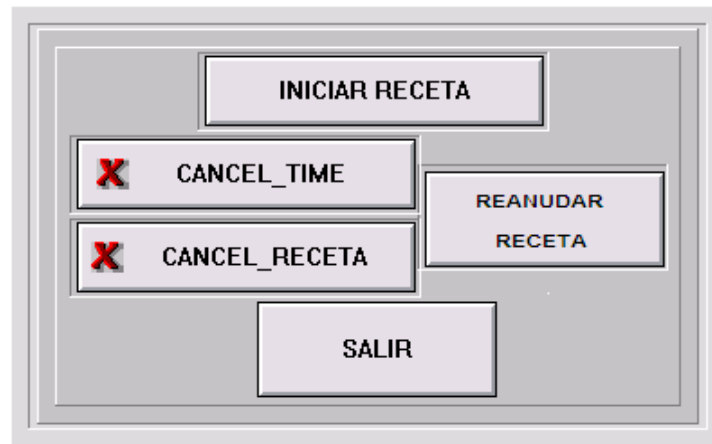


Figura 2.25 Corte de la ventana de Receta

El botón “DETENER RECETA” (este solo se habilita al momento en que una receta esta en ejecución) permite parar la receta pero manteniendo los datos de las descargas, con esto se reanudará la descarga pulsando en “REANUDAR RECETA” (este botón reemplaza al de “DETENER RECETA” una vez que la receta esta detenida).

Para ingresar una receta es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Se debe pulsar los dos botones “RESET” existentes con el fin de asegurar que todas las variables de cantidad y orden estén en cero antes de ingresar una nueva receta.
2. Se configurará el orden de la receta con los botones de la columna ORDEN, para esto se debe pulsar sobre los botones de los procesos que se desean realizar de forma secuencial, los números aparecerán en el recuadro a la derecha del botón.
3. Para configurar las cantidades a descargar en cada proceso, es necesario pulsar sobre los botones de la columna CANTIDAD. Al pulsar sobre uno de estos botones aparecerá un recuadro donde se ingresara la cantidad a ser descargada en kilogramos. Una vez ingresada la cantidad se debe pulsar la tecla ENTER del teclado.

4. Una vez ingresado el orden de la receta y las cantidades a ser descargadas, el operador debe revisar los datos ingresados. En caso de existir un error en el ingreso de la receta se debe pulsar sobre el botón “RESET” en la columna de ORDEN y/o cantidad según sea el caso.
5. Para dar inicio a la receta se debe pulsar sobre el botón “INICIAR RECETA”. Tal como ya se dijo se debe escoger entre funcionamiento instantáneo o por tiempo.

2.1.4.3 Creación de Niveles de acceso

Para cumplir el requerimiento planteado por CONDOR respecto a los niveles de acceso se crearon cuatro niveles: nivel bajo, nivel intermedio, nivel alto y nivel máximo.

Nivel Bajo.- Los usuarios con este nivel solo realizaran la operación de forma manual.

Nivel Intermedio.- Los usuarios con este nivel de acceso realizaran la operación tanto de forma manual como de forma automática (Recetas).

Nivel Alto.- Los usuarios con este nivel de acceso además de poder realizar la operación de forma automática y manual tienen acceso a modificar los niveles máximos de llenado de los tanques.

Nivel Máximo.- Los usuarios con este nivel de acceso pueden crear y eliminar usuarios además de acceder a todo lo anterior descrito en los otros niveles.

Para realizar la modificación de los niveles máximos de llenado de los tanques se deberá seguir la siguiente secuencia:

- Dar clic sobre el botón “Configuración de Máximos Niveles” en la ventana de acceso.
- En la ventana secundaria (Figura 2.26) que se despliega seleccionar el tanque cuyo nivel desea modificar ingrese el nivel y luego presionar “enter”.
- Repetir lo anterior si se desea cambiar otros tanques.
- Si se finalizó la modificación presionar el botón “SALIR”.

CONFIGURACIÓN DE NIVELES MÁXIMOS

Por favor ingrese los valores máximos para los tanques y para el dispensador, recuerde que estos valores quedaran definidos dentro del programa imposibilitando poder sobrepasar estos valores

| | |
|------------------|------|
| Nivel Máximo M16 | 0 Kg |
| Nivel Máximo M34 | 0 Kg |
| Nivel Máximo M35 | 0 Kg |
| Nivel Máximo M36 | 0 Kg |

SALIR

Figura 2.26 Configuración de máximos niveles de llenado de tanques

2.1.4.4 Operación de los elementos

Si ninguna receta está en funcionamiento (modo manual), se podrá realizar el manejo de electroválvulas, bombas y motores de los agitadores que se encuentran representados en las ventanas de operación. A continuación se explica la operación de cada uno de estos elementos:

- **Electroválvulas.-** Para operar una electroválvula se debe pulsar sobre la representación de la misma en la respectiva ventana de operación, de esta manera aparecerá una ventana secundaria, la misma que se muestra en la (Figura 2.27).



Figura 2.27 Ventana secundaria de funcionamiento ON/OFF de válvula

En la parte superior de la ventana se muestra un botón con el nombre de la válvula que se está operando, y que sirve para cerrar la ventana. Con letras negras y en recuadro verde se muestra el estado de la válvula que puede ser “abierta” o “cerrada”. Para abrir una válvula se debe pulsar sobre el botón verde marcado con el número “1”, en caso que se quiera cerrar la válvula se debe pulsar sobre el botón rojo marcado con el número “0”.

- **Bombas.-** Para operar una bomba se debe pulsar sobre la representación de la misma en la respectiva ventana de operación, de esta manera aparecerá una ventana secundaria, la misma que se muestra en la (Figura 2.28).



Figura 2.28 Ventana de funcionamiento ON/OFF de bomba

En la parte superior de la ventana se muestra un botón con el nombre de la bomba que se está operando, y que sirve para cerrar la ventana. Con letras negras y en recuadro verde se muestra el estado de la bomba que puede ser “encendida” o “apagada”. Para encender una bomba se debe pulsar sobre el botón verde marcado con el número “1”, en caso de que se quiera apagar la bomba se debe pulsar sobre el botón rojo marcado con el número “0”.

- **Motores.-** Al pulsar sobre la representación de un motor, aparecerá una ventana donde se puede seleccionar entre dos modos de funcionamiento modo ON/OFF (1/0) y modo POR TIEMPO (TIME) (Figura 2.29).

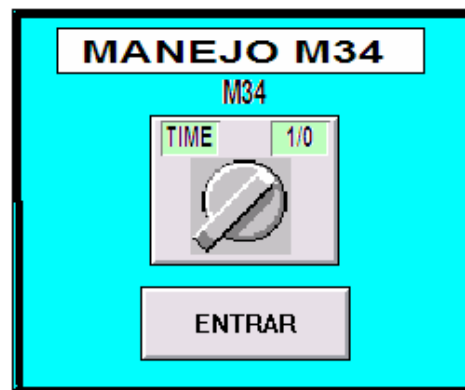


Figura 2.29 Ventana de modo de funcionamiento de motores

ON/OFF.- Este modo de funcionamiento es idéntico al funcionamiento de válvulas y bombas. La ventana para este modo de funcionamiento se muestra en la (Figura 2.30).

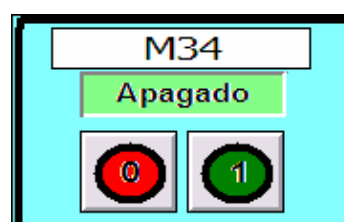


Figura 2.30 Ventana de modo ON/OFF de motores

POR TIEMPO.- En este modo de funcionamiento se debe ingresar el tiempo que se desea permanezca encendido el motor, la unidad de tiempo ingresado es el minuto. Además, tiene un botón de inicio “START” y uno para cancelar “CANCEL”. Esta ventana se muestra en la (Figura 2.31).

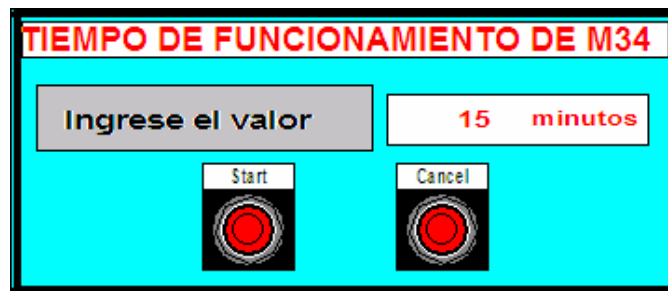


Figura 2.31 Ventana de modo por tiempo de motores

De lo expresado anteriormente se establece en la Figura 2.32 la forma en que queda estructurado el HMI

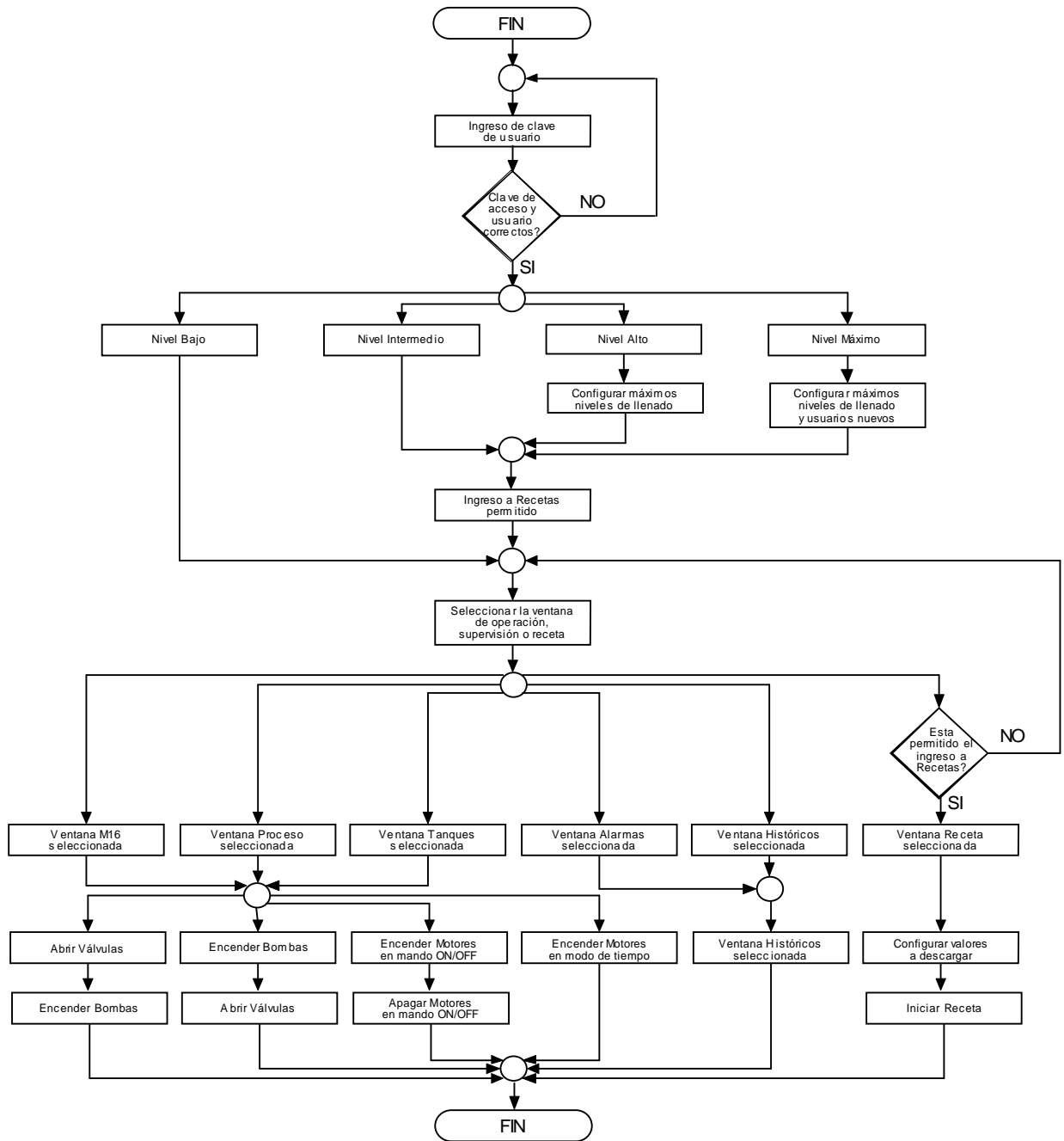


Figura 2.32 Diagrama de flujo general del HMI

2.1.5 DESCRIPCION GENERAL DEL HMI

El HMI que se desarrolló para el proyecto del dispersor M16 sirve para operar y supervisar la descarga de materias primas en el dispersor M16 y los tanques M34, M35 y M36, así como su posterior mezclado. El HMI fue realizado según las necesidades de PINTURAS CONDOR. Las principales características se describen a continuación:

- El HMI permite dos modos de operación, que son manual y recetas.
 - El *modo manual* se refiere a un funcionamiento en donde el operador comanda bombas, válvulas y motores, esto implica que se debe supervisar vía el HMI la cantidad de material que se está descargando.
 - El *modo recetas*, permite descargar de forma automática la materia prima en el dispersor y los tanques. En este modo se debe configurar la secuencia de descarga y la cantidad de materia prima que se quiere descargar, también se tiene la posibilidad de que esta se inicie de forma instantánea o a una hora previamente ingresada. Se implementó además un botón para pausar y otro para cancelar a una receta iniciada.
- Se manejan cuatro niveles de acceso, los usuarios con un bajo nivel de acceso solo pueden entrar al HMI y manejar el sistema en modo manual, los usuarios con un nivel de acceso intermedio pueden trabajar en modo supervisor o receta, los usuarios con alto nivel de acceso pueden también acceder a la configuración de niveles máximos para los tanques y el dispersor, mientras que los usuarios con nivel de acceso máximo pueden además acceder a la configuración de usuarios.
- Se crea un botón de paro general dentro del HMI (de forma complementaria existe un botón de paro general externo). El paro general también es generado en caso de desbordamiento del dispersor o los

tanques. El paro general detiene cualquier elemento que esté en funcionamiento (en caso de funcionar una receta la pone en pausa).

- Se creó dos modos de funcionamiento para los motores de los tanques M34, M35 y M36. El funcionamiento ON/OFF solo permite encendido y apagado instantáneo. El funcionamiento por tiempo, permite ingresar el tiempo en minutos que va a permanecer encendido el motor.
- Existen seguridades para evitar posibles errores que pueden surgir de una mala maniobra o por fallas del sistema. Entre las principales se implementó:
 - Ventanas de advertencia y bloqueos para que el operador no pueda realizar operaciones inadecuadas en el sistema, tanto en el modo manual como en recetas.
 - Alarmas que permitan advertir al operador la existencia de sobrecalentamiento de motores y bombas. En caso de estar funcionando el modo recetas y salta el térmico de una bomba, se pasará directamente a pausa, además de indicarse esta falla por medio de las alarmas.

