

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



***“Diseño de un sistema de automatización para la dosificación de aditivos líquidos en el proceso de mezclado de compuestos de PVC”***

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Michael Espinoza Rodríguez

**Cartago, Marzo 2013**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector

Ing. William Marín Moreno

Profesor lector

Ing. Francisco Navarro  
Henríquez  
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 23 del Abril del 2013

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 23 de Abril 2013



Michael Espinoza Rodríguez

Céd: 206340976

## Resumen

Este proyecto fue desarrollado para la empresa Durman Costa Rica, con el fin de mejorar la precisión y la constancia de la misma, en la dosificación de aditivos líquidos que ocurre en el proceso de producción donde se mezclan además de estos aditivos de gran importancia química, otras bases del PVC como lo son la resina y el carbonato de calcio, para dar como resultado los diferentes compuestos de PVC según sea el tipo de proceso para el cual está formulado, ya sea extrusión o inyección, razón por la cual las cantidades de peso descritas en las fórmulas, deben ser dosificadas con gran exactitud o de lo contrario pueden convertir el resultado final en desecho.

La solución para esta necesidad de la empresa, consistió en el desarrollo de una serie de pruebas e investigación de las propiedades físicas y químicas de cada uno de los aditivos, para posteriormente desarrollar un modelo de automatización que además de optimizar los recursos económicos y energéticos de la empresa, cumpla con las necesidades de calidad para las cuales fue diseñado.

Se desarrollaron pruebas de precisión con el PLC en conjunto con diferentes equipos electrónicos, digitales y analógicos, diseñados para el manejo del peso, el cual fue la variable de control fundamental durante todo el desarrollo del proyecto. Como resultado final se obtiene el diseño de una automatización adaptado a los requerimientos y a los recursos de la empresa.

**Palabras clave:** PVC, Dosificar, Automatización, Peso, PLC.

## **Abstract**

This project was developed to the Durman Costa Rica company, it was developed with the object to improve the accuracy and constancy of the same, in the dosage of liquid aditives that occurs in mixing process, across of this also blend this aditives that have great chemical importance with other PVC base like the resine and calcium carbonate to get as result the differents PVC compounds depending on the process for which was formulated, as extrusion or injection, for this reason is very necessary that the quantities will be dosed with great accuracy, because if not, the final product will be scrap.

The solution for this need of this company, consisted in the developed of one series of test and research of the physical and chemical properties for each one of aditives, and subsequently develop one automation design that besides of optimize economical and energetic resources of the company, meets with the needs for it was designed.

Developed test of accuracy with PLC in conjunction with differents analogic, and digital electronic equipments, design for the weight management, which was the most important control variable of this project. The end result was the automation design that meets with the requeriments and resources of the company.

## **Keywords**

PVC, Dosage, Automation, Weight, PLC.

## **Dedicatoria**

*A Dios por darme esta oportunidad, por darme salud para lograrlo y por guiar día a día cada uno de mis pasos, a mis padres y hermanos que han dado el mejor de sus esfuerzos y me han apoyado de forma incondicional para que esto se haga realidad.*

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios por darme la sabiduría, paciencia y perseverancia para luchar y no quedarme en el camino.

A mis padres y hermanos por el amor, la motivación y ese apoyo incondicional que siempre me brindaron.

A la empresa Durman que me abrió sus puertas para poder llevar a cabo este proyecto.

A los Ingenieros Rodolfo Rivera Hernández, Randall Ramírez, Randall Rodríguez Bermúdez y a la ingeniera Melisa Zamora Zamora por darme la confianza y por ser un medio de instrucción de gran valor durante todo este proceso de aprendizaje.

## Índice general

1. Introducción.....	13
1.1 Entorno del problema e importancia de su solución.....	13
1.2 Solución seleccionada.....	15
2. Meta y objetivos.....	18
2.1 Meta.....	18
2.2 Objetivo General.....	18
2.3 Objetivos específicos.....	19
3. Marco teórico.....	20
3.1 Descripción General del proceso.....	20
3.2 Antecedentes bibliográficos.....	24
3.3 Descripción de los fundamentos teóricos necesarios para la solución del problema.....	26
3.3.1 Principios básicos para el cálculo de bombas.....	26
3.3.2 Principios básicos de electroválvulas.....	32
3.3.3 Celdas de carga.....	34
3.3.4 Controladores lógicos programables (PLC).....	37
3.3.5 Interfaces industriales HMI.....	47
4. Procedimiento metodológico.....	50
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	50
4.2 Obtención y análisis de la información.....	50
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución.....	51
4.4 Implementación de la solución.....	51

4.5	Reevaluación y rediseño.....	53
5.	Descripción detallada de la solución.....	54
5.1	Análisis de solución y selección final.....	54
5.2	Descripción de Hardware.....	70
5.3	Descripción de Software.....	82
6.	Análisis de resultados.....	104
6.1	Resultados.....	104
6.2	Análisis.....	115
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	124
7.1	Conclusiones.....	124
7.2	Recomendaciones.....	125
	Bibliografía.....	126
	Apéndice.....	128
A.1	Glosario.....	128
A.2	Abreviaturas.....	128
A.3	Manual del Usuario.....	130
A.4	Planos eléctricos.....	131
	Anexos.....	132
B.1	Hoja de datos de la tarjeta Laumas TLE.....	132
B.2	Configuración del módulo de entradas analógicas F2-04AD-1.....	133

## Índice de figuras

1.1 Diagrama general del control de la solución propuesta.....	17
3.1 Interior de un mezclador con aspas de esfuerzo cortante.....	23
3.2 Mezclador vertical de alto esfuerzo cortante.....	23
3.3 Enfriador vertical de listones para conectar con agua.....	24
3.4 Diagrama de clasificación de las bombas mecánicas.....	27
3.5 Diagrama de una bomba de engranajes.....	28
3.6 Bomba de lóbulos sucesivos.....	29
3.7 Bomba cinética centrífuga.....	30
3.8 Pérdidas de carga de accesorios para tubería de acero inoxidable.....	31
3.9 Campo magnético producido por una bobina.....	33
3.10 Movimiento del embolo dentro de una bobina.....	33
3.11 Celda de carga de compresión.....	34
3.12 Celda de carga de viga tipo s.....	35
3.13 Celda de carga de flexión de viga.....	35
3.14 Diagrama del puente de resistencias.....	36
3.15 PLC siemens 6es7223.....	37
3.16 Mapa de memoria PLC Siemens Izumi.....	45
3.17 Mapa de memoria interna de áreas del PLC Siemens Izumi.....	46
3.18 Pantalla touch de 12", para interface HMI.....	47
3.19 Software SCADA, de interface HMI para la PC.....	49
5.1 Tanque tipo IBC.....	56
5.2 Primer diseño de automatización para aditivos líquidos.....	60
5.3 Segundo diseño de automatización para aditivos líquidos.....	61
5.4 Modulo de Control de Peso Laumas WL 60.....	64
5.5 Diagrama de bloques de la integración del sistema de control de peso 1 y el PLC.....	65

5.6 Tarjeta transmisora de peso Laumas TLE.....	66
5.7 Diagrama de bloques de la integración del sistema de control de peso 2 y el PLC.....	67
5.8 Válvula de paso con actuador eléctrico.....	71
5.9 Bomba de engranajes impulsada por motor eléctrico.....	71
5.10 Agitador con motor eléctrico para tanque IBC.....	72
5.11 Contactor para motor eléctrico con señal de control de 24V.....	73
5.12 Celda de carga Bending Beam, para 50Kg de peso máximo.....	73
5.13 Sensor de nivel simple.....	74
5.14 Tarjeta transmisora de peso de la marca LAUMAS.....	75
5.15 Base modular D2-09B-1, PLC Koyo DL205.....	76
5.16 Módulo de CPU DL250-1 para PLC Koyo 205.....	77
5.17 Módulo D2-16ND3-2 para PLC Koyo 205.....	77
5.18 Módulo F2-04AD-1 para PLC Koyo 205.....	78
5.19 Módulo D2-16NA para PLC Koyo 205.....	79
5.20 Módulo D2-12TR para PLC Koyo 205.....	79
5.21 Fuente de alimentación Delta de 24VDC/ 5A .....	80
5.22 Pantalla EA7-T8C.....	81
5.23 Diagrama de bloques de los equipos del sistema de automatización propuesto.....	82
5.24 Ambiente de trabajo de Direct Soft 5.....	83
5.25 Estructura general del software creado para el PLC.....	84
5.26 Diagrama de flujo del algoritmo de control de sensores y activación de bombas.....	86
5.27 Diagrama de flujo del algoritmo de control de arranque de los sensores.....	87
5.28 Relación de escalamiento de las entradas analógicas.....	88
5.29 Diagrama de flujo del algoritmo de tara automática.....	89
5.30 Diagrama de flujo de la primera etapa del algoritmo de dosificación.....	91
5.31 Diagrama de flujo de la segunda etapa del algoritmo de dosificación.....	93
5.32 Diagrama de flujo de la tercera etapa del algoritmo de dosificación.....	94