2.2 PRUEBAS DEL HMI

Una vez que se terminó de crear la aplicación en el WindowMaker, fue necesario realizar una serie de pruebas en el programa, para comprobar la confiabilidad de la aplicación.

Para realizar las pruebas fue necesario utilizar una aplicación modificada que permita simular las variables de campo que llegan al PLC y luego son enviadas al HMI, como son:

- Señales de estado de válvulas, bombas y motores.
- Selector entre funcionamiento local y desde el HMI (remoto).
- Señales de peso del contenido de los tanques M34, M35, M36 y el dispersor M16.
- Señal de velocidad del agitador del M16.
- Señal de temperatura del dispersor M16.

Además de las variables de campo fue necesario simular algunas señales generadas en el PLC, necesarias en la aplicación presente.

Primero se realizaron pruebas de partes específicas del programa, las cuales se describen a continuación:

- Para probar la ventana de acceso se creo usuarios con distinto nivel de acceso y se confirmó la discriminación entre los usuarios con distintos niveles de acceso.
- Se realizó pruebas de encendido y apagado de motores y bombas, también de apertura y cierre de válvulas. En esta parte también se

verificó que el HMI muestre las señales de estado de motores, bombas y válvulas.

- Se probó el funcionamiento correcto de la ventana de tendencias históricas, con distintas variaciones de las variables análogas, durante un día de pruebas, creando distintas tendencias.
- Se verificó el funcionamiento por tiempo de los motores. Para esto se realizó pruebas con distintos tiempos, obteniéndose un óptimo funcionamiento.
- Se simularon situaciones de desborde de tanques y sobrecalentamiento de motores y bombas para verificar que las alarmas funcionen correctamente.
- Se verificó que las recetas se realicen de forma correcta. Se ingresó recetas de forma aleatoria y se probó: el inicio instantáneo, el inicio con tiempo ingresado, la pausa, la cancelación del tiempo y la cancelación de la receta.

Las pruebas finales se hicieron con todo el HMI. Aquí participaron personas de distintas áreas de CONDOR asociadas con el proyecto. Después de realizar mejoras se llegó a una versión final de la aplicación donde se pudo concluir que cumple de forma satisfactoria con las siguientes características:

- El HMI demostró cumplir con todos los requerimientos impuestos por CONDOR, lo que implica tener la aceptación del cliente.
- La interfaz es amigable y de fácil manejo. Se dió mucha importancia a los mensajes para guiar al operador en caso de tratar de realizar una operación inadecuada.

- **Cumple con las seguridades en el acceso al HMI. Con la existencia de usuarios con distintos niveles de acceso se obtiene mayor seguridad en la operación y se evitan errores de configuración.**
- **El sistema permite un manejo seguro del proceso, evitando en gran parte los posibles errores de operación.**
- **El modo de recetas es lo suficientemente confiable para que pueda funcionar sin necesidad de supervisión continua.**

A continuación, en el Capítulo 3, se presenta la descripción del hardware y software del PLC utilizado en el presente proyecto. Además, se define al programa a implementarse en dicho PLC.

| | |
|--|----|
| CAPITULO 2: DESARROLLO DEL HMI DEL SISTEMA..... | 22 |
| 2.1 DESARROLLO DEL HMI PARA EL DISPERSOR M16 | 22 |
| 2.1.1 NOCIONES BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DEL HMI..... | 22 |
| 2.1.2 PARAMETROS DE COMUNICACIÓN DEL INTOUCH..... | 23 |
| 2.1.3 CONFIGURACION DE LA COMUNICACIÓN PC Y PLC..... | 23 |
| 2.1.3.1 Configuración del I/O Server | 24 |
| 2.1.3.2 Configuración del Access Name | 25 |
| 2.1.3.3 Configuración de los I/O tags..... | 26 |
| 2.1.4 DESARROLLO DEL HMI | 27 |
| 2.1.4.1 Creación de Modos de Funcionamiento | 27 |
| 2.1.4.2 Creación de Ventanas | 28 |
| 2.1.4.3 Creación de Niveles de acceso | 44 |
| 2.1.4.4 Operación de los elementos..... | 45 |
| 2.1.5 DESCRIPCION GENERAL DEL HMI..... | 50 |
| 2.2 PRUEBAS DEL HMI..... | 52 |

CAPITULO 3: DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC

En el presente capítulo, describe las características de hardware y software del PLC SMAR LC700, así como el programa implementado en el mismo.

3.1 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL PLC SMAR LC700

Para el proyecto de automatización del dispersor M16 se utiliza un PLC SMAR LC700. Este se encontraba en bodega, siendo necesaria solo la adquisición de módulos adicionales.

Los requerimientos del PLC a utilizarse se obtuvieron del análisis de los elementos involucrados en el proyecto, dichos requerimientos se detallan a continuación:

- Las electroválvulas son elementos necesarios para poder controlar el flujo a distancia de forma automática y mediante la interfaz hombre-máquina. En total se han considerado 14 electroválvulas, tanto para descarga de materia prima como de pasta. Como variables del PLC se

considero la necesidad de tener una señal de estado y una señal de mando para cada electroválvula, en total se tiene 14 señales de entrada y 14 señales de salida discretas para las electroválvulas.

- Los motores, tanto de los tanques como los del dispersor son elementos indispensables para la implementación del proyecto, que consta de 5 motores. Como variables del PLC se considera tener la señal de estado de funcionamiento y la de estado de la protección térmica para cada motor. Para los motores de los tanques, 3 en total, se necesita una señal de mando por cada uno. En total se tiene 10 señales de entrada y 3 señales de salida discretas para manejar los motores.
- Del panel de pulsadores se puede llevar señales al PLC. Entre estas señales se tiene la que permite cambiar el funcionamiento de local a remoto tanto de motores como de bombas. De esta forma se sumó un aproximado de 8 variables de entrada discretas para el PLC. Se debe además manejar una señal de paro general, que sirve para el control y cuyo estado debe visualizarse en el HMI, por lo que se necesita 1 variable de entrada discreta. Del pupitre de mando del dispersor se toman las señales de temperatura y de velocidad, ya que se quiere mostrar estas en el HMI. De esta forma se identificó la necesidad de tener 2 variables de entrada analógicas.
- Debido a que se desea visualizar el peso en el dispersor y los tanques, se considera que las balanzas proporcionen señales análogas para el PLC, las mismas que sirven tanto para el control automático como para la visualización en el HMI. Como se tienen un total de 4 balanzas (una para cada tanque y una para el dispersor), se requiere un total de 4 variables de entrada analógicas para las balanzas.
- Las bombas, elementos necesarios para poder transportar las materias primas y la pasta base, suman un total de 5. Como variables para el PLC se consideró una señal de estado, una señal de mando y la señal de

estado de la protección térmica para cada bomba (para la señal de estado de la protección térmica se tiene como excepción a la bomba para descarga de pasta, B03, por ser esta neumática). En total se determinó 9 señales de entrada y 5 señales de salida discretas para las bombas.

- Al realizar un HMI es indispensable el uso de un computador, para esto se debe considerar la importancia de tener una comunicación entre este y el PLC, por lo que el PLC que se seleccione debe manejar un protocolo de comunicación compatible con uno que maneje el HMI.

Resumiendo lo expuesto anteriormente, se definió las características del PLC así: 42 entradas discretas, 22 salidas discretas y 6 entradas análogas.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El controlador lógico programable LC700 de la compañía SMAR, es un PLC completamente modular lo que le permite ser completamente adaptable para una gran variedad de aplicaciones. El software que utiliza es el CONF700, el cual es un software para trabajo bajo Windows.



Figura 3.1 Gráfico de un sistema LC700

El LC700 dispone de distintos módulos para trabajar directamente con redes de dispositivos que trabajen con señales de distintos protocolos: entre estas se tiene Fieldbus, Modbus RTU, Ethernet – Modbus TCP, etc. Es

posible conectar dispositivos que utilicen distintos protocolos de forma simultánea al PLC, debido a su característica modular.

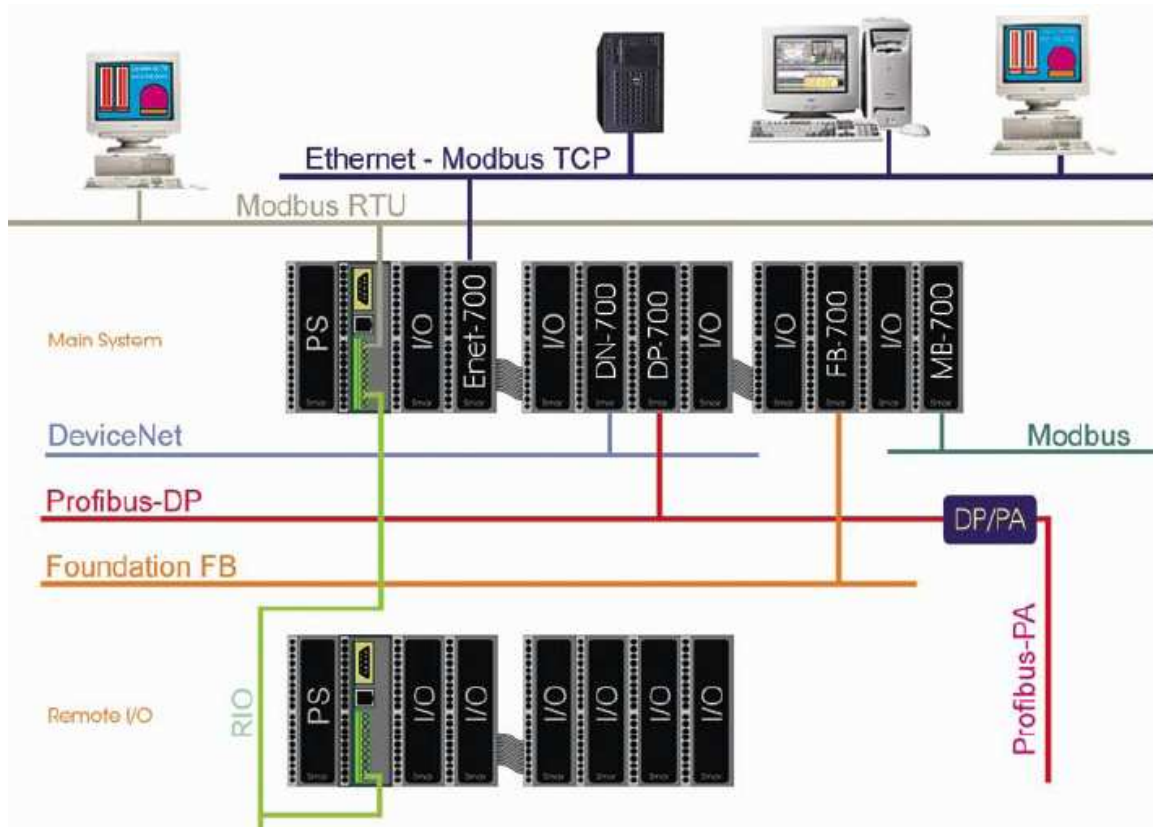


Figura 3.2 Posibilidades de conexión del LC700

3.1.2 ARQUITECTURA

De forma general los elementos más importantes para entender la arquitectura de un sistema LC700 son los soportes y los módulos. A continuación se explica con más detalle cada uno de estos.

Módulo.- Son cajas plásticas con un tamaño y conector estándar para unirse a un sistema LC700. Existen una gran cantidad de módulos disponibles cuya estructura interna depende de la función del mismo. Dentro del grupo de los módulos se tiene: CPU, Fuente de alimentación, I/O discretas, I/O analógicas, I/O remotas, etc.

A continuación se muestra la Tabla 3.1 con todos los módulos y accesorios disponibles para el LC700

| MAIN CPUs | |
|------------------|---|
| CPU-700-C3 | CPU module with 30 Kbytes of non-volatile memory for user configuration and a microcontroller of 15 MHz. |
| CPU-700-D3 | CPU module with 28 Kbytes of non-volatile memory for user configuration and a microcontroller of 15 MHz with real time clock and remote I/O (Master). |
| CPU-700-D3R | CPU module with 23 Kbytes of non-volatile memory for user configuration and a microcontroller of 15 MHz with real time clock and remote I/O (Redundant Module). |
| CPU-700-E3 | CPU module with 52 Kbytes of non-volatile memory for user configuration and a microcontroller of 15 MHz with real time clock and remote I/O (Master). |
| CPU-700-E3R | CPU module with 44 Kbytes of non-volatile memory for user configuration and a microcontroller of 15 MHz with real time clock and remote I/O (Redundant Module). |

| POWER SUPPLY | |
|---------------------|---|
| PS-AC-R | AC Power Supply for IMB: input: 90 to 264 Vac or 127 to 135 Vdc .With Redundancy capability |
| PS-DC-R | DC Power Supply for IMB: 20 to 30 Vdc. With Redundancy capability |
| PS302P AC | AC Power Supply 90 to 264 Vac or 127 to 135 Vdc |
| PS302P DC | DC Power Supply 20 to 30Vdc |

| INPUTS | |
|---------------|---|
| M-001 | 2 groups of 8 24 Vdc inputs (optically isolated) |
| M-002 | 2 groups of 8 48 Vdc inputs (optically isolated) |
| M-003 | 2 groups of 8 60 Vdc inputs (optically isolated) |
| M-004 | 2 groups of 8 125 Vdc inputs (optically isolated) |
| M-005 | 2 groups of 8 24 Vdc inputs (optically isolated) |
| M-010 | 2 groups of 4 120 Vac Inputs (optically isolated) |
| M-011 | 2 groups of 4 240 Vac inputs (optically isolated)) |
| M-012 | 2 groups of 8 120 Vac inputs (optically isolated) |
| M-013 | 2 groups of 8 240 Vac inputs (optically isolated) |
| M-020 | 1group of 8 push-button On/Off inputs (optically isolated) |
| M-302 | 2 groups of 8 pulse inputs 0-100 Hz-24Vdc |
| M-303 | 2 groups of 8 pulse inputs 0-10 KHz- 24 Vdc |
| M-304 | 2 groups of 8 pulse inputs 0-10 KHz- AC |
| M-401-R | 8 Voltage/Current Analog Inputs with internal Shunt Resistor (optically isolated) |
| M-401-DR | 8 Voltage/Current Analog Inputs with internal Shunt Resistor (optically isolated) |
| M-402 | 8 Low Level Signal (TC, RTD, mV, Ω) Inputs (optically isolated) |

| OUTPUTS | |
|----------------|--|
| M-101 | 1 group of 16 Open Collector Outputs (optically isolated) |
| M-102 | 2 groups of 8 Transistor Outputs Source (optically isolated) |
| M-110 | 1 group of 8 120/240 Vac Outputs (optically isolated) |
| M-111 | 2 groups of 8 120/240 Vac Outputs (optically isolated) |
| M-120 | 2 groups of 4 N.O. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-121 | 2 groups of 4 N.C. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-122 | 1 group of 4 N.O. and 1 Group of 4 N.C. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-123 | 2 groups of 8 N.O. Relays Outputs (optically isolated) |
| M-124 | 2 groups of 4 N.O. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-125 | 2 groups of 4 N.C. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-126 | 1 group of 4 N.O. and 1 Group of 4 N.C. Relay Outputs (optically isolated) |
| M-127 | 2 groups of 8 N.O Relay Outputs with internal RC (optically isolated) |
| M-501 | 4 Current and Voltage Analog Outputs (optically isolated) |

| OTHER MODULES | |
|---------------|--|
| RIO-700-D3 | Remote I/O Interface Module |
| RIO-700-E3 | Remote I/O Interface Module |
| FB-700 | One H1 Fieldbus Foundation Channel Module (Isolated) |
| ENET-700 | Modbus/TCP 10Base-T Ethernet Module |
| ENET-710 | MODBUS / CDBUS TCP 10/100 Base-T Ethernet Module |
| MB-700 | Modbus RTU and TCP/IP Processor Module |
| SI-700 | EIA-232/ EIA RS485 Interface Module |
| OPT-700 | EIA-232/ EIA RS485 Interface Module |
| SW-700 | Ethernet Switch Module |
| ICS2.0P | Serial Converter Interface |

Tabla 3.1 Lista de módulos y accesorios disponibles para el LC700 Soporte (rack).- Básicamente es un soporte plástico para los módulos. Cada soporte tiene un total de cuatro ranuras (slots), que son los espacios donde se ubican cada uno de los módulos. Se caracteriza por tener un Inter-Module-Bus (IMB) que permite la interconexión de sus módulos, creando una línea común de alimentación, así como una comunicación con el CPU, además tiene conectores que permiten unir los IMB de los racks. Esta diseñado para montaje en riel DIN

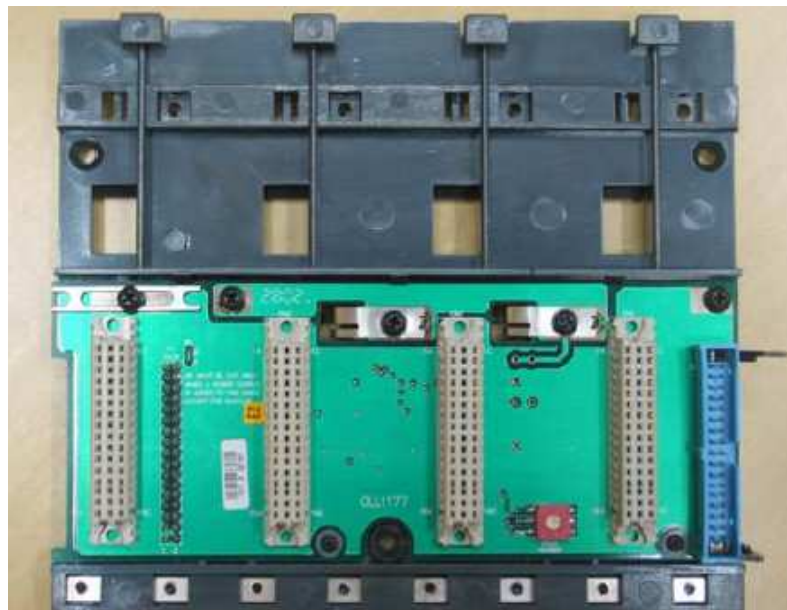


Figura 3.3 Vista superior de un soporte del LC700

3.1.3 SISTEMA LC700 PARA EL PROYECTO DEL DISPERSOR M16

Del análisis realizado en el diseño de la lógica de control y en base a las características de los módulos, se ha determinado la configuración de un sistema LC700 formado con los siguientes elementos.

- 1 módulo PS-AC-0 (también llamado PS-AC-R)
- 1 módulo CPU-700-E3
- 3 módulos M-012
- 2 módulos M-123
- 1 módulo M-401-DR
- 2 accesorios R-700-4A
- 1 accesorio FC-700-0
- 1 accesorio T-700
- Cable EIA-232

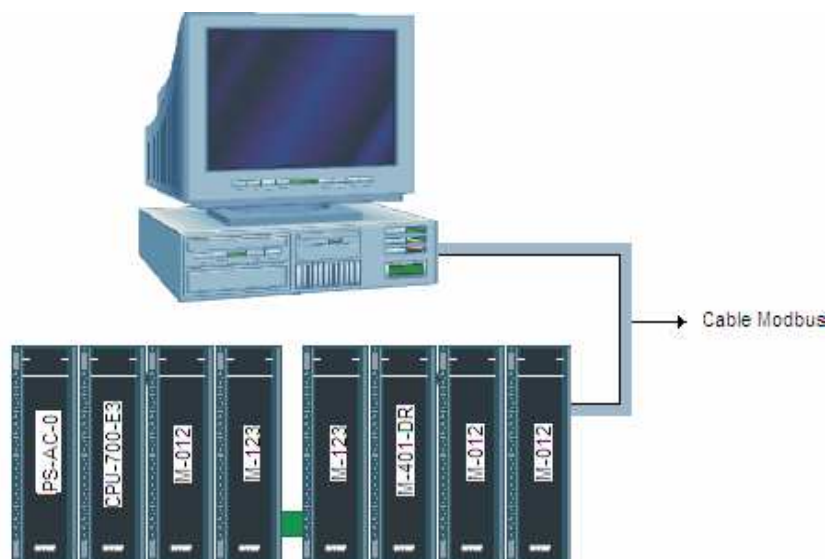


Figura 3.4 Sistema LC700 para el proyecto del dispensador M16

A continuación se realiza una descripción de cada uno de los módulos utilizados en el presente sistema LC700, con el fin de describir de mejor manera el funcionamiento del PLC LC700.

Módulo PS-AC-0.- Este es un módulo de alimentación. Tiene la característica de funcionar con voltaje alterno. Su función principal es energizar a los circuitos de los módulos del sistema distribuido por medio del IMB (salida de 5Vdc, 3A), pero también tiene una salida para uso externo por medio de los terminales 1B y 2B de 24 Vdc, 300 mA. Las salidas tienen la característica de ser aisladas. Debe ser colocado en la primera ranura del primer soporte.

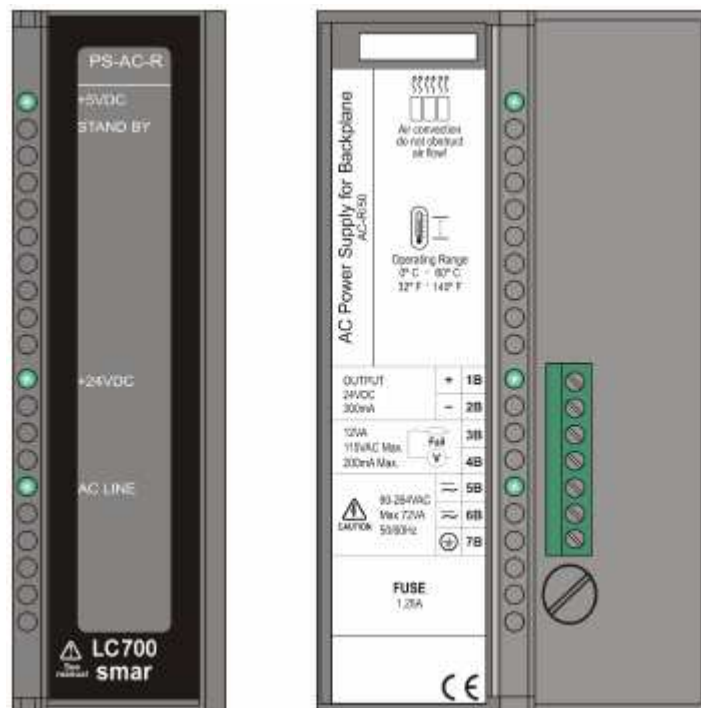


Figura 3.5 Módulo PS-AC-R

Módulo CPU-700-E3.- Este es un módulo procesador que permite correr la configuración programada y debe interactuar con todos los otros módulos del LC700. Este es básicamente un CPU, con 52 KB de memoria no volátil, permitiendo un máximo de 2000 variables discretas y 1024 variables análogas en el programa. Debe ser colocado en la segunda ranura del primer soporte.

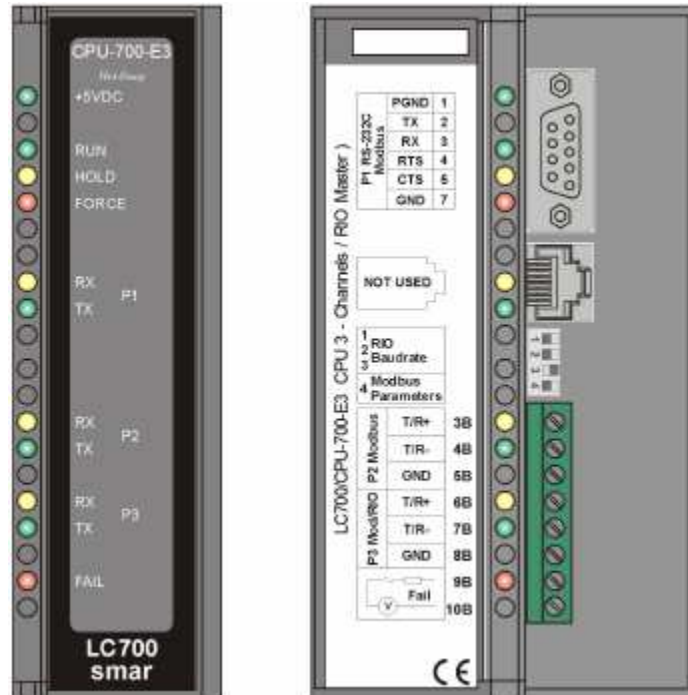


Figura 3.6 Módulo CPU-700-E3

Módulo M-012.- Este es un módulo de entrada de señales discretas, tiene un total de 16 entradas. Este módulo sensa señales de voltaje AC en la entrada y convierte éstas en señales lógicas 1/0. Esta dividido en 2 grupos aislados, y detectan señales de 120 Vac. El mínimo voltaje para pasar de 0 a 1 es 100 V y el máximo voltaje para pasar de 1 a 0 es de 30 V. Las frecuencias de trabajo pueden variar de 50 a 60 Hz.

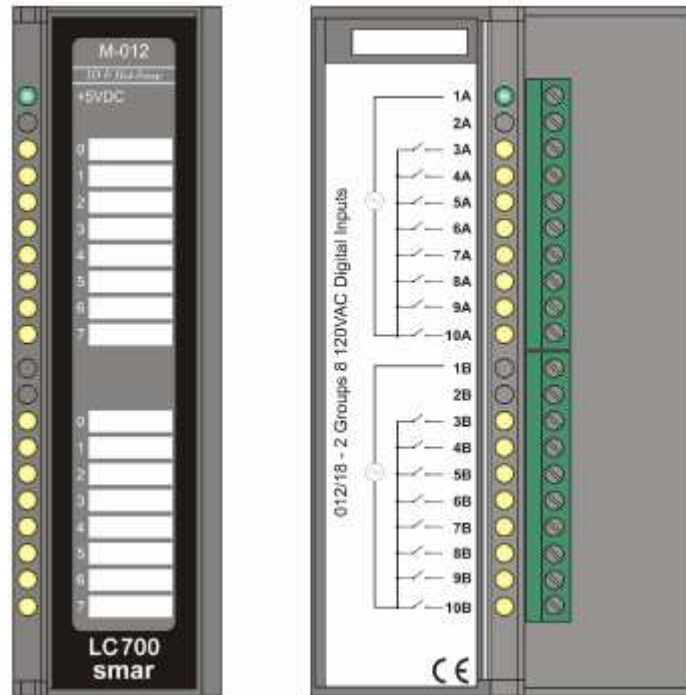


Figura 3.7 Módulo M-012

Módulo M-123.- Este es un módulo de salidas discretas tipo relé, dividido en 2 grupos de 8 salidas cada uno, cada grupo tiene un terminal común. Es capaz de manejar por cada relé corrientes máximas de 5A para cargas resistivas y 2A para cargas inductivas y manejar cargas de 20 a 110 Vdc o de 20 a 250 Vac.

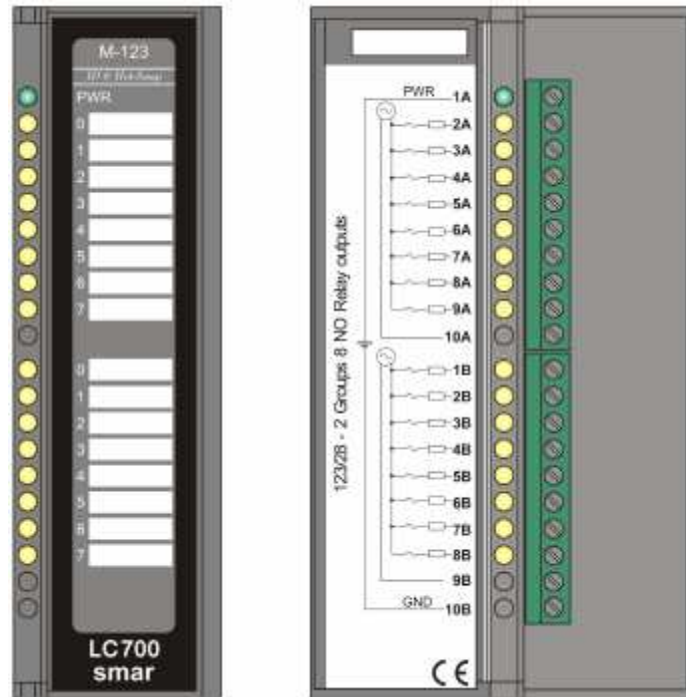


Figura 3.8 Módulo M-123

Módulo M-401-DR.- Este es un módulo de entradas analógicas, tiene un total de 8 entradas para voltaje o corriente, las señales de entrada están aisladas del IMB. Cada entrada es diferencial y aislada, además cada señal es leída y configurada de forma individual. Puede ser configurado para trabajar con los rangos de ± 10 V, ± 5 V, 0 a 5 V o 1-5 V en la posición “V” y de ± 20 mA, 0-20 mA, 4-20 mA en la posición “I”.