5.33 Diagrama de flujo de la cuarta etapa del algoritmo de dosificación.....	95
5.34 Diagrama de flujo de la rutina de consumo de aditivos.....	96
5.35 Diagrama resumen del mapa de memoria diseñado para un mezclador.....	97
5.36 Ambiente de trabajo de C-more.....	98
5.37 Ambiente de programación del mapa de memoria de la pantalla.....	99
5.38 Pantalla de inicio de la interface del sistema de control.....	100
5.39 Pantalla de consumo de aditivos.....	100
5.40 Pantalla de selección del compuesto para el mezclador 1.....	101
5.41 Pantalla de formulaciones de producción de los compuestos.....	101
5.42 Pantalla de mantenimiento del mezclador 1.....	102
5.43 Pantalla de actividad del proceso de dosificado del mezclador 1.....	103
6.1 Plano a escala del área de mezclado, vista superior.....	104
6.2 Plano a escala del área de mezclado, vista frontal.....	106
6.3 Prueba del sistema de activación de sensores y bomba con leds y dipswitch.....	110
6.4 Prueba de activación de sensores, bombas y modo automático.....	110
6.5 Tarjeta TLE en prueba de calibración del control de peso.....	111
6.6 Peso del 50% de la cantidad máxima a pesar.....	111
6.7 Prueba en pantalla del valor de peso del peso del 50 % de la cantidad máxima.....	112
6.8 Prueba con tornillo de metal de 10 gramos.....	112
6.9 Prueba en pantalla del valor de peso del tornillo de 10 gramos.....	113
6.10 Pantalla final de selección de compuestos.....	114
6.11 Pantalla final de monitorización del proceso.....	114

## Índice de Tablas

3.1 Formulaciones típicas de tubería y perfiles de PVC.....	21
3.2 Orden de adición de los aditivos para procesos de PVC.....	22
5.1 Propiedades físicas y químicas de los aditivos líquidos.....	55
5.2 Ventajas y desventajas de funcionamiento de los diseños Propuestos.....	62
5.3 Análisis presupuestario para la parte de dosificación de los diseños Propuestos.....	63
5.4 Análisis presupuestario para los dos sistemas de control de peso Propuestos.....	68
5.5 Ventajas y desventajas de los dos sistemas de control de peso Propuestos.....	69
6.1 Resumen de la información más relevante de los aditivos líquidos.....	105
6.2 Accesorios de tubería requeridos por bomba.....	106
6.3 Presiones obtenidas en m.c.a (metros columna de agua).....	107
6.4 Presiones obtenidas en m.c.l (metros columna de líquido) para determinar la capacidad de la bomba.....	107
6.5 Mapa de memoria de variables discretas para el Mezclador 1.....	108
6.6 Mapa de memoria de registros utilizados para el Mezclador 1.....	109
6.7 Tabla de resultados del sistema de peso recomendado.....	113

# **Capítulo 1 . Introducción**

## **1.1 Entorno del problema e importancia de su solución**

Fundada en Costa Rica en el año 1959 por Arthur Durman Carranza, la empresa Durman Esquivel S.A, se ha dedicado por más de 40 años al servicio de sus clientes, al desarrollo del negocio y al crecimiento del recurso humano, años en los cuales ha crecido lo suficiente como para consolidarse como una empresa internacional con sedes en todos los países de Centroamérica, México, Colombia y Perú.

Con la meta de ser una compañía líder en Latinoamérica, en la prestación de soluciones en la industria de la construcción que satisfaga las expectativas de los clientes y basándose en estrategias de negocios, políticas de calidad, valores y servicio, Durman ha logrado desarrollar una amplia gama de productos, como tuberías y accesorios de PVC, sistemas de riego, bombas para agua, carritos de golf, sistemas de tratamiento de aguas, ventanas de PVC y arquitecturas de interiores.

En un terreno de 170 000 metros cuadrados, ubicado en Costa Rica, en el Coyol de Alajuela, se encuentra la sede central de Durman, donde se producen prácticamente todos los productos que se mencionaron anteriormente y se mezclan toneladas de materia prima por día para ser exportadas a empresas hermanas de Centroamérica, donde también se fabrican cantidades menores de algunos accesorios de PVC de los productos Durman.

Con el paso del tiempo y la experiencia, Durman ha logrado establecer y estandarizar la forma en que se debe trabajar el PVC, así como la escogencia de las materias primas de la más alta calidad para dar con las formulaciones que llevan a obtener cada uno de los acabados de cada producto de PVC, ya que a diferencia de otros plásticos como el

PE, PP o PS, el PVC no puede ser procesado por sí solo, necesita de aditivos que deben ser mezclados previamente para poderse procesar, y deben existir formulaciones de los aditivos y de las cantidades exactas que se deben aplicar según el tipo de proceso al cual será sometido (extrusión o inyección) y del equipo con el cual se va a trabajar.

Es en este proceso de mezcla de aditivos, donde se vuelve vital respetar las formulaciones de los compuestos con gran rigurosidad y trabajar con márgenes de incertidumbre muy bajos en cada una de las adiciones de estos aditivos, ya que de no ser así, el compuesto de PVC pierde o altera las propiedades físicas y químicas para las cuales fue diseñado y lo que se produzca con ese compuesto se convertirá en un plástico diferente y vulnerable a presiones internas, externas, impactos, resistencia a temperaturas y demás factores a los cuales resistiría un producto de PVC, desarrollado con un compuesto correctamente mezclado.

En Durman, actualmente el proceso de mezclado es desarrollado por un equipo mezclador impulsado por un motor de 400A, con capacidad para mezclar una tonelada de materia por ciclo, la adición de las materias primas base del PVC como lo son la Resina y el carbonato de calcio, los cuales forman el 80% de la totalidad del peso que lleva el compuesto, son adicionados al mezclador por medio de un sistema automático de transporte neumático, pero el restante 20% lo conforman los aditivos menores que proporcionan al compuesto las propiedades que lleva cada uno de los diferentes productos de PVC, y los cuales están siendo pesados y adicionados al mezclador de forma manual por diferentes operarios.

En los últimos años en Durman, se han incrementado los porcentajes de desperdicio y reproceso de productos, dado que el producto final en varias ocasiones al mes, es rechazado por no superar las normas de calidad para las cuales fue diseñado, de forma que no puede salir en estas condiciones al mercado, y debe reprocesarse de nuevo, aumentando con esto el porcentaje de pérdidas, el consumo de materias primas, el pago de horas extra, el consumo de electricidad y el mantenimiento de los equipos. A razón

de estos injustificables aumentos, se realizaron una serie de investigaciones en la planta, para dar con las causas de estas variaciones, obteniendo como resultado que uno de los principales motivos, es la falta de precisión y concordancia con las fórmulas, que existe por parte de los operarios encargados al momento de preparar las dosificaciones de los aditivos menores en el proceso de mezclado, de forma que la dosificación va a depender entonces del estado de ánimo y de salud de los operarios, así como del correcto uso de la romana y de los instructivos de trabajo que existe para cada compuesto. Otro factor importante resulta ser la distribución en planta de los batches preparados, donde en varias ocasiones el chofer de montacargas toma una tarima con un batch que no corresponde a la producción planeada para ese día y lo entrega al operador del mezclador para que sea adicionado al mezclador en funcionamiento.

El presente proyecto pretende dejar planteado un sistema que solucione las necesidades descritas anteriormente, de modo que los diseños obtenidos sean efectivos y comprobados en la medida de lo posible, formulado con equipos y materiales presentes en el mercado y optimizando los recursos de la empresa para obtener una solución efectiva y de un costo realizable.

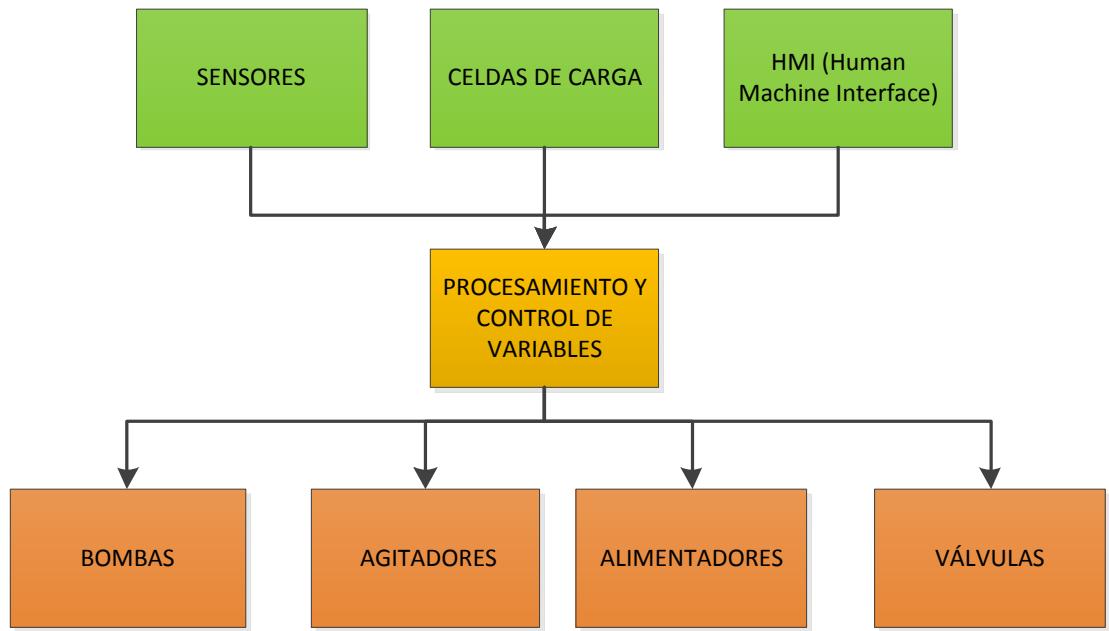
## **1.2 Solución seleccionada**

La solución a este problema consiste en desarrollar un sistema de automatización acorde con las necesidades expuestas en la sección anterior, comenzando con el desarrollo de una investigación completa acerca de las propiedades físicas y químicas, consumos y determinación de un rango de máximos y mínimos de las cantidades de aditivos que se deben pesar según las fórmulas. Se presentan los resultados de un estudio realizado a fin de determinar el espacio físico disponible en la planta, para realizar los planos de ubicación en el área, del sistema propuesto.