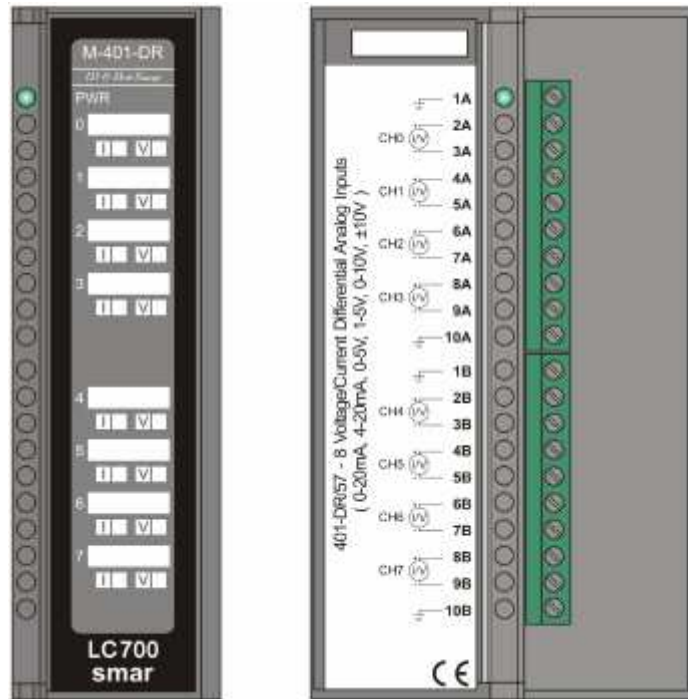


Figura 3.9 Módulo M-401-DR

En el siguiente gráfico se puede apreciar la forma de realizar la conexión para transmisores de voltaje o corriente, sean estos de 2 o 4 hilos.

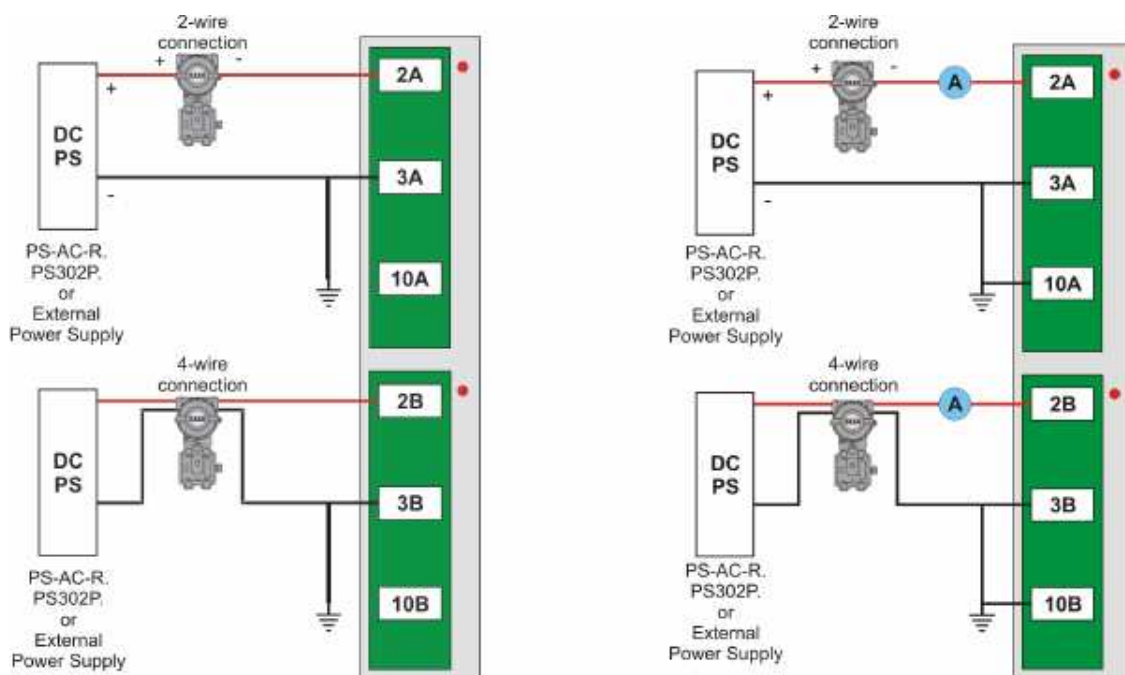


Figura 3.10 Formas de conexión para entradas en un módulo M-401-DR

Accesorio R-700-4A.- Este accesorio corresponde a un soporte de 4 ranuras. El soporte tiene un selector giratorio para poder seleccionar la dirección que le corresponde en el sistema LC700. Las direcciones disponibles son las siguientes: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E (Figura 3.3).

Accesorio FC-700-0.- El FC-700-0 es un cable plano de 34 vías #28AWG de 6.5 cm de longitud. Este cable se utiliza para conectar soportes, cumple la función de unir los IMB de los mismos.

Accesorio T-700.- Este es un accesorio cuya única función es la de proteger el conector de salida del ultimo soporte.

Cable EIA-232.- Este cable permite conectar una PC a cualquier tipo de módulo CPU disponible para el LC700. Para armar el cable se utiliza cable modbus, un conector DB9 macho y un DB9 hembra.

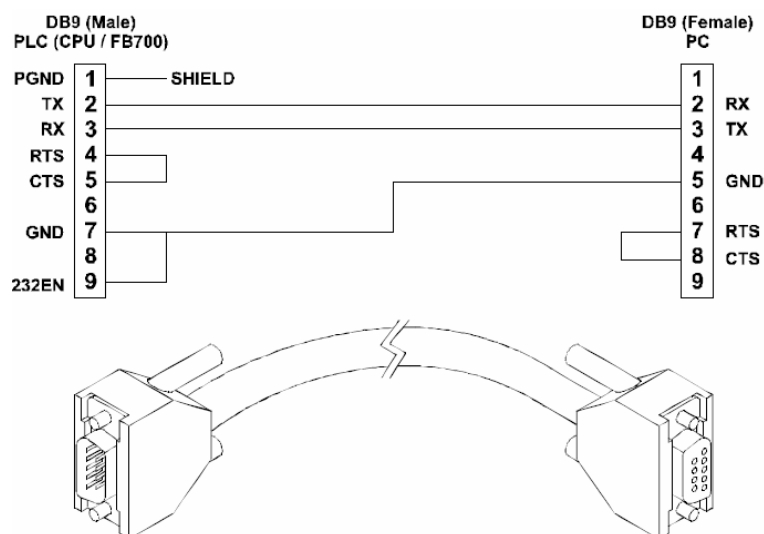


Figura 3.11 Configuración del cable para conectar un CPU/FB700 y una PC

3.1.4 COMUNICACIÓN DEL CPU

Todos los modelos de CPU disponibles para el LC700, disponen de 3 canales de comunicación independientes que pueden ser utilizados de

forma simultánea. Todas utilizan la misma tabla de direcciones modbus, ya que esta es única en un módulo CPU. Los canales son:

P1 (EIA RS232).- Se utiliza para realizar programación y monitoreo, permite una conexión punto a punto para distancias relativamente cortas.

P2 (EIA RS485).- Se utiliza para realizar programación y monitoreo, permite una conexión punto a punto o un multipunto para distancias relativamente largas.

P3 (EIA RS485).- Este canal puede tener dos comportamientos según como sea configurado mediante un interruptor giratorio ubicado en el módulo CPU. Puede funcionar como un mímico del P2 o puede actuar como un canal maestro para una conexión I/O remota con un módulo de interfase remota (RIO-700-3)

3.2 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE CONF700 V8.55

El CONF700 es el software utilizado para configurar el hardware y programar el control del sistema LC700. Este software se caracteriza por utilizar un lenguaje de programación ladder combinado con uno de bloques de función. Este es un software gratuito distribuido por la empresa SMAR.

3.2.1 Requerimientos para la instalación del CONF700 V8.55

El CONF700 esta diseñado para correr con versiones de Windows de 32 bits; es decir, funciona en Windows95/98, Windows NT (con service pack 3, mínimo), Windows 2000, Windows Millennium (Me) y Windows XP.


Los requerimientos de hardware se especifican a continuación:

- **Procesador Pentium IV, o superior (también AMD Athlon o AMD Duron).**
- **Memoria RAM de 256 MB o superior.**
- **100 MB mínimos de espacio en el disco duro.**
- **Un puerto de comunicación serial o una tarjeta Ethernet, necesario para la comunicación con el controlador LC700.**

3.2.2 Configuración de una aplicación

Al abrir el programa lo primero que aparece es una ventana de dialogo que da la opción de crear una nueva configuración o de abrir una ya existente. Es posible crear una nueva aplicación en cualquier momento seleccionando en el menú principal del programa Archivo/Crear.

Al crear una nueva configuración aparece la primera página de la misma que permite llenar datos de documentación opcionales. Esta página también sirve para ingresar el modelo del CPU que se va a utilizar.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de CPU que se va a utilizar se debe continuar definiendo completamente el hardware del sistema LC700 que se desea implementar, para esto es necesario configurar el resto de módulos. Para entrar en la página de módulos es necesario en el menú principal seleccionar “Configuración/Pag. de módulos” o pulsar en . Para configuraciones nuevas aparecerá por defecto un soporte de 4 ranuras, donde la primera estará usada por la fuente y la segunda por el CPU que se haya seleccionado.

Para adicionar nuevos módulos se debe pulsar en el espacio en blanco de la columna Módulo, con esto aparecerá una flecha apuntando hacia abajo. Pulsando en esta aparece el menú de selección de módulos.

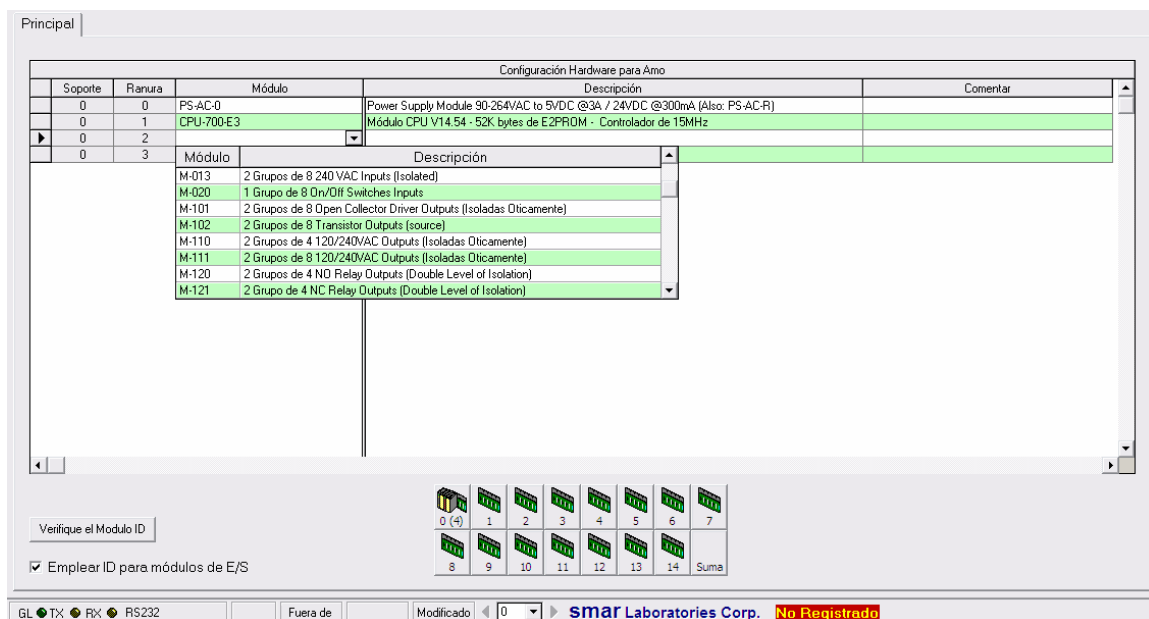




Figura 3.12 Página de configuración de módulos

Cuando un módulo es seleccionado para una ranura, automáticamente se crean las localidades de memoria para los puntos I/O del mismo.


Existen algunos módulos que requieren una configuración adicional, tal es el caso del M-401-DR donde aparece una ventana de dialogo que pedirá configurar la escala de cada uno de los canales para la entrada de señales análogas.

Para poder aumentar nuevos soportes es necesario pulsar en una de las ranuras disponibles (Observar en la parte inferior de la Figura 3.12). Al seleccionar un nuevo soporte aparecerá una ventana donde se configura la existencia de una fuente de poder en el soporte (de existir una fuente se le asigna automáticamente la ranura 0 del soporte) y el tipo de cable utilizado para conectarlo al siguiente soporte (se puede elegir entre cable corto, cable largo o terminador).


Cuando en la aplicación es necesario utilizar variables que no son puntos I/O físicos pero necesitan una dirección modbus, es posible crear módulos virtuales que son los que crean esos puntos. Un módulo virtual proporciona 8 localidades de memoria discretas. Se pueden crear varios módulos discretos, según la necesidad, pero con la limitación de memoria determinada por el tipo de CPU que se utilice. Para crear módulos virtuales se debe seleccionar “Configuración/Pag. módulo virtual” en el menú o pulsar en .

Todos los puntos I/O tienen un nombre asignado por el sistema, pero es mejor asignar nombres amigables para el usuario, utilizando para esto la tabla global. La tabla global también permite ver todos los puntos I/O, distribuidos en grupos, con el nombre del sistema y el nombre dado por el usuario; además permite realizar comentarios de cada variable, lo que resulta muy importante para la documentación de la aplicación. Para visualizar la tabla global se debe seleccionar “Configuración/Tabla global” en el menú o pulsar en .


Existe una tabla global para las variables virtuales. En esta se trabaja de la misma forma que en la tabla global (de variables reales). Para visualizar la

tabla global virtual en el menú principal se debe seleccionar “Configuración/Tabla global” o pulsar en .

3.2.3 Desarrollo de una aplicación

El CONF700 trabaja en base a redes, que vienen a ser páginas de trabajo, cada una esta formada por 15 filas y 16 columnas, creando una matriz de 240 espacios de trabajo. Los siguientes símbolos forman parte de la barra principal del programa y son los que permiten configurar las redes de una aplicación . A continuación se explicará cada uno de izquierda a derecha.