Se presentan los esquemas de los diseños de propuestos para los aditivos líquidos, así como la justificación de la escogencia de cada uno. Se presentan los resultados de una investigación realizada acerca de los equipos de automatización que ofrece el mercado, mediante la cual se logran obtener las listas de materiales y costos de los mismos para cada uno de los diseños.

Con el fin de optimizar los recursos económicos de la empresa, mejorar los tiempos de mantenimiento y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control de peso propuesto, se realizan una serie de pruebas de comunicación con el PLC y dos tipos de sistemas de control de peso propuestos, uno con el cual Durman ha trabajado hace ya varios años y otro completamente desconocido por la empresa, el cual consta de un hardware que no solo será capaz de adaptarse al sistema de automatización propuesto en este proyecto, sino que también podrá sustituir muchos de los sistemas de control de peso antiguos con los que cuenta la empresa para otras aplicaciones.

Se presenta el diagrama de flujo diseñado, el cual fue utilizado para el desarrollo de los algoritmos de programación de la lógica de control principal del sistema, que integra todos los dispositivos electrónicos, electromecánicos y de la pantalla para HMI, propuestos en el diseño de la solución. En la figura 1.1, se presenta un diagrama de flujo, donde se muestran en términos generales, los elementos relacionados con las entradas y salidas, que corresponden a las variables de control de la solución propuesta.



**Figura 1.1** Diagrama general del control de la solución propuesta

## **Capítulo 2 . Meta y objetivos**

### **2.1 Meta**

Mejorar los resultados de las pruebas de calidad, que se realizan al compuesto final que se obtiene del proceso de mezclado, para reducir los índices de desperdicio y reproceso en esta área.

Indicador: Obtener resultados de calidad positivos en más del 85% de los compuestos mezclados

### **2.2 Objetivo General**

Diseñar un sistema de automatización, para el proceso de adición y dosificación de aditivos líquidos, que se realiza en el proceso de mezclado de compuestos de PVC.

*Indicador:* Obtener el diseño de un sistema modelo de la automatización requerida, donde todo lo que corresponde a sensores, sistemas de control y demás dispositivos electrónicos utilizados, sean transferible o reproducible a futuro al proceso de producción real.

## 2.3 Objetivos específicos

1. Determinar los sensores, electroválvulas y bombas eléctricas que sean compatibles con la unidad de control PLC ya existente y que puedan ser transferidos del sistema prototipo al sistema real.

*Indicador:* Definir una lista de materiales (BOM), de dispositivos digitales o analógicos de uso industrial, capaces de funcionar con las cantidades de materia prima líquida según corresponda y de los cuales el PLC pueda capturar algún tipo de señal eléctrica, que le permita interpretar la información de manera rápida y precisa.

2. Diseñar un diagrama esquemático de la conexión de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos utilizados en el desarrollo del sistema de automatización propuesto.

*Indicador:* Obtener un plano donde se muestre la mejor ubicación de los diferentes sensores o dispositivos de activación, en los tanques contenedores y en las tuberías de transporte de materia prima, así como sus respectivas conexiones eléctricas, de manera que pueda ser reproducido a la realidad.

3. Obtener mediante la programación del PLC y la pantalla de interface con el usuario, un sistema que permita según la información brindada por los sensores, controlar los tiempos de activación de las electroválvulas y los motores.

*Indicador:* El sistema de control debe hacer que se proporcionen únicamente las cantidades de materia prima, tal y como están establecidas en las fórmulas respectivas para cada producto, sin dejar cabida a que se dé el desperdicio de materia. Además debe cumplir con las normas de seguridad vigentes en la empresa.

## Capítulo 3 . Marco teórico

### 3.1 Descripción General del proceso

El policloruro de vinilo o más conocido como PVC, por sus siglas del inglés *poly(vinyl chloride)* es un polímero termoplástico que se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone alrededor de los 140 °C. Este es un polímero por adición y además una resina que resulta del proceso de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetano. Además de tener una muy buena resistencia eléctrica y a la llama, es un compuesto que puede ser rígido o flexible y ajustable a diferentes tipos de necesidades.

En la producción del PVC, el átomo de cloro enlazado a cada átomo de carbono, le confiere características amorfas principalmente e impiden su recristalización, la alta fuerza de cohesión entre moléculas y cadenas poliméricas del PVC, se la atribuyen principalmente a los momentos dipolares fuertes que son originados por los átomos de cloro, los cuales a su vez también producen cierto impedimento estérico, es decir que repelen moléculas con igual carga, creando repulsiones electrostáticas que reducen la flexibilidad de las cadenas poliméricas, esta dificultad en la conformación estructural hace necesario la incorporación de aditivos en este proceso, para obtener un producto final, ajustado según la necesidad.

En la tabla 3.1, se muestra una tabla con algunas de las formulaciones típicas para trabajar con tuberías y perfiles de PVC.

**Tabla 3.1** Formulaciones típicas de tubería y perfiles de PVC

<b>Ingrediente</b>	<b>Función</b>	<b>Perfil</b>	<b>Tubería</b>
Resina PVC (K67)	Resina Base	100	100
Estabilizador Térmico de Estaño	Estabilidad al Calor	1.0 – 1.2 (>18% Sn)	0.3 – 1.0 (6% - 12% Sn)
Estearato de Calcio	Lubricante Interno	1.0 – 1.5	0.9 – 1.2
Cera Parafínica	Lubricante Externo	0.8 – 1.2	0.7 – 1.0
Cera PE / OPE	Lubricante Externo	0 – 0.2	0 – 0.2
Ayuda de Proceso	Promotor de Fusión Resistencia del Fundido	0.5 – 1.5	0.3 – 0.5
Modificador de Impacto	Resistencia al Impacto	4.8 – 6.0	0 – 2.5
Carbonato de Calcio	Carga / Relleno	0-5	5 – 25
Dióxido de Titanio	Pigmento / Protección UV	8.0 – 10.0	0.5 – 1.0
Pigmentos / Colorantes	Color	Como sea Necesario	Como sea Necesario

Con la adición de aditivos, se logra modificar ciertas propiedades del PVC, para manipularlo según la aplicación del producto final y el proceso de producción al cual será sometido, ya sea inyección, extrusión, soplado, moldeo, perfiles o tuberías. Razón por la cual deben desarrollarse las formulaciones según la propiedad que se desee modificar.

Las materias primas base del PVC son la Resina de PVC que constituye aproximadamente un 80% del compuesto y según la aplicación se utiliza también el carbonato de calcio, a partir de estas, se adicionan los aditivos cuyas funciones pueden ser: Estabilizadores, lubricantes, Ayudas de proceso o modificadores de impacto. La idea es adicionar los aditivos en cierto momento del proceso en el cual la resina de PVC está en capacidad de absorber estos aditivos y combinarse en un compuesto homogéneo. Razón por la cual deben respetarse las temperaturas recomendadas para adicionar los aditivos a la mezcla, en la Tabla 3.2, se muestra una tabla con el orden de adición de los aditivos según la temperatura del proceso.

**Tabla 3.2** Orden de adición de los aditivos para procesos de PVC

<b>Aditivo</b>	<b>Temperatura de adición °C</b>
Resina de PVC	Normal de inicio
Estabilizador	Normal de inicio
Lubricantes	65
Modificadores de impacto	75
Carbonato de calcio	85
Bióxido de Titanio	95

En Durman tras varios años de experiencia, se han logrado obtener las formulaciones para cada uno de los compuestos y trabajar con los procesos estandarizados que han dado origen a la amplia gama de productos de PVC, de la más alta calidad del mercado. Mas sin embargo, tras cada producto de PVC Durman, hay un proceso de producción que vale la pena analizar antes de pensar en mejorarlo. Este proceso da inicio con la carga de resina y carbonato de calcio, el cual actualmente se realiza de forma automática con cargadores equipados con sistemas de transporte neumático y controles de peso, que permiten cargar la cantidad de materia justa según la formulación, desde un silo o un mini silo, según sea el caso, para luego ser adicionada al mezclador.

Luego de la carga de estos compuestos base, los cargadores descargan su contenido en el mezclador, el cual consiste de un contenedor para aproximadamente una tonelada de material, fabricado en acero inoxidable y otros materiales, con aspas en el fondo, como se muestra en la figura 3.1 y 3.2, que son impulsadas por un motor de inducción trifásico con un consumo aproximado de 400A. Este mezclador comienza a agitar las materias que son depositadas en él, hasta que la temperatura en su interior alcanza los 65°C, en ese momento es cuando se comienzan a agregar los aditivos que modificarán las propiedades del compuesto. Actualmente, el sistema de adición de estos aditivos es desarrollado de forma completamente manual, donde el operario de turno encargado del mezclador, toma los aditivos que ya han sido pesados y depositados en bolsas de papel

o plástico sin identificación alguna y las vacía en el mezclador, según la temperatura que indique el sistema.



**Figura 3.1** Interior de un mezclador con aspas de esfuerzo cortante



**Figura 3.2** Mezclador vertical de alto esfuerzo cortante

Una vez acabada la mezcla, la materia debe pasar de forma inmediata a un enfriador, el cual consiste de un contenedor cilíndrico, conectado a varias tuberías de enfriamiento por agua, como el que se muestra en la figura 3.3, que optimizará la estabilidad del compuesto y hará que este se funda más rápido en el extrusor, además evitará que al almacenarlo caliente, este se queme y forme terrones en el contenedor. El compuesto final es el PVC que será utilizado en extrusión o inyección según la formulación.