Al pulsar en el primer símbolo se crea una nueva red. Se pueden crear tantas redes como sean necesarias. Al pulsar el segundo símbolo, permite cambiar el modo de visión entre una sola red o dos en cascada. El tercer símbolo permite entrar al mantenimiento de red, que es una ventana en la que se puede ver todas las redes existentes para una aplicación. Aquí es posible cambiar el nombre de una red, darle un comentario y la posibilidad de deshabilitar una red con la opción de volverla a habilitar. El cuarto símbolo permite hacer una prueba de la configuración, muestra una lista de errores que pueden existir en las redes, como por ejemplo un elemento mal conectado, un contacto sin asociar a una variable, etc.

Para poder cambiar la visualización de una red a otra se usa el siguiente símbolo que se encuentra en la parte inferior de la ventana principal . El número en la parte central muestra el número de la red que está abierta, las flechas en los costados permiten avanzar o retroceder una red. La flecha apuntando hacia abajo abre el navegador donde se visualiza cada red existente con su rótulo y comentario, para abrir cualquiera de ellas.

Para desarrollar una aplicación se debe trabajar con la tabla de elementos, desde aquí se puede acceder a cualquier elemento disponible.



Figura 3.13 Tabla de elementos

Los elementos que se utilizaron para desarrollar la aplicación del proyecto de automatización del dispensador M16 son los siguientes:

- Contacto normalmente abierto
- Contacto normalmente cerrado
- Bobina
- Línea de enlace horizontal
- Línea vertical de conexión
- Bloques de función

Existen un total de 51 bloques de función disponibles. Todos los bloques de función requieren una señal de alimentación llamada EN y tienen una salida para alimentar otros elementos, de ser necesario, llamada ENO. Muchas veces las entradas y/o salidas de un bloque de función pueden ser clasificadas como: ANY, ANY_NUM, ANY_BIT, ANY_REAL o ANY_INT.

La siguiente tabla y gráfico explican las diferencias de los distintos tipos de entradas y salidas.

| Referencia | Tipo de dato | Número de bits |
|----------------|--------------------------|----------------|
| BOOLEAN | Boleana | 1 |
| INT | Entera | 16 |
| REAL | Real (flotante) | 32 |
| WORD | Palabra (arreglo) | 16 |

Tabla 3.2 Tipo de entradas y salidas para los bloques de función

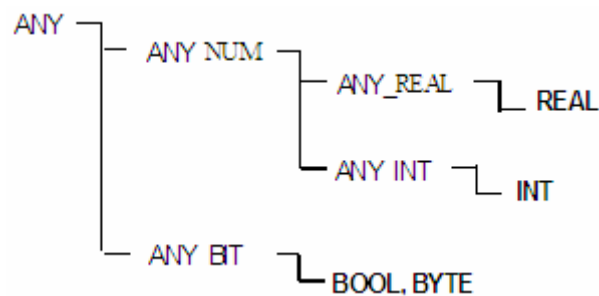


Figura 3.14 Tipo de entradas y salidas para los bloques de función

Un bloque de función puede tener entradas (pueden ser variables de otro bloque de función o de una tarjeta de I/O), salidas (variables que resultan del proceso realizado por el bloque), parámetros (configuración del usuario) y variables (variables auxiliares para el algoritmo del bloque).

A continuación se realiza una lista de cada uno de los bloques de función que se utilizó en el desarrollo de la aplicación para la automatización del dispensador M16.

- Addition (ADD).
- Counter Up (CTU).
- Division (DIV).
- Equality (EQ).
- Decreasing Sequence (GT).
- Integer Constants (ICT).

- Conversion Integer To Real (ITR).
- Multiplication (MUL).
- Bitwise NOT (NOT).
- Real Constants (RCT).
- Conversion Real To Integer (RTI).
- Sample Hold With Up And Down (SMPL).
- Substraction (SUB).
- Timer Off Delay (TOF).
- Timer On Delay (TON).
- Timer Pulse (TP).

3.2.4 Direcciones MODBUS

El CONF700 asigna direcciones MODBUS en el registro de memoria a todos los elementos y parámetros de los bloques de función, y genera una lista de referencia cruzada con todos los números del registro MODBUS.

Para abrir la ventana con la lista de direcciones MODBUS se puede poner en el menú de selección “Configuration/Modbus”. Otro camino es pulsar sobre



Sistema

| Dirección Modbus | | | | | | |
|------------------|-------|------------|--------------|------|--------|-------|
| Rótulo | Valor | Rótulo del | Direc.Modbus | Tipo | InOut | Clase |
| M-123G1B80003.0 | | MM34 | 00001 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.1 | | MM35 | 00002 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.2 | | MM36 | 00003 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.3 | | ANM16 | 00004 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.4 | | AGM16 | 00005 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.5 | | B01 | 00006 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.6 | | B02 | 00007 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G1B80003.7 | | B03 | 00008 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G2B80003.0 | | V01 | 00009 | BOOL | OUTPUT | IO |
| M-123G2B80003.1 | | V02 | 00010 | BOOL | OUTPUT | IO |

Figura 3.15 Ventana de direcciones MODBUS

El CONF700 utiliza un estándar abierto para uso industrial, trabajando con los protocolos Modbus/RTU y Modbus/TCP. En MODBUS las direcciones están distribuidas en 4 grupos de referencia.

- Salidas discretas (1xxxx).
- Entradas discretas (2xxxx).
- Entradas análogas (3xxxx).
- Salidas análogas (4xxxx).

3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC PARA EL DISPERSOR M16

Como se explicó en el desarrollo del HMI, el manejo remoto del proceso se lo realiza en dos modos: modo manual y modo de recetas. Para el desarrollo del programa del PLC se considera que en modo manual el PLC recibe una orden para ejecutarla, la misma que es emitida por el supervisor (operador); mientras que en modo de recetas el PLC recibe una secuencia en cuanto a cantidad y orden de una serie de procesos, para ejecutarlos de forma completamente autónoma.

A continuación se resume la lógica de programación del sistema en un diagrama de flujo (Figura 3.16), este se complementa con diagramas de flujo de partes específicas del proceso explicados más adelante.

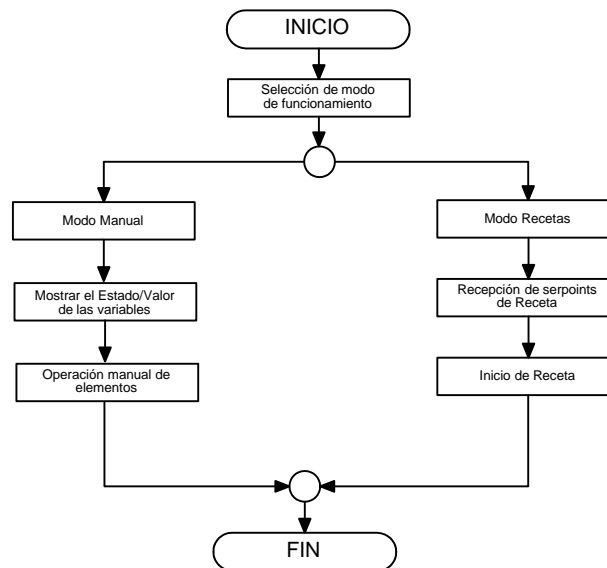


Figura 3.16 Diagrama de flujo de la lógica de programación de todo el sistema

Para un mejor entendimiento se realiza una descripción de cada uno de los procesos involucrados en el diagrama de la Figura 3.16.

- **SELECCIÓN DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO**
Se decide si el sistema operará en forma automática o manual.
- **MODO MANUAL**
El operador tiene control de la operación del sistema mediante el ingreso de valores o comandos.
- **MOSTRAR ESTADO/VALOR DE LAS VARIABLES**
El PLC revisa el estado de los elementos discretos, como son: válvulas, bombas y motores. También recibe valores actuales de las variables análogas, estas son: peso del dispersor M16, peso del tanque M34, peso del tanque M35, peso del tanque M36, velocidad del agitador del dispersor M16 y temperatura del dispersor M16.
- **OPERACIÓN MANUAL DE ELEMENTOS**
El operador pondrá en: marcha-paro, encendido-apagado y apertura-cierre a los elementos involucrados en el proceso.
- **MODO RECETAS (MODO AUTOMÁTICO)**
El PLC realiza el proceso de forma autónoma, según parámetros (receta) ingresados por el usuario.
- **RECEPCIÓN DE SETPOINTS DE RECETA**
Recepción de los datos de secuencia de procesos a realizarse y recepción de los setpoints que indican la cantidad a descargarse en cada proceso.
- **INICIO DE RECETA**
Inicio de la secuencia contenida en la receta.

En el modo de recetas se pueden realizar un total de 8 procesos de descarga hacia los tres tanques (M34, M35 y M36) y al dispersor M16. Los productos a ser descargados son las resinas ACSO50X y AMSO40, y la PASTA producida en el dispersor M16. Los procesos que pueden ejecutarse son los siguientes:

- Descarga de ACSO50X a dispersor M16.
- Descarga de ACSO50X a tanque M34.
- Descarga de AMSO40 a dispersor M16.
- Descarga de AMSO40 a tanque M35.
- Descarga de AMSO40 a tanque M36.
- Descarga de PASTA a tanque M34.
- Descarga de PASTA a tanque M35.
- Descarga de PASTA a tanque M36.

Desde el HMI el usuario debe ingresar el orden en que se producirán las descargas, así como la cantidad del producto (solo se realizarán los procesos que fueron configurados en la columna de orden de la ventana “receta”). Por otra parte, el HMI debe calcular el número de procesos a realizarse y generar una señal de inicio del proceso (sea para funcionamiento por tiempo o instantáneo). Todas estas señales deben ser comunicadas al PLC. El programa debe ser capaz de:

- Determinar el inicio de las recetas.
- Determinar el final de una receta. Para esto se usa una variable auxiliar que cuenta los procesos que han terminado (CONTPROC).
- Controlar el orden de la ejecución de los procesos. Para determinar que descarga se debe realizar, se compara el orden de cada uno de los procesos (VARV01, VARV02,.....,VARV8) con el CONTPROC.
- Generar los tiempos de seguridad entre el funcionamiento de válvulas y bombas.

En el diagrama de flujos de la Figura 3.17 se puede apreciar la lógica que se utilizó para el modo de recetas. Este es un diagrama de flujos general para los 8 procesos, por lo que no se mencionan dispositivos específicos. La lógica para recetas establece que si una receta ha iniciado, se empezará a ejecutar los procesos de descarga en el orden que se ha asignado desde la HMI. El proceso de descarga comienza abriendo la válvula y encendiendo la bomba correspondiente. Luego se chequea el valor de la balanza para verificar si se ha llegado al setpoint; de ser así, se apagará la bomba y se cerrará la válvula, con lo cual se dará fin a este proceso, y se da paso al proceso siguiente, de ser el caso, o finalizando el modo de receta.

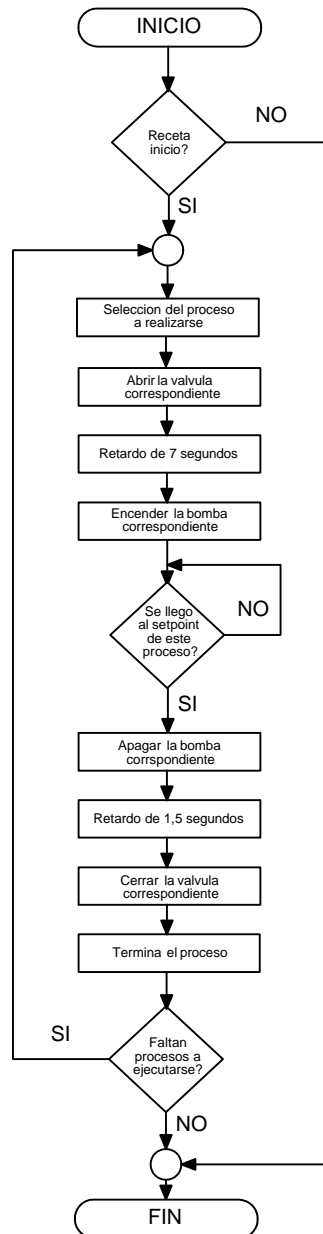


Figura 3.17 Diagrama de flujo de la lógica de programación del PLC (modo receta)

Para el modo de funcionamiento manual, el programa del PLC cuenta con las siguientes características:

- El funcionamiento en modo manual está condicionado a que una receta no este en proceso (con excepción de los motores).

- Las bombas solo pueden funcionar si la válvula del manifold que le corresponde está abierta.
- Los motores del M34, M35 y M36 pueden funcionar por tiempo o por control ON/OFF. Para esto debe existir una variable para selección (SELM34, SELM35 y SELM36). Se necesita leer una variable enviada desde el HMI, para el funcionamiento por control ON/OFF (ONM34) y una de inicio para el funcionamiento por tiempo (STARTM34, STARTM35 y STARTM36). Para el funcionamiento por tiempo es necesario que el tiempo sea enviado desde el HMI con una variable real (TIMEM34, TIMEM35 y TIMEM36).
- Las válvulas solo funcionan por control ON/OFF. Para esto se lee una variable del HMI que da la señal ON/OFF (ONV01,....., ONV15).
- Las bombas solo funcionan por control ON/OFF. Con este fin se lee una variable del HMI que da la señal ON/OFF (ONB01, ONB02, ONB03, ONB04, ONB05).

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama de flujo general de la lógica de programación de los motores. En la lógica mostrada en el diagrama primero se determina el modo de funcionamiento del motor, si este es por tiempo se chequea la variable de inicio de funcionamiento para poner en marcha al motor, luego se genera un retardo con el valor ingresado por el usuario para que al cumplirse este se pare al motor. Si el modo es manual se chequea a la variable de mando del motor para ponerlo en marcha o detenerlo.