**Figura 3.3** Enfriador vertical de listones para conectar con agua

En la misma planta donde se realiza este proceso, se encuentra un cuarto pequeño, donde se pesan los aditivos que forman el batch que el operario agrega al mezclador, este proceso se realiza también de forma manual por los operarios, abren los sacos que contienen los aditivos, colocan una bolsa de papel en una romana para luego comenzar a cargarla del aditivo según la formulación que corresponda, dejando la precisión y confiabilidad de las fórmulas en manos del inherente error humano.

### **3.2 Antecedentes bibliográficos**

Las búsquedas bibliográficas aquí descritas, permitieron obtener gran parte del conocimiento necesario para la comprensión y solución del problema. Dentro de los

documentos consultados se puede encontrar literatura técnica, información de internet, libros, presentaciones y demás escritos cuyo contenido está relacionado con el tema.

Inicialmente, fue necesario recurrir a la búsqueda de temas relacionados con el PVC como compuesto y sus procesos de producción, esto para conocer más a fondo el proceso y las variables que no deben perderse de vista a la hora de desarrollar un diseño de solución, para este temas las fuentes [1],[2],[3] y [4], fueron de gran utilidad para comprender mejor el proceso.

La fuente [5], fue de gran utilidad para conocer y entender uno de los métodos más utilizados para medir el ángulo de reposos de los materiales. El cual fue utilizado en el desarrollo de este proyecto para obtener este dato tan importante.

Para el transporte de líquidos, el cual debe tomarse en cuenta, dentro del diseño de la solución, fue necesario recurrir a las fuentes [6] y [7], para conocer más a fondo el tipo de bomba según su aplicación y el método para dimensionarla según los requerimientos del diseño.

Para conocer el procedimiento y desarrollo del cálculo de la presión de las bombas, fue de gran utilidad la fuente [8], donde se explica el método de una forma práctica y la fuente [9], que corresponde a la tabla que contiene la información de los coeficientes de pérdidas de los accesorios de tuberías.

Para comprender el funcionamiento de los equipos neumáticos, fue necesario consultar la fuente [10], la cual fue de gran utilidad para comprender algunos conceptos básicos del transporte neumático.

Dado que en la solución, fue indispensable la utilización de válvulas con actuador electromagnético, fue de gran utilidad la fuente [11], en la cual se pudo conocer la forma y el principio bajo el cual operan, y los principales factores que se deben tomar en cuenta para su determinación.

Gracias a la ayuda de la fuente [12], se logró conocer algunas de las principales celdas de carga que existen en el mercado, su principio de funcionamiento y el tipo que se debe utilizar según la aplicación para la cual se requiera.

Con la información obtenida de las fuentes [13] y [14], se logró comprender mejor el PLC, su estructura interna y externa además de las funciones que puede desempeñar y las aplicaciones para las cuales es comúnmente utilizado, además de conocer las razones por las cuales es el preferido de las automatizaciones industriales.

Con la ayuda de las fuentes [15] y [16], se logró obtener los conocimientos necesarios para poder diseñar un amplificador de instrumentación, que resultó útil en la realización pruebas con celdas de carga, que posteriormente daría pie a un nuevo diseño.

Para obtener los conocimientos básicos acerca de las interfaces HMI, que permitirían dar un enfoque más amigable y a la vez potente al proyecto, fue de gran utilidad la referencia [17].

Las fuentes [18] y [19], fueron sin duda alguna una ayuda indispensable para la programación del PLC y la configuración del módulo de entradas analógicas, además se pudo obtener información relevante acerca de las funciones de cada una de las instrucciones que actúan sobre el PLC.

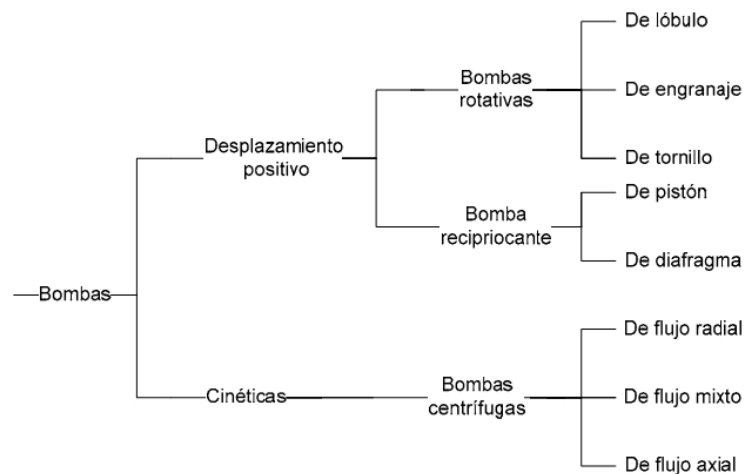
### **3.3 Descripción de los fundamentos teóricos necesarios para la solución del problema**

#### **3.3.1 Principios básicos para el cálculo de bombas**

Para el transporte de líquidos desde un recipiente a otro a través de una red de tuberías se utiliza generalmente algún tipo de bomba mecánica. La energía consumida por una bomba es una función; de la altura a través de la cual se eleva el fluido, de la presión que se requiere en la descarga del fluido, de las características de la tubería (longitud,

diámetro y rugosidad relativa), de la velocidad del flujo, así como de las propiedades físicas del fluido, como son la densidad y la viscosidad.

Entre las aplicaciones de bombeo de líquidos en la industria de la ingeniería química, se pueden mencionar, el transporte de diferentes líquidos como por ejemplo: agua, ácidos o productos derivados del petróleo, como benceno o nafta, desde los tanques de almacenamiento hasta las unidades procesos. El fluido a transportar puede ser un líquido de baja viscosidad o muy viscoso. Puede ser un líquido limpio o contener partículas en suspensión o ser muy corrosivo. Todos estos factores influyen en la elección de una bomba. Debido a la amplia variedad de necesidades, se encuentran en la actualidad diferentes tipos de bombas, en la figura 3.4, se muestra un diagrama en el cual se pueden distinguir los principales tipos:



**Figura 3.4** Diagrama de clasificación de las bombas mecánicas

### **Bombas de desplazamiento positivo**

En las bombas de desplazamiento positivo el fluido que se desplaza está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engranaje, una paleta y la carcasa o el cilindro. Se dividen en 2 grupos; las bombas rotatorias y las bombas reciprocantes, a continuación se detallan las primeras ya que son las de mayor interés para el planteo de la solución de este proyecto.

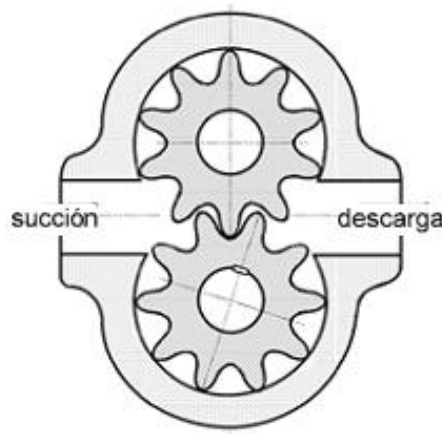
## Bombas rotatorias

Las bombas rotarias atrapan el líquido y lo empujan contra la carcasa manteniendo un flujo constante. Se pueden utilizar en la dosificación de efluentes, en el bombeo de residuos viscosos, así como para la introducción de reactantes y catalizadores en un reactor.

Este tipo de bombas pueden manejar líquidos de diferentes viscosidades, así como líquidos que contengan aire o vapor. No tienen válvulas de succión y descarga. No pueden trabajar con líquidos abrasivos ya que estos pueden ocasionar un desgaste prematuro en las piezas internas, a continuación se describen algunas de las bombas rotativas más comunes.

- Bomba de engranajes

La bomba de engranaje es la más empleada entre las bombas rotativas. Su funcionamiento consiste en dos ruedas dentadas que operan dentro de una carcasa, ver figura 3.5. El líquido es transportado en el espacio comprendido entre dos dientes consecutivos y la carcasa y es desplazado hacia la zona de descarga. Su rango de aplicación es para caudales menores de  $6(\text{m}^3/\text{min})$  y con un  $\Delta p < 150$  atm, y no están diseñadas para transportar sólidos.

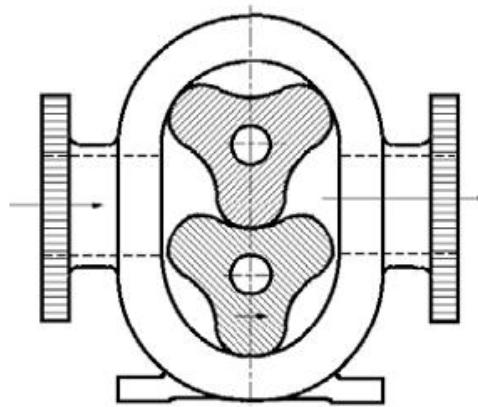


**Figura 3.5** Diagrama de una bomba de engranajes

- Bomba de lóbulos

La bomba de lóbulos opera de forma similar a la bomba de engranajes. Presenta unos rotores que giran en el sentido de las agujas del reloj y pueden tener dos, tres o más lóbulos. El fluido es conducido a los alrededores por la cavidad que se forma entre lóbulos sucesivos, ver figura 3.6.

Estas bombas tienen la particularidad de ser reversibles y son muy utilizadas en las transmisiones hidráulicas.



**Figura 3.6** Bomba de lóbulos sucesivos

### **Calculo de pérdidas de carga**

Una vez que tenemos claro el tipo de bomba que vamos a utilizar, es necesario calcular las capacidades que debe tener dicha bomba, para esto se debe tomar en cuenta el tipo de fluido, el diámetro interno de la tubería de transporte, la altura a la cual debemos elevar el fluido y la presión de salida que se quiere obtener al final del recorrido.