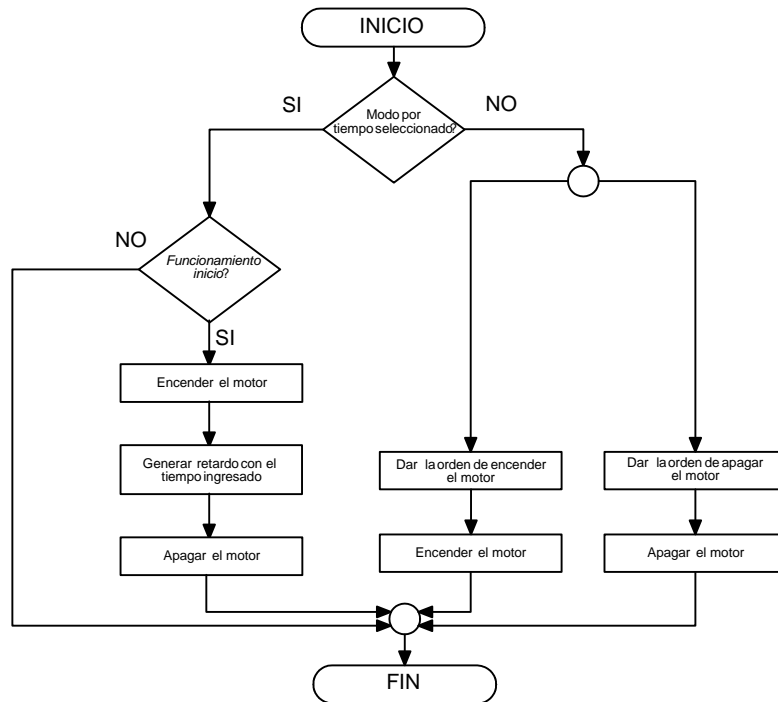


Figura 3.18 Diagrama de flujo de la lógica de programación del PLC para los motores M34, M35 y M36 (modo manual)

La lógica de programación para las válvulas, en modo manual, se muestra en el diagrama de flujo general de la Figura 3.19. El diagrama muestra la lógica en la cual primero se chequea si está en proceso una receta, pues si es así no se puede comandar a la válvula, en caso contrario se chequea la señal de mando para abrir o cerrar la válvula (antes de cerrar la válvula se genera un retardo de 1.5 segundos por seguridad).

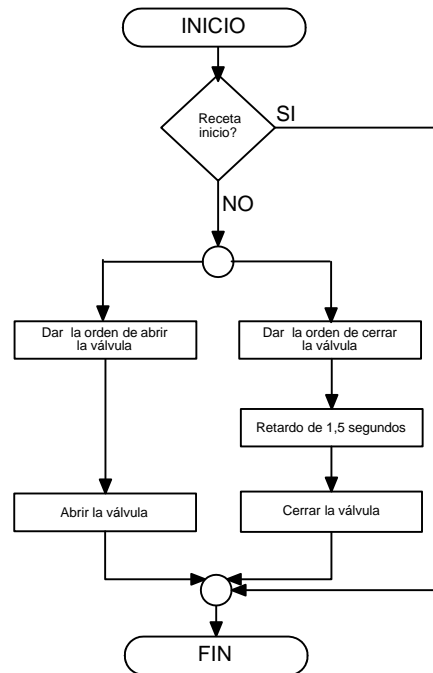


Figura 3.19 Diagrama de flujo de la lógica de programación del PLC para las válvulas (modo manual)

En el diagrama de flujo general de la Figura 3.20 se puede apreciar la lógica para el funcionamiento de las bombas, en el modo manual. La lógica mostrada en el diagrama primero chequea si está en proceso una receta, de ser así no se podrá comandar a la bomba, caso contrario se chequea la variable de mando. Si se determina que se debe poner en marcha la bomba, antes se deberá verificar que una de las válvulas asociadas a la bomba se encuentre abierta. Si la señal de mando indica el apagado de la bomba se generara un retardo de 7 segundos antes de pararla.

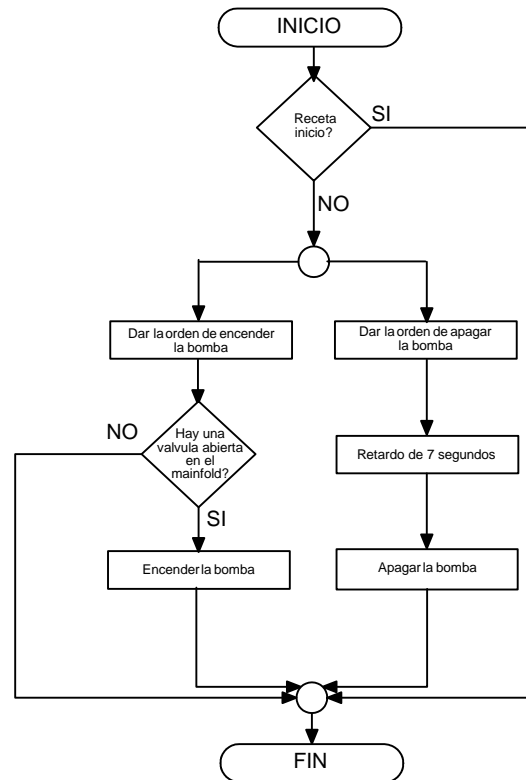


Figura 3.20 Diagrama de flujo de la lógica de programación del PLC para las bombas (modo manual)

La estructura física del PLC queda establecida como se indica en la Figura 3.21, además en la Tabla 3.3, se describe a todas las variables de entrada y salida para el PLC.

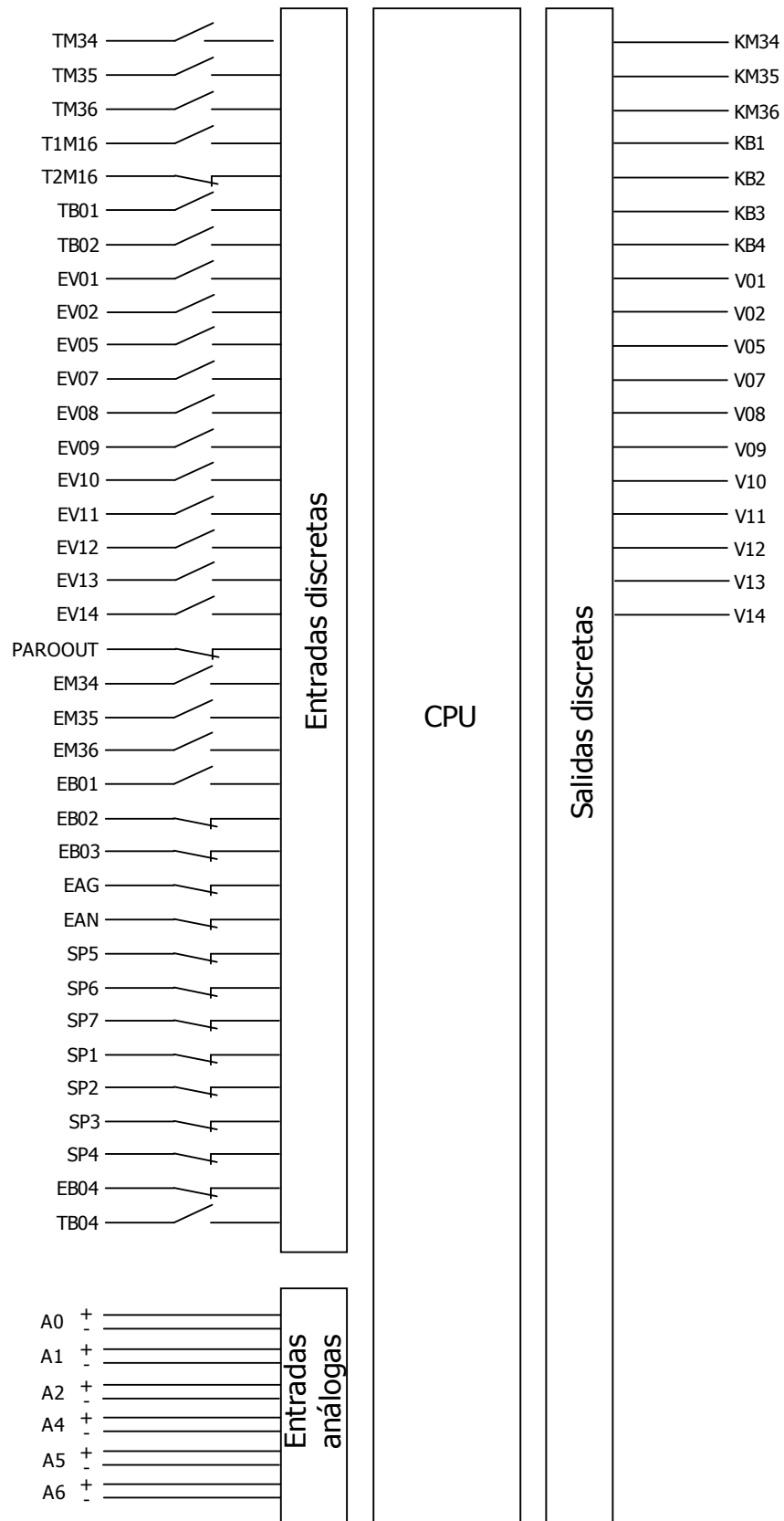


Figura 3.21 Estructura de entradas y salidas al PLC

| ENTRADAS | DESCRIPCION |
|----------|---|
| TM34 | Señal de la protección térmica del motor del agitador en el tanque M34 |
| TM35 | Señal de la protección térmica del motor del agitador en el tanque M35 |
| TM36 | Señal de la protección térmica del motor del agitador en el tanque M36 |
| T1M16 | Señal de la protección térmica del motor del ancla en el dispersor M16 |
| T2M16 | Señal de la protección térmica del motor del agitador en el dispersor M16 |
| TB01 | Señal de la protección térmica de la bomba B01 para descarga de resina ACSO-50X |
| TB02 | Señal de la protección térmica de la bomba B02 para descarga de resina AMSO-40 |
| EV01 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V01 para llevar ACSO-50X al dispersor M16 |
| EV02 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V02 para llevar ACSO-50X al tanque M34 |
| EV05 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V05 para llevar AMSO-40 al dispersor M16 |
| EV07 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V07 para llevar AMSO-40 al tanque M35 |
| EV08 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V08 para llevar AMSO-40 al tanque M36 |
| EV09 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V09 para llevar PASTA al tanque M34 |
| EV10 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V10 para llevar PASTA al tanque M35 |
| EV11 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V11 para llevar PASTA al tanque M36 |
| EV12 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V12 para controlar el ingreso de SOLVENTE |
| EV13 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V13 para llevar PASTA a un proceso de descarga manual |
| EV14 | Señal de estado de funcionamiento de la válvula V14 que controla el paso de PASTA a los tanques |
| PAROOUT | Señal del pulsante de retención para PARO GENERAL |
| EM34 | Señal de estado de funcionamiento del motor del agitador en el tanque M34 |
| EM35 | Señal de estado de funcionamiento del motor del agitador en el tanque M35 |
| EM36 | Señal de estado de funcionamiento del motor del agitador en el tanque M36 |
| EB01 | Señal de estado de funcionamiento de la bomba B01 para descarga de resina ACSO-50X |
| EB02 | Señal de estado de funcionamiento de la bomba B02 para descarga de resina AMSO-40 |

| | |
|----------------|---|
| EB03 | Señal de estado de funcionamiento de la bomba B03 para descarga de PASTA |
| EAG | Señal de estado de funcionamiento del motor del agitador en el dispersor M16 |
| EAN | Señal de estado de funcionamiento del motor del ancora en el dispersor |
| SP5 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) para el motor del agitador en el tanque M34 |
| SP6 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) para el motor del agitador en el tanque M35 |
| SP7 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) para el motor del agitador en el tanque M36 |
| SP1 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) de la bomba B01 para descarga de resina ACSO-50X |
| SP2 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) de la bomba B02 para descarga de resina AMSO-40 |
| SP3 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) de la bomba B03 para descarga de PASTA |
| SP4 | Señal del selector de modo de funcionamiento (remoto/local) de la bomba B04 para descarga de resina AMSO-40 |
| EB04 | Señal de estado de funcionamiento de la bomba B04 para descarga de resina AMSO-40 |
| TB04 | Señal de la protección térmica de la bomba B04 para descarga de resina AMSO-40 |
| A0 | Señal análoga (4-20mA) de temperatura del dispersor M16 |
| A1 | Señal análoga (4-20mA) de velocidad del motor del agitador en el dispersor M16 |
| A2 | Señal análoga (4-20mA) de peso del contenido del dispersor M16 |
| A4 | Señal análoga (4-20mA) de peso del contenido del tanque M34 |
| A5 | Señal análoga (4-20mA) de peso del contenido del tanque M35 |
| A6 | Señal análoga (4-20mA) de peso del contenido del tanque M36 |
| SALIDAS | DESCRIPCION |
| KM34 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto del motor del agitador en el tanque M34 |
| KM35 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto del motor del agitador en el tanque M35 |
| KM36 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto del motor del agitador en el tanque M36 |
| KB1 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto de la bomba B01 para descarga de resina ACSO-50X |
| KB2 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto de la bomba B02 para descarga de resina AMSO-40 |
| KB3 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto de la bomba B03 para descarga de PASTA |

| | |
|-----|---|
| KB4 | Relé auxiliar para el funcionamiento en modo remoto de la bomba B04 para descarga de resina AMSO-40 |
| V01 | Relé para el funcionamiento de la válvula V01 para llevar ACSO-50X al dispersor M16 |
| V02 | Relé para el funcionamiento de la válvula V02 para llevar ACSO-50X al tanque M34 |
| V05 | Relé para el funcionamiento de la válvula V05 para llevar AMSO-40 al dispersor M16 |
| V07 | Relé para el funcionamiento de la válvula V07 para llevar AMSO-40 al tanque M35 |
| V08 | Relé para el funcionamiento de la válvula V08 para llevar AMSO-40 al tanque M36 |
| V09 | Relé para el funcionamiento de la válvula V09 para llevar PASTA al tanque M34 |
| V10 | Relé para el funcionamiento de la válvula V10 para llevar PASTA al tanque M34 |
| V11 | Relé para el funcionamiento de la válvula V11 para llevar PASTA al tanque M34 |
| V12 | Relé para el funcionamiento de la válvula V12 para controlar el ingreso de SOLVENTE |
| V13 | Relé para el funcionamiento de la válvula V13 para llevar PASTA a un proceso de descarga manual |
| V14 | Relé para el funcionamiento de la válvula V14 que controla el paso de PASTA a los tanques |

Tabla 3.3 Descripción de entradas y salidas para el PLC

3.3.1 Declaración de variables de entrada del PLC

Una vez configurado el hardware del PLC, se puede realizar la declaración de todas las variables que generan estos módulos, se especifica el rótulo de usuario y la descripción de cada variable (esto es muy útil para hacer las variables más familiares al programador).

Dentro de las variables físicas de entrada al PLC, se tiene:

- Señales de térmicos de motores y bombas.
- Señales de estado de motores, bombas y electroválvulas.

- Señal de paro general.
- Selector de modo de funcionamiento (entre local y remoto).
- Señales análogas de pesos (tanque M34, tanque M35, tanque M36 y dispersor M16), velocidad (agitador del dispersor M16) y temperatura (dispersor M16).

Las variables se distribuyen en grupos de 8 (dos grupos por cada módulo).A continuación se indica la declaración de cada uno de los módulos de entrada al PLC.

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de [^ |
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-012G1B8I002.0 | TM34 | Termico motor Tanque M34 | |
| 1 | M-012G1B8I002.1 | TM35 | Termico motor Tanque M35 | |
| 2 | M-012G1B8I002.2 | TM36 | Termico motor Tanque M36 | |
| 3 | M-012G1B8I002.3 | T1M16 | Termico motor ancora M16 | |
| 4 | M-012G1B8I002.4 | T2M16 | Termico motor agitador M16 | |
| 5 | M-012G1B8I002.5 | TB01 | Termico bomba B01 | |
| 6 | M-012G1B8I002.6 | TB02 | Termico bomba B02 | |
| 7 | M-012G1B8I002.7 | TB03 | Termico bomba B03 | |

Figura 3.22 Declaración de térmicos motores y Bombas

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de C |
| TERMICOS | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-012G2B8I002.0 | EV01 | Estado de valvula V01 | |
| 1 | M-012G2B8I002.1 | EV02 | Estado de valvula V02 | |
| 2 | M-012G2B8I002.2 | EV03 | Estado de valvula V03 | |
| 3 | M-012G2B8I002.3 | EV04 | Estado de valvula V04 | |
| 4 | M-012G2B8I002.4 | EV05 | Estado de valvula V05 | |
| 5 | M-012G2B8I002.5 | | | |
| 6 | M-012G2B8I002.6 | EV07 | Estado de valvula V07 | |
| 7 | M-012G2B8I002.7 | EV08 | Estado de valvula V08 | |

Figura 3.23 Declaración de estados de válvulas 1

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de C |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |
| ESTADOS2 | M-012G1B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS3 | M-012G2B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| MAN_AUT | M-012G1B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| INBOMBAS | M-012G2B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-012G1B8I012.0 | EV09 | Estado de valvula V09 | |
| 1 | M-012G1B8I012.1 | EV10 | Estado de valvula V10 | |
| 2 | M-012G1B8I012.2 | EV11 | Estado de valvula V11 | |
| 3 | M-012G1B8I012.3 | EV12 | Estado de valvula V12 | |
| 4 | M-012G1B8I012.4 | EV13 | Estado de valvula V13 | |
| 5 | M-012G1B8I012.5 | EV14 | Estado de valvula V14 | |
| 6 | M-012G1B8I012.6 | EV15 | Estado de valvula V15 | |
| 7 | M-012G1B8I012.7 | PAROOUT | Indica paro externo generado | |

Figura 3.24 Declaración de estados de válvulas 2

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de C |
| SALIDAS3 | M-123G1B80010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B80010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |
| ESTADOS2 | M-012G1B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS3 | M-012G2B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| MAN_AUT | M-012G1B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| INBOMBAS | M-012G2B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-012G2B8I012.0 | EM34 | Estado de motor M34 | |
| 1 | M-012G2B8I012.1 | EM35 | Estado de motor M35 | |
| 2 | M-012G2B8I012.2 | EM36 | Estado de motor M36 | |
| 3 | M-012G2B8I012.3 | EB01 | Estado de bomba B01 | |
| 4 | M-012G2B8I012.4 | EB02 | Estado de bomba B02 | |
| 5 | M-012G2B8I012.5 | EB03 | Estado de bomba B03 | |
| 6 | M-012G2B8I012.6 | EMAG | Estado de agitador | |
| 7 | M-012G2B8I012.7 | EMAN | Estado de ancora | |

Figura 3.25 Declaración de estados motores y bombas

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de C |
| SALIDAS3 | M-123G1B80010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B80010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |
| ESTADOS2 | M-012G1B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS3 | M-012G2B8I012 | 0 | 1 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| MAN_AUT | M-012G1B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| INBOMBAS | M-012G2B8I013 | 0 | 1 | 3 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-012G1B8I013.0 | PM34 | Cambio manual/automatico M34 | |
| 1 | M-012G1B8I013.1 | PM35 | Cambio manual/automatico M35 | |
| 2 | M-012G1B8I013.2 | PM36 | Cambio manual/automatico M36 | |
| 3 | M-012G1B8I013.3 | PB01 | Cambio manual/automatico B01 | |
| 4 | M-012G1B8I013.4 | PB02 | Cambio manual/automatico B02 | |
| 5 | M-012G1B8I013.5 | PB03 | Cambio manual/automatico B03 | |
| 6 | M-012G1B8I013.6 | PB04 | Cambio manual/automatico B04 | |
| 7 | M-012G1B8I013.7 | PB05 | Cambio manual/automatico B05 | |

Figura 3.26 Declaración de cambio manual/automático

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de (|
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 0 | M-401G1NR4I011.0 | TEMP | Temperatura del M16 | |
| 1 | M-401G1NR4I011.1 | VM16 | Velocidad del agitador | |
| 2 | M-401G1NR4I011.2 | BP | Peso del M16 (Phanter) | |
| 3 | M-401G1NR4I011.3 | | | |

Figura 3.27 Declaración de entradas análogas 1

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de (|
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|------------------|--------------------|--------------------------|----------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Color de Cable |
| 4 | M-401G2NR4I011.4 | JXM34 | Peso del M34 (Jagxtreme) | |
| 5 | M-401G2NR4I011.5 | JXM35 | Peso del M35 (Jagxtreme) | |
| 6 | M-401G2NR4I011.6 | JXM36 | Peso del M36 (Jagxtreme) | |
| 7 | M-401G2NR4I011.7 | | | |

Figura 3.28 Declaración de entradas análogas 2

3.3.2 Declaración de variables de salida del PLC

Dentro de las variables físicas de salida al PLC, se tiene todas las señales que sirven para comandar a los elementos involucrados en el proceso (motores, bombas y electroválvulas)

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de [^ |
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Valor de Seguridad |
| 0 | M-123G1B8O003.0 | MM34 | On/Off motor M34 | 0 |
| 1 | M-123G1B8O003.1 | MM35 | On/Off motor M35 | 0 |
| 2 | M-123G1B8O003.2 | MM36 | On/Off motor M36 | 0 |
| 3 | M-123G1B8O003.3 | B01 | Bomba para la AMSO50% | 0 |
| 4 | M-123G1B8O003.4 | B02 | Bomba para la AMSO40 | 0 |
| 5 | M-123G1B8O003.5 | B03 | Bomba para la pasta (BASE) | 0 |
| 6 | M-123G1B8O003.6 | B04 | Bomba para la AMSO40 | 0 |
| 7 | M-123G1B8O003.7 | B05 | Bomba para la UREA | 0 |

Figura 3.29 Declaración de salidas para motores y bombas

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de (|
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Valor de Seguridad |
| 0 | M-123G2B8O003.0 | V01 | Valvula AGSO50K a M16 | 0 |
| 1 | M-123G2B8O003.1 | V02 | Valvula AGSO50K a M34 | 0 |
| 2 | M-123G2B8O003.2 | V03 | Valvula UREA a M34 | 0 |
| 3 | M-123G2B8O003.3 | V04 | Valvula UREA a BASCULA | 0 |
| 4 | M-123G2B8O003.4 | V05 | Valvula AMSO40 a M16 | 0 |
| 5 | M-123G2B8O003.5 | V07 | Valvula AMSO40 a M35 | 0 |
| 6 | M-123G2B8O003.6 | V08 | Valvula AMSO40 a M36 | 0 |
| 7 | M-123G2B8O003.7 | V09 | Valvula BASE a M34 | 0 |

Figura 3.30 Declaración de salidas para válvulas 1

Proyecto M16(5): Tabla Global

| Tabla del Grupo de Módulo | | | | | |
|---------------------------|----------------|-------|---------|--------|--|
| Rótulo del Usuario | Rótulo | R E/S | Soporte | Ranura | Descripción de (|
| TERMICOS | M-012G1B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 1/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| ESTADOS1 | M-012G2B8I002 | 0 | 0 | 2 | Group 2/2 of 8 120 VAC Inputs (Isolated) |
| SALIDAS1 | M-123G1B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS2 | M-123G2B8O003 | 0 | 0 | 3 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| SALIDAS3 | M-123G1B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 1/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| | M-123G2B8O010 | 0 | 1 | 0 | Group 2/2 of 8 NO Relays Outputs (Double |
| ANALOG1 | M-401G1NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 1/2 of 4 Analog Inputs |
| ANALOG2 | M-401G2NR4I011 | 0 | 1 | 1 | Group 2/2 of 4 Analog Inputs |

Detalle de Puntos Borrar Llena Búsqueda OK

| Tabla de puerto | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| Pt | Rótulo | Rótulo del Usuario | Descripción de puerto | Valor de Seguridad |
| 0 | M-123G1B8O010.0 | V10 | Valvula BASE a M35 | 0 |
| 1 | M-123G1B8O010.1 | V11 | Valvula BASE a M36 | 0 |
| 2 | M-123G1B8O010.2 | V12 | Valvula Solvente a M16 | 0 |
| 3 | M-123G1B8O010.3 | V13 | Valvula salida de BASE a llenado | 0 |
| 4 | M-123G1B8O010.4 | V14 | Valvula salida de BASE a Tanques | 0 |
| 5 | M-123G1B8O010.5 | V15 | Valvula salida de Base a otros | 0 |
| 6 | M-123G1B8O010.6 | | | 0 |
| 7 | M-123G1B8O010.7 | | | 0 |

Figura 3.31 Declaración de salidas para válvulas 2

3.3.3 Diagramas de conexión eléctrica

Para comprender de mejor manera como están conectados los elementos involucrados en el proceso se ha realizado el siguiente P&ID (Figura 3.32).

Dentro de los elementos involucrados en la automatización del dispersor M16 existen algunos que se encuentran en funcionamiento, por lo cual se adaptó el diseño eléctrico a la situación presente. A continuación se describen estas adaptaciones:

- Debido a que 3 bombas se encuentran en funcionamiento (B01, B02 y B04) mediante pulsantes desde dos sitios distintos, fue necesario diseñar el circuito de control para que funcione en paralelo con el circuito ya existente.
- Puesto que el dispersor M16 se encuentra funcionando desde un pupitre de mando y todas las señales que se necesita involucrar en el presente proyecto se encuentran ya utilizadas, fue necesario obtener o duplicar dichas señales.

Los diagramas de conexión fueron divididos en cuatro grupos que son:

- Diagramas de control.- Estos diagramas muestran los circuitos eléctricos utilizados para el mando de los motores y las bombas (elementos que pueden ser operados de forma local y remota), también constan de un diagrama que muestra la forma en que se distribuye la línea de alimentación para los distintos elementos del proyecto. Para la nomenclatura de los elementos se utilizó la norma DIN, pero para representar las salidas y entradas del PLC se utilizó la nomenclatura que es usada por la Empresa. En la Figura 3.33 se puede ver un ejemplo en donde se da detalles de la nomenclatura

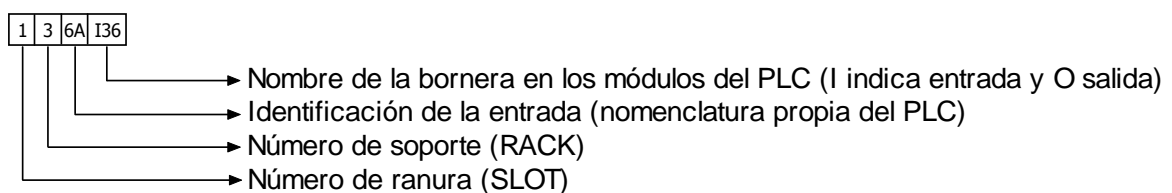


Figura 3.33 Nomenclatura de entradas y salidas del PLC

Estos diagramas se pueden encontrar en el ANEXO A. La Figura 3.34 muestra un ejemplo de un diagrama de control.

- Diagramas de conexión de módulos del PLC.- **Estos diagramas muestran las conexiones que se realizan para ingresar o sacar señales del PLC (estas señales pueden provenir del mismo armario, de otros armarios o del campo). Los módulos son representados por 3 letras y 1 número (Figura 3.35). En los módulos se pone el nombre a las borneras con nomenclatura designada por la empresa (Figura 3.36).**

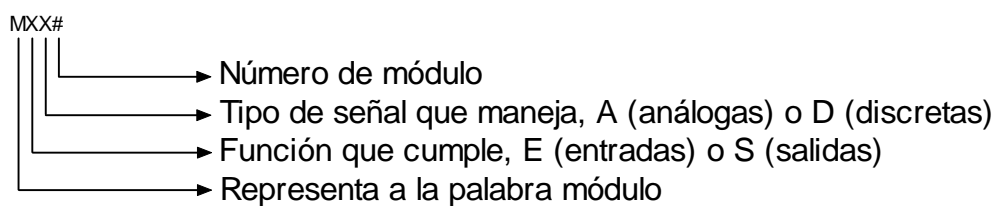
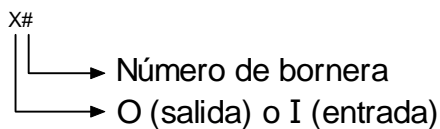


Figura 3.35 Nomenclatura de módulos del PLC

DISCRETAS



ENTRADAS ANALOGAS

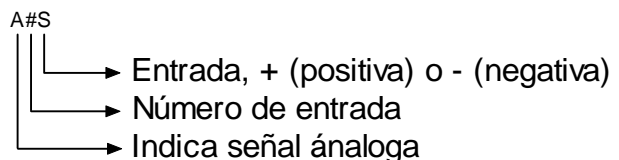


Figura 3.36 Nomenclatura de borneras del PLC

Estos diagramas se pueden encontrar en el ANEXO A. La Figura 3.37 muestra un ejemplo de un diagrama de conexión de módulos del PLC.

- Diagramas de conexión a borneras.- **Estos diagramas sirven como complemento a los diagramas de control, muestran las mismas conexiones que los diagramas de control pero dan énfasis en la ubicación física de los elementos y en la forma en que se conectan los elementos a las borneras.**

Estos diagramas se pueden encontrar en el ANEXO A. La Figura 3.38 muestra un ejemplo de un diagrama de conexión a borneras.

- **Diagramas de cableado.- Estos diagramas dan una visión global de los cables que sirven para conectar los elementos que se encuentran fuera del armario de control (armario donde esta ubicado el PLC). En la nomenclatura se muestra el nombre de los lugares de donde salen los cables, también muestra la distribución de los cables armados que se utilizaron y las borneras en donde se conectan los cables.**

Estos diagramas se pueden encontrarse en el ANEXO A. La Figura 3.39 muestra un ejemplo de un diagrama de cableado.

3.4 PRUEBAS DEL SOFTWARE DEL PLC

Para las pruebas del software se trabajó con todos los módulos del PLC y con comunicación con el HMI del computador.

Unas pruebas iniciales se realizaron con un HMI alternativo en el que se simulaban las señales de entrada del PLC, con el fin de discriminar errores de software con los físicos. Esta prueba sirvió para verificar la comunicación con el PLC y permitió localizar errores en partes específicas del programa.