El rozamiento de un fluido con las paredes de la tubería por la que circula provoca en el mismo una caída de presión. Conocer el valor de esta caída de presión es necesario de cara al cálculo de las bombas, pero también para comprobar que el diámetro elegido para la conducción es suficiente, pues de ser éste muy pequeño la pérdida de carga que se produzca será muy elevada.

Para comenzar con el cálculo de las pérdidas, debemos conocer todas las variables involucradas en el proceso y el método para realizarlo, para el desarrollo de este proyecto se utilizó el método práctico de Hazen-Williams (1905), Este método es válido

solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). Mediante la ecuación 3.1, de Hazen-Williams, se puede calcular la altura manométrica  $H_m$ , que corresponde a la suma de la altura geométrica total  $H_g$ , más las pérdidas de carga totales de la instalación, es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y aceros.

$$\text{Total } H_m(\text{m. c. a}) = \Delta H_g + n_1 * \gamma_1 + n_2 * \gamma_2 + n_3 * \gamma_3 + n_n * \gamma_n + \dots \quad (3.1)$$



Donde:

$\Delta H$  = Cambio de altura

$n_1$  = Cantidad de accesorios de tubería 1

$\gamma_1$  = Coeficiente de fricción del accesorio 1

Los coeficientes de fricción de cada accesorio, por lo general deben ser proporcionados por cada fabricante de accesorios de tubería, para este proyecto, se utilizó la tabla que se muestra en la figura 3.8, proporcionada por el fabricante Dayso Corp, que es una empresa de origen Chileno, dedicada a la fabricación de tuberías y accesorios de varios metales, entre ellos el acero inoxidable.

ACCESORIOS		Coef. de pérdidas de cargas secundarias $\phi$ K	LONGITUD EQUIVALENTE						
			15	20	25	30	40	50	60
			m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Codo a 90°		0.7	0.328	0.51	0.721	0.897	1.217	1.444	1.898
Codo a 45°		0.5	0.234	0.364	0.515	0.64	0.869	1.032	1.356
Codo radio corto 90°		1.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Reducción		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.413	0.542
Unión		0.1	0.047	0.073	0.103	0.128	0.174	0.206	0.271
Te con salida primaria por el ramal y flujo unidireccional en eje principal.		1.3	0.609	0.947	1.339	1.665	2.28	2.687	3.526
Te con ingreso primario desde ramal y flujo unidireccional en eje principal.		0.9	0.421	0.655	0.926	1.152	1.564	1.867	2.44
Te con salida primaria en el eje principal y por el ramal sale alguna línea.		0.3	0.141	0.219	0.309	0.394	0.522	0.619	0.814
Te con salida primaria en el eje principal y por el ramal ingresa alguna línea.		0.2	0.094	0.146	0.206	0.256	0.348	0.412	0.542
Te con ingreso primario por ramal y contraflujo hacia el interior en el eje principal.		0.5	0.703	1.093	1.545	1.921	2.608	3.095	4.068
Te con ingreso primario por ramal y contraflujo hacia el interior en el eje principal.		3	1.405	2.186	3.09	3.543	5.216	6.19	8.136

**Figura 3.8** Pérdidas de carga de accesorios para tubería de acero inoxidable

### 3.3.2 Principios básicos de electroválvulas

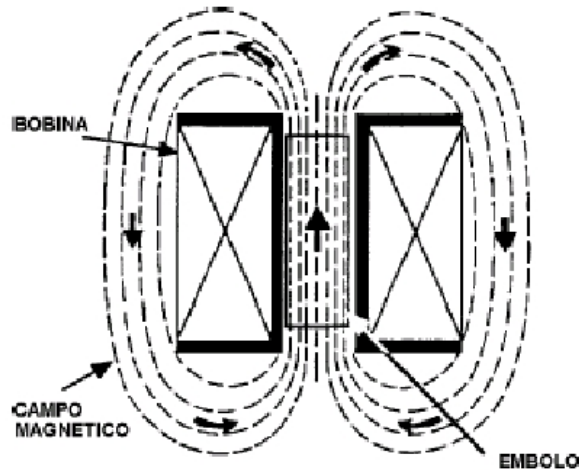
En muchas aplicaciones es necesario controlar el paso de algún tipo de flujo, desde corriente eléctrica hasta gases o líquidos, esta tarea es realizada por válvulas. En particular, las accionadas por solenoides, que permiten su implementación en lugares de difícil acceso y facilitan la automatización del proceso al ser accionadas eléctricamente.

Para comprender el principio de su funcionamiento, comenzaremos definiendo un solenoide, como el conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina, por el cual circula una corriente y produce un campo magnético que atrae el émbolo móvil, provocando que este se desplace y active o desactive el paso del fluido. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

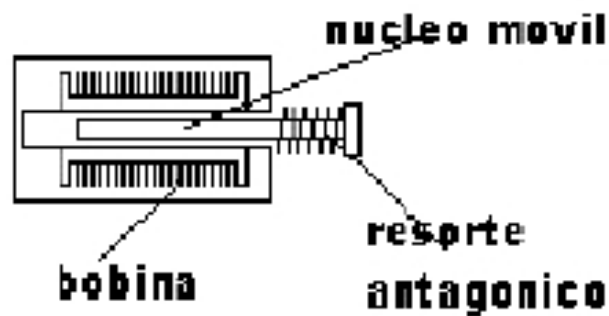
Algunas válvulas trabajan con electroimanes, que resultan ser un solenoide, que bajo el efecto de corriente circulante, se comporta como un electroimán, que atrae materiales ferromagnéticos, producto de la alineación de momentos magnéticos atómicos. El campo magnético, creado al circular corriente por el solenoide, actúa sobre el émbolo móvil de material magnético, produciéndose una fuerza que ocasiona el desplazamiento del émbolo permitiendo el cierre o apertura de la válvula. En la figura 3.9, se puede apreciar un esquema de este fenómeno que se puede describir de acuerdo a la ecuación 3.2, de la Ley de Ampere:

$$\oint_H \vec{*} \cdot d\vec{l} = i_{Encerrada} \quad (3.2)$$

Este campo produce una fuerza sobre el émbolo o núcleo móvil, tal como se aprecia en la Figura 3.10.



**Figura 3.9** Campo magnético producido por una bobina



**Figura 3.10** Movimiento del embolo dentro de una bobina

Existen muchos tipos de válvulas de solenoide, todas ellas trabajan con el principio físico antes descrito, sin embargo se pueden agrupar de acuerdo a su aplicación, construcción o forma como lo vemos a continuación:

Según su aplicación: Acción Directa u Operadas mediante piloto.

Según su construcción: Normalmente abierta o Normalmente cerrada.

Según su forma: De acuerdo al número de vías.

Cabe destacar que, al momento de dimensionar la válvula, se debe tener en cuenta la cantidad de flujo a controlar, más que el ancho de la tubería. En este sentido, es recomendado consultar las especificaciones del fabricante para cada válvula.

El tipo de alimentación con que trabaja la válvula (Rango de Voltaje y Frecuencia), es un dato fundamental, ya que al no cumplir con estos rangos puede causar daño permanente en la bobina inutilizando la válvula. En este sentido, a modo de sugerencia, se recuerda que no es conveniente polarizar la bobina del solenoide al mismo tiempo que se conecta a la alimentación un motor de gran potencia (bobina) dado que este causa variaciones importantes en el nivel de voltaje aplicado al solenoide.

### 3.3.3 Celdas de carga

Las celdas de carga son sensores de peso electrónicos cuya finalidad es recibir la excitación eléctrica provocada por un peso determinado aplicado a la plataforma y transmitirlo hacia un indicador de peso en forma de una salida eléctrica. Existe en mercado una muy amplia variedad de celdas de carga, las cuáles varían en forma, tamaño, material, entre otras cosas. Los fabricantes de celdas de carga para medir la presión se vuelcan preferentemente al uso de las galgas extensiométricas en sus diseños.

Las celdas de carga que miden según su compresión como la de la figura 3.11, tiene una excelente estabilidad a largo plazo, y en su mayoría, son construidas en acero inoxidable para asegurar la fiabilidad en entornos industriales. Están diseñadas para operar montadas a una superficie plana, y tienen un botón de carga mecanizado como parte integrante de la celda de carga básica.



**Figura 3.11** Celda de carga de compresión

Otro tipo de celdas de carga son las que tienen viga en forma de S, como la de la figura 3.12, estas pueden proporcionar una salida de acuerdo con la tensión o compresión y ofrecen rechazo de carga lateral superior. Existen además, otro tipo de celdas de carga que es muy utilizada sobre todo en aplicaciones donde se pesa en tolvas grandes que deben utilizar más de una celda de carga, son las celdas de flexión de viga, como la que se muestra en la figura 3.13, que son utilizadas también en tanques de pesaje y control de procesos industriales, ya que cuentan con un amplio margen de medida y gran precisión.



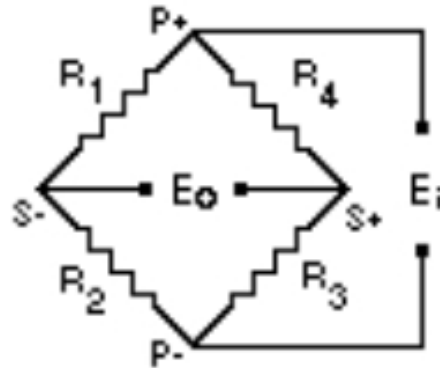
**Figura 3.12** Celda de carga de viga tipo s



**Figura 3.13** Celda de carga de flexión de viga

Las galgas extensiométricas que se encuentran en el interior de las celdas de carga, por lo general se ubican en forma de puente de Weastone, ya que esta configuración les permite lograr ciertas condiciones de medición. Los transductores de alta calidad que utilizan estas galgas de tensión, como elemento de medición primario incorporan técnicas sofisticadas para reducir al mínimo, efectos termales, no linealidades, histéresis

y otras fuentes de error, pero todas estas consideraciones serán limitadas a las características únicas del puente, como el que se muestra en la figura 3.14.



**Figura 3.14** Diagrama del puente de resistencias

Donde la salida del puente puede ser expresada como se muestra en la ecuación 3.3:

$$\frac{E_0}{E} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.3)$$

Donde  $E_0$ , es el voltaje de salida del puente,  $E$  corresponde al voltaje de excitación del puente, y  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_4$ , son las resistencias de las galgas del puente.

Si el puente está balanceado, no se produce ninguna salida, esto es cuando se produce alguna de las siguientes condiciones en el puente:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad \text{ó} \quad \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Si se produce un cambio en la resistencia de una o más de las galgas, desequilibrará el puente para producir una señal de salida.

### 3.3.4 Controladores lógicos programables (PLC)

Los controladores lógicos programables ó PLC, como el que se muestra en la figura 3.15, son dispositivos operados digitalmente, que utiliza una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteos y operaciones aritméticas para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas varios tipos de máquinas o procesos.



**Figura 3.15** PLC siemens 6es7223

La historia de estos dispositivos, comienza en 1969 cuando la División Hydramatic de la General Motors instaló el primer PLC para reemplazar los sistemas inflexibles cableados usados entonces en sus líneas de producción. Ya en 1971, los PLC se extendían a otras industrias y, en los ochentas, ya los componentes electrónicos permitieron un conjunto de operaciones en 16 bits, comparados con los 4 de los 70s, en un pequeño volumen, lo que los popularizó en todo el mundo.

En los 90s, aparecieron los microprocesadores de 32 bits con posibilidad de operaciones matemáticas complejas, y de comunicaciones entre PLC de diferentes marcas y PC, los que abrieron la posibilidad de fábricas completamente automatizadas y con comunicación a la Gerencia en "tiempo real".

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Aplicaciones generales de los PLC:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Entre las principales ventajas que existen de trabajar con PLC tenemos:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Dentro de las principales funciones que realizan los PLC, se pueden mencionar las siguientes:

- DetECCIÓN: Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- MANDO: Elaborar y enviar las señales al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

- Dialogo hombre máquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- Programación: Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina.
- Redes de comunicación: Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.
- Sistemas de supervisión: También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial, esta comunicación se realiza por medio de una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.
- Control de procesos continuos: Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.
- Entradas- Salidas distribuidas: Los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.
- Buses de campo: Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

## Estructura interna de los PLC

### La CPU

Es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas.

La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador
- Memoria monitor del sistema
- Circuitos auxiliares

### ***Procesador***

Está constituido por el microprocesador, el reloj (generador de onda cuadrada) y algún chip auxiliar. El microprocesador es un circuito integrado (chip), que realiza una gran cantidad de operaciones, que podemos agrupar en:

- Operaciones de tipo lógico.
- Operaciones de tipo aritmético.
- Operaciones de control de la transferencia de la información dentro del autómata.

Para que el microprocesador pueda realizar todas estas operaciones está dotado de unos circuitos internos que son los siguientes:

- Circuitos de la unidad aritmética y lógica o ALU: Es la parte donde se realizan los cálculos y las decisiones lógicas para controlar el autómata.
- Circuitos de la unidad de control (UC) o Decodificador de instrucciones: Decodifica las instrucciones leídas en memoria y se generan las señales de control.

- Acumulador: Es la encargada de almacenar el resultado de la última operación realizada por el ALU.
- Flags: Flags, o indicadores de resultado, que pueden ser consultados por el programa.
- Contador de programa: Encargada de la lectura de las instrucciones de usuario.
- Bus (interno): No son circuitos en sí, sino zonas conductoras en paralelo que transmiten datos, direcciones, instrucciones y señales de control entre las diferentes partes del PLC.

### **Memoria monitor del sistema**

Es una memoria de tipo ROM, y además del sistema operativo del autómatas contiene las siguientes rutinas, incluidas por el fabricante.

- Inicialización tras puesta en tensión o reset.
- Rutinas de test y de respuesta a error de funcionamiento.
- Intercambio de información con unidades exteriores.
- Lectura y escritura en las interfaces de E/S.

### **Fuente de alimentación**

Proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser continua a 24 Vcc, que es una tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 Va, En cualquier caso es la propia CPU, la que alimenta las interfaces conectadas al bus interno.

### **Interfaces**

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un dialogo entre operador-máquina junto con una comunicación entre la máquina y el autómatas, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento. Los autómatas son capaces de manejar tensiones y corrientes de nivel

industrial, gracias a que disponen de un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que les permite conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso.

De entre todos los tipos de interfaces que existen, las interfaces específicas permiten la conexión con elementos muy concretos del proceso de automatización.

## **Entradas y salidas**

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores.

Hay dos tipos de entradas:

- Entradas digitales
- Entradas analógicas

La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas y relés, aquí también existen unos interfaces de adaptación a las salidas de protección de circuitos internos.

Hay dos tipos de salidas:

- Salidas digitales
- Salidas analógicas

## **Entradas digitales**

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0", el proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

- Protección contra sobretensiones
- Filtrado
- Puesta en forma de la onda

- Aislamiento galvánico o por opto acoplador.

### **Entradas analógicas**

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo). Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad. El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria interna

### **Salidas digitales**

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé. En los módulos estáticos los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

### **Salidas analógicas**

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura permitiendo al autómata realiza funciones de regulación y control de procesos continuos.

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

- Aislamiento galvánico
- Conversión D/A
- Circuitos de amplificación y adaptación
- Protección electrónica de la salida

## **Memoria**

La memoria es el almacén donde el autómata guarda todo cuanto necesita para ejecutar la tarea de control, como por ejemplo datos del proceso como lo son señales de planta, entradas y salidas, variables internas (de bit y de palabra), datos alfanuméricos y contantes o datos de control como Instrucciones de usuario (programa) y configuraciones del autómata (modo de funcionamiento, número de e/s conectadas).

Existen varios tipos de memorias:

- RAM. Memoria de lectura y escritura.
- ROM. Memoria de solo lectura, no reprogramable.
- EPROM. Memoria de solo lectura, reprogramables con borrado por ultravioletas.
- EEPROM. Memoria de solo lectura, alterables por medios eléctricos.

La memoria RAM se utiliza principalmente como memoria interna, y únicamente como memoria de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería exterior. La memoria ROM se utiliza para almacenar el programa monitor del sistema como hemos visto en el apartado dedicado a la CPU.

Las memorias EPROM se utilizan para almacenar el programa de usuario, una vez que ha sido convenientemente depurada. Las memorias EEPROM se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez más frecuente el uso de combinaciones RAM + EEPROM, utilizando estas últimas como memorias de seguridad que salvan el contenido de las RAM. Una vez reanudada la alimentación, el contenido de la EEPROM se vuelca sobre la RAM. Las soluciones de este tipo están sustituyendo a las clásicas RAM + batería puesto que presentan muchos menos problemas, en la figura 3.16, se muestra un típico mapa de memoria de un PLC siemens izumi.

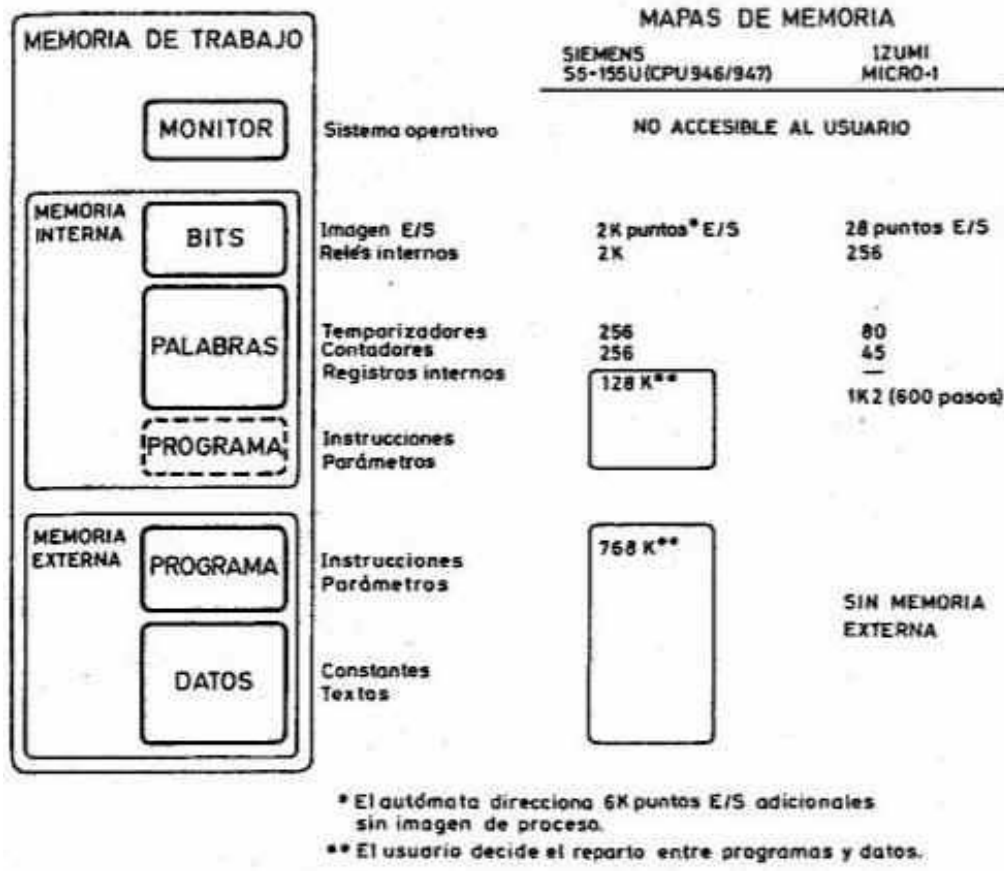


Figura 3.16 Mapa de memoria PLC Siemens Izumi

## Memoria interna

En un autómata programable, la memoria interna es aquella que almacena el estado de las variables que maneja el autómata: entradas, salidas, contadores, relés internos, señales de estado, etc. Esta memoria interna se encuentra dividida en varias áreas, cada una de ellas con un cometido y características distintas.