Las pruebas finales del software se hicieron trabajando con todas las señales de entrada al PLC, análogas como discretas. Para esto se creó un hardware de simulación en un protoboard. Con estas pruebas se verificó la confiabilidad del software del PLC, en caso de que se generen errores de hardware. También se probó casos extremos en el funcionamiento como cortes de energía en la alimentación el computador y del PLC.

A continuación, en el capítulo 4, se detallan tanto el diseño como los resultados obtenidos de las pruebas generales realizadas al proyecto.

| | |
|---|-----|
| CAPITULO 3: DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC | 53 |
| 3.1 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL PLC SMAR LC700 | 53 |
| 3.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES | 55 |
| 3.1.2 ARQUITECTURA | 56 |
| 3.1.3 SISTEMA LC700 PARA EL PROYECTO DEL DISPERSOR M16 | 58 |
| 3.1.4 COMUNICACIÓN DEL CPU | 65 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE CONF700 V8.55 | 67 |
| 3.2.1 Requerimientos para la instalación del CONF700 V8.55 | 67 |
| 3.2.2 Configuración de una aplicación | 67 |
| 3.2.3 Desarrollo de una aplicación | 70 |
| 3.2.4 Direcciones MODBUS | 73 |
| 3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC PARA EL DISPERSOR M16 | 75 |
| 3.3.1 Declaración de variables de entrada del PLC | 87 |
| 3.3.2 Declaración de variables de salida del PLC | 92 |
| 3.3.3 Diagramas de conexión eléctrica | 94 |
| 3.4 PRUEBAS DEL SOFTWARE DEL PLC | 104 |

CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza el diseño y la ejecución de las pruebas realizadas al presente proyecto. También se realiza el análisis de los resultados obtenidos en dichas pruebas.

4.1 DISEÑO Y EJECUCION DE LAS PRUEBAS

Una vez verificado que el hardware del sistema esté estructurado correctamente, se continuó con el diseño de pruebas que sirvan para verificar que el sistema funcione de acuerdo a los requerimientos para cada uno de los modos de funcionamiento.

Para el funcionamiento local del sistema se observó que cada uno de los pulsadores funcione de forma correcta, además se verificó que el HMI mostrara en tiempo real el estado de cada uno de los elementos.

Para el funcionamiento en modo manual desde el HMI se probó los pulsantes virtuales de cada uno de los elementos, además se verificó que las señales de estado de los elementos, los pesos (tanque M34, tanque M35, tanque M36 y dispersor M16), la temperatura (dispersor M16) y la velocidad (agitador del dispersor M16) se mostraran correctamente para permitir una correcta supervisión.

Se diseñaron tres pruebas con el fin de verificar que el PLC trabaje correctamente cuando lo tiene que hacer de forma automática. A continuación se muestran estas pruebas.

1. Para la verificación del funcionamiento de los motores por tiempo, se ingresó distintos tiempos de trabajo con el fin de tabular los errores que se producen. Se comparó el tiempo ingresado por el usuario con el tiempo real de funcionamiento de los motores (medido mediante cronómetro). Los resultados de la prueba para el funcionamiento de los motores se muestran en (Tabla 4.1).

| Tiempo de prueba (min) | Numero de prueba | Tiempo medido (min) | Error absoluto (seg) | Error promedio (seg) | Error promedio porcentual (%) |
|------------------------|------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 1:00,46 | 0,46 | 0,72 | 1,2 |
| | 2 | 1:01,12 | 1,12 | | |
| | 3 | 0:59,23 | 0,77 | | |
| | 4 | 1:00,82 | 0,82 | | |
| | 5 | 0:59,57 | 0,43 | | |
| 3 | 1 | 3:00,64 | 0,64 | 0,47 | 0,26 |
| | 2 | 3:00,52 | 0,52 | | |
| | 3 | 3:00,12 | 0,12 | | |

| | | | | | |
|----|---|----------|------|------|------|
| | 4 | 3:00,25 | 0,25 | | |
| | 5 | 3:00,83 | 0,83 | | |
| 6 | 1 | 6:00,68 | 0,68 | 0.32 | 0.09 |
| | 2 | 6:00,05 | 0,05 | | |
| | 3 | 6:00,51 | 0,51 | | |
| | 4 | 5:59,92 | 0,08 | | |
| | 5 | 5:59,65 | 0,35 | | |
| 9 | 1 | 9:00,61 | 0,61 | 0.22 | 0,04 |
| | 2 | 9:00,02 | 0,02 | | |
| | 3 | 9:01,03 | 0,03 | | |
| | 4 | 9:00,34 | 0,34 | | |
| | 5 | 8:59,89 | 0,11 | | |
| 12 | 1 | 12:00,07 | 0,07 | 0.27 | 0,04 |
| | 2 | 12:00,63 | 0,63 | | |
| | 3 | 12:00,21 | 0,21 | | |
| | 4 | 12:00,09 | 0,09 | | |
| | 5 | 12:00,38 | 0,38 | | |

Tabla 4.1 Pruebas de funcionamiento de motores por tiempo

Debido a que el funcionamiento por recetas implica trabajar con materia prima, fue necesario coordinar estas pruebas con la gerencia de producción de Pinturas CONDOR. Se diseñaron dos tipos de pruebas para el funcionamiento por recetas.

2. Para verificar que en el funcionamiento por recetas se descarguen las cantidades ingresadas por el usuario, se ingresaron recetas de un solo proceso, con cantidades pequeñas de materia prima (trabajar con cantidades grandes de materia prima implica poder realizar menor cantidad de pruebas). El valor ingresado en la receta se compara con la diferencia de peso que muestran los visualizadores de las balanzas (estos previamente fueron calibrados con la ayuda de un flujometro). La Tabla 4.2 resume los resultados de estas pruebas.

| Proceso | SETPOINT Ingresado (Kg) | Cantidad descargada (Kg) | Error Promedio (Kg) | Error Promedio (%) |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| PASTA a M34 | 500 | 517 | 17 | 3,4 |
| PASTA a M34 | 1000 | 1015 | 15 | 1,5 |
| PASTA a M34 | 1500 | 1514 | 14 | 0,93 |
| PASTA a M35 | 500 | 520 | 20 | 4 |
| PASTA a M35 | 1000 | 1016 | 16 | 1,6 |
| PASTA a M35 | 1500 | 1517 | 17 | 1,33 |
| PASTA a M36 | 500 | 5018 | 18 | 3,6 |
| PASTA a M36 | 1000 | 1015 | 15 | 1,5 |
| PASTA a M36 | 1500 | 1516 | 16 | 1,07 |
| AMSO40 a M16 | 500 | 514 | 14 | 2,8 |
| AMSO40 a M16 | 1000 | 1010 | 10 | 1 |
| AMSO40 a M16 | 1500 | 1516 | 16 | 1,07 |

Tabla 4.2 Pruebas de funcionamiento de recetas

3. Las pruebas realizadas con varios procesos de descarga simultaneas estuvieron limitadas a las necesidades de producción actuales. Estas pruebas sirven para verificar que las secuencias de los procesos se realicen de forma correcta.

De forma simultánea con las pruebas anteriores se realizaron pruebas adicionales como:

- Dar pausa al proceso, con el fin de verificar que se detenga la receta y que se recalculen los valores a ser descargados.

- **Generar un paro general en medio de una receta, con esto se verificó que la receta se ponga en pausa y que se deshabiliten los distintos elementos del proceso.**
- **Activar de forma forzada un térmico, para verificar que la receta se ponga en pausa.**
- **Simular un desborde, con esto se verifica que se genere un paro general mediante software.**
- **Se ingresaron recetas que generarían desbordes con el fin de verificar las seguridades que se tiene para poder iniciar una receta (las seguridades evitan que una receta ingresada produzca un desbordamiento).**
- **Se probó las seguridades que existen para el funcionamiento en modo manual, estas prohíben el encendido de una bomba si no existen válvulas que permitan el flujo para esa bomba.**

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

Del análisis realizado de los resultados obtenidos se pudieron sacar las siguientes conclusiones:

- 1. Existieron retardos en los cambios de estado realizados en el HMI, estos se pueden atribuir al tiempo que le toma al computador refrescar las**

imágenes. Estos retardos no implican mayor inconveniente por lo que se pueden obviar.

2. Los errores en el modo de funcionamiento por tiempo de los motores tienen un error promedio que varía de 0,04 a 1,2 por ciento, este puede deberse en gran parte al error humano en la toma de mediciones. Debido a que la precisión no es muy importante en el funcionamiento de motores, ya que este no es exacto en una receta, se puede considerar un error aceptable.
3. Los errores en el modo de recetas para los procesos de descarga oscilan entre 0.93 a 4 por ciento. El error se debe principalmente a tres factores: la diferencia que existe entre el valor que muestra la balanza y el que recibe el PLC, el tiempo que demora la válvula en cerrarse y por la existencia de producto remanente en la tubería. Este error es aceptable para Pinturas CONDOR.
4. De las pruebas del modo de funcionamiento en recetas se concluyó que las secuencias de descargas se desarrollan sin errores.
5. De las pruebas realizadas de forma simultánea para probar las seguridades del sistema, se pudo comprobar que todas trabajan de forma correcta.

Del análisis de las pruebas se pudo determinar que el sistema es capaz de trabajar de forma autónoma, por lo que se aprobó su uso en modo recetas (esto cumple con las expectativas de Pinturas CONDOR para poder realizar descargas por la noche). El sistema demostró ser capaz de trabajar bajo los requerimientos de Pinturas CONDOR.

A continuación, en el capítulo 5, se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el presente proyecto.

| | |
|---|-----|
| CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 104 |
| 4.1 DISEÑO Y EJECUCION DE LAS PRUEBAS | 104 |
| 4.2 ANALISIS DE RESULTADOS..... | 108 |

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida en el diseño y la implementación del presente proyecto; del conocimiento asimilado al trabajar dentro de la industria; y del análisis de resultados de las pruebas, se puede extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- Se puede decir que un factor de vital importancia al momento de realizar el diseño, es el de saber satisfacer las necesidades y exigencias del cliente. En las soluciones que se escogieron dentro del proyecto, el factor más decisivo fue el económico, factor primordial dentro de una empresa privada.
- Al momento de realizar la implementación del proyecto, se debió acoplar el diseño a los cambios que se generaban en la marcha, de esto se concluye que los diseños deben ser lo suficientemente flexibles y con capacidad de expansión para que sean susceptibles de modificaciones.
- El HMI desarrollado es suficientemente seguro, confiable y amigable por lo que es apto para la manipulación por parte de operarios que no tengan la experiencia necesaria en el manejo de este tipo de sistemas.
- De la implementación física del sistema se puede concluir que es muy importante tener en cuenta las normas de seguridad industrial. Al realizar los trabajos de instalación es muy importante cumplir con las normas de seguridad personal, también los elementos, las conexiones y las

instalaciones deben cumplir con las normas de seguridad requeridas para áreas determinadas.

- Se establece también que es muy importante al momento de desarrollar un HMI no solo cumplir con los alcances de funcionalidad propuestos, sino que además se debe dar mucha importancia a la facilidad de uso del sistema.
- Para realizar el control dentro de una industria es preferible utilizar un PLC, a pesar del mayor costo de este comparado con otros controladores. Esto se debe a que los PLCs son más robustos y confiables permitiendo evitar errores en el proceso que pueden producir pérdidas materiales e incluso humanas.
- Para poder desarrollar el diseño es necesario escuchar sugerencias de las personas de las distintas áreas que estén vinculadas al proyecto de forma directa o indirecta, ya que ellos, en base a su experiencia, pueden sugerir mejoras en distintos aspectos relacionados al proyecto como: seguridades, apariencia del HMI, conexiones, etc.
- Para poder desarrollar el diseño es necesario escuchar sugerencias de las personas de las distintas áreas que estén vinculadas al proyecto de forma directa o indirecta, ya que ellos, en base a su experiencia, pueden sugerir mejoras en distintos aspectos relacionados al proyecto como: seguridades, apariencia del HMI, conexiones, etc.
- La implementación del presente proyecto permite la optimización de la producción del dispersor M16 y los tanques M34, M35 y M36. Esto se logra gracias a las siguientes características de la presente automatización:
 - Permite realizar descargas en horas no laborables.

- **Permite el funcionamiento por tiempo de los motores evitando que estos estén encendidos innecesariamente.**
- **Optimiza el funcionamiento de bombas, evitando que funcionen más tiempo del necesario.**

De esta manera se alcanza un incremento de producción de un 25% para este proceso y un ahorro económico para Pinturas CONDOR.

5.2 RECOMENDACIONES

- **Debido a que se utilizó un PLC modular con capacidad de expansión y se dejó un espacio de reserva en el armario de control, el proyecto implementado es susceptible de ampliaciones. Se recomienda que se piense en mejoras mediante la implementación de sensores análogos de nivel que confirmen lo indicado por las celdas de carga que determinan el peso de los tanques.**
- **Se pueden realizar mejoras para la seguridad del sistema para evitar desborde de tanques, para esto sería necesario utilizar sensores discretos de nivel para el nivel máximo. Esta alternativa fue sugerida en Pinturas CONDOR, pero del análisis costo beneficio se consideró que no era necesaria.**
- **Para que el proceso de llenado de tanque sea más preciso se pensó en una opción que pudiera implementarse como una modificación del proyecto actual, siendo esta:**
 - **Se puede cambiar a las electroválvulas actuales por otras que sean modulantes, esto permitiría disminuir el caudal de descarga de forma**

progresiva a medida que se aproxima al setpoint; de esta manera se reduciría el error de volumen descargado.

- Una recomendación importante al momento de realizar mantenimiento o cambios en el sistema, es el de utilizar los diagramas de conexión eléctrica como guía, esto facilitará el trabajo, reducirá tiempos y evitará posibles errores.
- Para evitar posibles fallas producidas por el computador donde se ejecuta el HMI, se recomienda cambiar este por uno nuevo de mayor capacidad de procesamiento, esto también haría que el HMI responda más rápido a los cambios de visualización.
- A todas las personas que vayan a operar el sistema se les recomienda que primero lean el manual de usuario. La información del manual de usuario servirá para que se conozca que hacer cuando se presentan mensajes o se dan bloqueos.
- Finalmente se recomienda a aquellas personas que realicen proyectos similares para Pinturas CONDOR, que prevean las reservas suficientes (en cables, capacidad del PLC, etc.) debido a que esta es una empresa en constante mejora y en constante cambio, con el fin de facilitar posibles revisiones sobre la marcha del proyecto o efectuar ampliaciones futuras.

| | |
|--|-----|
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 110 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 110 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 112 |