Las variables contenidas en la memoria interna, pueden ser consultadas y modificadas continuamente por el programa, cualquier número de veces. A continuación se muestra en la figura 3.17, un mapa de memoria típico de ubicación de estas áreas.

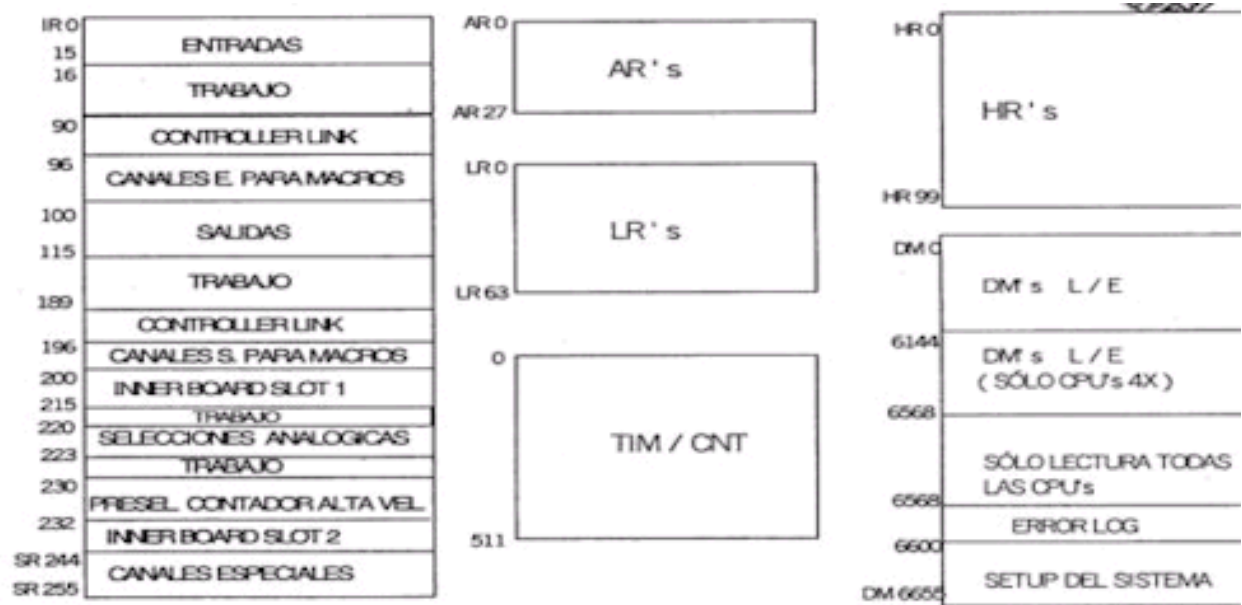


Figura 3.17 Mapa de memoria interna de áreas del PLC Siemens Izumi

## Memoria de programa

La memoria de programa, normalmente externa y enchufable a la CPU mediante casete de memoria, almacena el programa escrito por el usuario para su aplicación. Cada instrucción del usuario ocupa un paso o dirección del programa. Las memorias de programa o memorias de usuario son siempre de tipo permanente RAM + batería o

EPROM/EEPROM.

Por lo general la mayoría de los fabricantes de autómatas ofrecen la posibilidad de utilizar memorias RAM con batería para la fase de desarrollo y depuración de los programas, y de pasar estos a memorias no volátiles EPROM o EEPROM una vez finalizada esta fase. La ejecución del programa en el módulo es siempre prioritaria, de forma que si se da tensión al autómata con un módulo conectado, la CPU ejecuta su programa y no el contenido en memoria RAM interna.

### 3.3.5 Interfaces industriales HMI

En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, como el que se muestra en la figura 3.18, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.



Figura 3.18 Pantalla touch de 12", para interface HMI

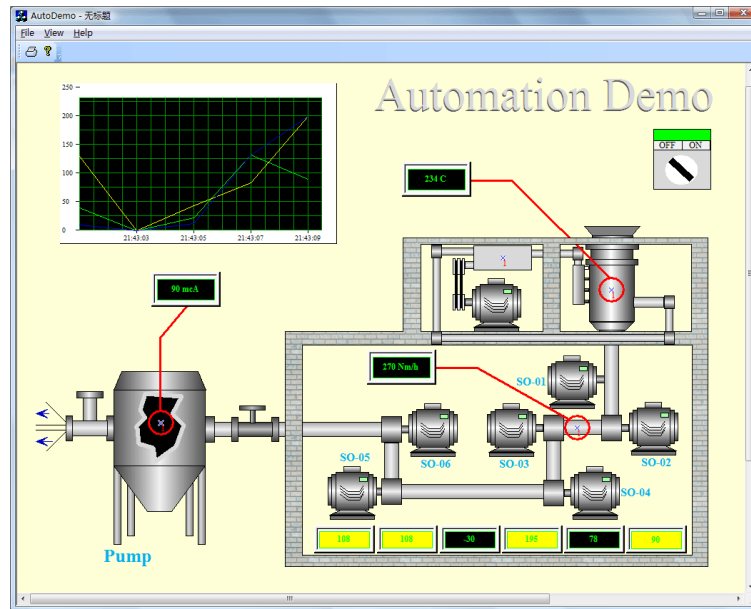
## **Tipos de HMI:**

Terminal de Operador: Que consiste en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos.

Alfanuméricos o gráficos: Que pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen) PC + Software, esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio. Respecto al software a instalar en el PC de modo de cumplir la función de HMI hablamos a continuación.

## **Software HMI:**

Estos software permiten entre otras cosas las funciones de Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, como se muestra en la figura 3.19, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales.



**Figura 3.19** Software SCADA, de interface HMI para la PC

También es normal que dispongan de muchas más herramientas, al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, cual es la tendencia actual.

## **Capítulo 4 . Procedimiento metodológico**

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

El reconocimiento del problema fue en su mayoría producto de las constantes visitas a la planta de mezclado, donde con un breve escaneo, se puede percibir el desperdicio, la contaminación la inconsistencia de las fórmulas con el producto final, entre otros. Además, fue de gran aporte las imágenes, presentaciones y demás material ilustrativo preparado por el departamento de producción e ingeniería de Lean, así como las entrevistas que se realizaron a los operarios y supervisores del área de mezclado y pesado, cuya información fue de gran ayuda.

Las metas y restricciones generales, fueron el resultado del análisis de las deficiencias del sistema actual y de las reuniones con el departamento de mantenimiento, calidad y producción relacionado con el área de mezclado.

### **4.2 Obtención y análisis de la información**

Para lograr el entendimiento del problema, fue vital la constante comunicación con los ingenieros y operarios de los diferentes departamentos involucrados, quienes con su experiencia tanto en Durman como en otras empresas, aportaron valiosos criterios que dieron origen al diseño de la solución, fue también de gran utilidad las fuentes aportadas por la empresa, como manuales técnicos, hojas de datos, tutoriales y demás material ilustrativo y didáctico obtenido de internet.

Como método de análisis de la información obtenida, se consultó a varias empresas dedicadas a la importación de equipos y diseños de automatización, así como las observaciones brindadas por los ingenieros y técnicos encargados del proyecto,

quienes con su experiencia conocen las posibles debilidades que puede presentar un sistema de este tipo. El análisis de los costos y la fiabilidad de los equipos, fueron las restricciones y datos técnicos que influenciaron la escogencia de la solución, para ubicarla dentro de lo posible económicamente y confiable.

### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución**

Fueron varias las alternativas y los diseños propuestos para la solución, las cuales se plantearon de acuerdo a las experiencias de los proveedores con sus equipos, a las búsquedas bibliográficas, consultas en internet y al criterio del ingeniero asesor en la empresa.

La validez de las propuestas fue verificada en lo posible con pruebas de laboratorio, con equipos similares a los propuestos y con las mismas materias primas que deberán manejar en la realidad. La modificación de las mismas, se realizó de acuerdo a los tiempos de operación de cada una y sincronización con los demás equipos ya existentes. El criterio que se utilizó, para discriminar entre las diferentes alternativas fue el de obtener una solución eficiente, confiable y de un costo al alcance de los recursos del proyecto.

### **4.4 Implementación de la solución**

El procedimiento que se siguió para la implementación de la solución, fue en primer lugar, realizar una investigación de las propiedades físicas y químicas de cada uno de los aditivos polvos y líquidos, para luego determinar ciertas características que debían tener los equipos que manejarían estos materiales, por ejemplo el material de construcción, los ángulos de reposo de las tolvas, tipo de tornillo o impulsador entre otros.

En segundo lugar, se hizo un estudio del área donde se ubicarían los posibles equipos, para luego diseñar los planos a escala, con las posibles propuestas de ubicación, tomando en cuenta las zonas de seguridad, el paso de montacargas y la ubicación de dos nuevos mezcladores que se ubicarán en esa misma área.

En tercer lugar se realizó una investigación acerca de los equipos, tecnologías y métodos de automatización presentes en el mercado, así como de las empresas dedicadas a la importación de estos sistemas, para conocer los tipos de técnicas y equipos de control y transporte de materiales más utilizados en la industria.

En cuarto lugar, basados en los pasos anteriores y la opinión de los ingenieros encargados del proyecto, se realizaron los primeros diseños preliminares de los posibles sistemas de automatización para cada área (sólidos y líquidos), con el fin de evaluar los costos y fiabilidad de cada propuesta.

En quinto lugar, se realizaron pruebas en el laboratorio de mantenimiento de Durman, a fin de estudiar los sistemas de control propuestos para cada alternativa, para comparar su precisión y versatilidad con respecto al costo de cada una, a fin de definir una solución realizable y eficiente, para luego realizar la escogencia de los materiales, sensores, electroválvulas, bombas y sistemas de control que serán necesarios para la posterior implementación del sistema, los planos eléctricos de la solución propuesta.

En sexto lugar, se realizó la programación del algoritmo de control en el PLC que funcionará como un integrador de las funciones de cada uno de los dispositivos electromecánicos que componen la solución, además se realizó la programación de la interface de pantalla HMI, a fin de establecer una comunicación amigable entre el autómeta y los operarios, técnicos de mantenimiento y demás personal involucrado con el proceso.

Finalmente como medio de difusión de los resultados, se entregó a la empresa Durman los diseños de la solución, la lista de materiales requerida, la programación del PLC y la pantalla, los planos eléctricos para su posterior implementación y un documento con los resultados de la investigación, acompañado de un manual de funcionamiento que guarda en detalle el procedimiento de la configuración y uso del sistema de control implementado, además de una copia del presente informe y de todos los archivos de programación desarrollados.

## **4.5 Reevaluación y rediseño**

La solución propuesta no ha sido diseñada con el fin de desarrollar un proyecto de final cerrado, si no que más bien que quede abierto a la mejora continua y a los cambios que sean necesarios en su momento.

Por tal razón menciono algunos de los posibles cambios o mejoras que en la reevaluación del proyecto, considero que pueden ayudar a que el sistema sea más funcional y eficiente como la incorporación de un sistema de recolección de datos de las fechas, horas y cantidad de batch producidos, para luego ser transmitidos por medio de una red inalámbrica, a un servidor donde se puedan acceder estos datos y verificar los resultados. Incorporar el control de los mezcladores al control del sistema de dosificación de aditivos menores, para tener todo integrado y controlado por un único sistema con una única pantalla para cada mezclador.

## **Capítulo 5 . Descripción detallada de la solución**

Para dar inicio con la descripción detallada del diseño de la solución propuesta, para resolver el problema presentado en el presente proyecto, resulta de suma importancia desglosarlo en partes, a fin de simplificar el entendimiento de todos los factores que se deben tomar en cuenta en el proceso de diseño de un sistema de automatización industrial.

A continuación se detalla cada uno de los diseños propuestos durante el proceso, los cuales fueron minuciosamente estudiados, sin embargo resultan ser las pruebas en el laboratorio, las características de tiempo de ciclo de dosificación y los costos de implementación, piezas fundamentales en la escogencia del diseño final, que cumple con los objetivos y que satisface las necesidades para las cuales fue desarrollado este proyecto.

### **5.1 Análisis de solución y selección final**

Para resolver el problema expuesto en el capítulo 4 de este documento, la solución general propuesta fue desarrollar un sistema de dosificación de aditivos automático, que sea capaz de realizar la carga de los aditivos desde contenedores a nivel del suelo, hasta otros contenedores ubicados a una altura aproximada de 8m, donde a partir de estos se realizará la dosificación y descarga hacia el mezclador.

El sistema será manejado por un operador desde una interface que se comunica con el PLC que controla la sincronización de los equipos y el funcionamiento total del sistema. A continuación se presentan los diseños y los respectivos análisis presupuestarios que se desarrollaron con el fin de obtener la propuesta que mejor se adapta a las necesidades y los recursos de la empresa.

Para comenzar con el desarrollo de una solución, fue indispensable llevar a cabo una investigación para determinar las propiedades físicas y químicas más relevantes de cada uno de los aditivos, que se deben tomar cuenta en el diseño de un sistema de automatización. A continuación se presenta en la tabla 5.1, el resultado que se obtuvo de esta investigación para los aditivos líquidos.

**Tabla 5.1** Propiedades físicas y químicas de los aditivos líquidos

	<b><i>Thermolite 108 A08</i></b>	<b><i>TM 694 6700</i></b>	<b><i>Akcrostab T-5003 EX4</i></b>
<b>Función</b>	Estabilizador Térmico	Estabilizador	Estabilizador de perfiles
Cantidad máxima a dosificar ( Kg )	8,6	4,7	2,84
Cantidad mínima a dosificar ( Kg )	2,16	1,2	0,98
Consumo por día (Ton)	0,2	0,2	0,1
Incompatibilidad con Compuestos	oxidantes y reductores fuertes	Ácidos	Ácidos fuertes y oxidantes fuertes
Densidad bruta (Kg/m <sup>3</sup> )	1120	1020	1158,5
Corrosivo	No	No	No
Higroscópico	No	No	No
Inflamable a Temp Mayor a ( ° C )	No es explosivo	No es explosivo	No es explosivo
Toxico	Nocivo	Nocivo	Nocivo
Abrasivo	No	No	No
Material Recomendado	Aluminio/ Acero Inoxidable(304)	Aluminio/ Acero Inoxidable	Aluminio/ Acero Inoxidable
Viscosidad (cps)	45	60	65
Peso Neto de presentación (Kg )	226,8	1179,33	238

Con las propiedades obtenidas de la tabla anterior, puede verse que los tres líquidos son viscosos y que las cantidades requeridas no superan los 9 Kg de material, de modo

que sea cual sea el diseño, será necesario utilizar una bomba para elevar pequeñas cantidades de fluido hacia una altura adecuada, para tal efecto y de acuerdo a la bibliografía consultada, se determinó que el tipo de bomba adecuada para esta aplicación es la de engranajes, ya que el impulsor de esta bomba, es construido por dos engranajes metálicos que atrapan los fluidos viscosos entre una muy pequeña abertura que queda entre cada engrane de los dientes de cada piñón y permite elevar la presión de salida a muy altas cantidades, cerca de los 315 bar, en pequeños caudales.

La composición química de estos aditivos, involucra un alto contenido de estaño (Sn) el cual está disuelto en los aditivos estabilizadores como micro partículas en suspensión, y luego de un tiempo de estar la sustancia en reposo, estas partículas comienzan a precipitarse en el fondo del recipiente contenedor, de modo que es necesario estar agitando los contenedores para evitar este efecto físico. Para tal efecto en los dos diseños propuestos, se colocará un agitador impulsado por un motor eléctrico, por cada tanque contenedor de aditivo, estos agitadores deberán tener la propela a una profundidad de poco menos de 1m, ya que estos tanques son tipo IBC, como el de la figura 5.1, con capacidad para 1000 litros.



**Figura 5.1** Tanque tipo IBC

Una vez resuelto el transporte y agitación de los aditivos a nivel del suelo, procedemos a desarrollar los diseños previos para la parte de la carga y dosificación de estos en la boca o domo del mezclador, como se verá a continuación es en esta parte donde se diferencian los dos diseños.

Tanto para el primer diseño como para el segundo, se propone que los fluidos impulsados por las bombas de engranajes, desde los tanques contenedores que estarán ubicados en un rack diseñado especialmente para este fin, sean transportados a través de tuberías de acero inoxidable hasta los respectivos terminales de cada tubería, donde se colocará una electroválvula por cada terminal, esto con el fin de evitar que el contenido virgen que se encuentra dentro de cada tubería, sea contaminado con algún tipo de vapor o posibles partículas suspendidas en el aire.

A la salida de cada electroválvula se colocarán contenedores que cumplan la función de cargadores individuales, que permitan almacenar una cantidad determinada del aditivo, de modo que cuando se realice la descarga de los mismos, sea un flujo controlado y no sujeto a cavitaciones o sobre impulsos generados por los engranajes de las bombas. Estos contenedores menores estarán equipados con dos sensores de nivel que le indiquen al sistema de control cuando estos tienen un nivel bajo de contenido y cuando están lo suficientemente llenos, además tendrán una electroválvula a la salida para descargar el contenido hacia la etapa de dosificación, para la cual se proponen dos métodos, los cuales como se verá a continuación, son los que hacen la diferencia entre el primer diseño y el segundo.

En un primer diseño se propone que la dosificación se realice por peso, de forma que a la salida de los tres contenedores se coloque una pequeña báscula que estará suspendida en celdas de carga, las cuales funcionan como un transductor que transforma una diferencia de presión o deformación de un metal, a una señal eléctrica que será debidamente procesada para luego enviarla al control de peso. En esta báscula se calculará el peso requerido según la fórmula y luego por la apertura de una

electroválvula ubicada en el terminal de salida de esta, se descarga hacia el mezclador la cantidad solicitada.

Dado un previo estudio de las fórmulas, las cuales no es posible revelar en este documento debido a que es información confidencial propiedad de Durman, se logró determinar que en ninguna de las fórmulas de los diferentes compuestos, se utiliza más de un aditivo líquido a la vez, además por consultas realizadas al Ingeniero Químico de Durman y debido a que la densidad de los tres aditivos es muy similar, se decidió que no habrá problema de contaminación o pérdida de las propiedades de las sustancias, si los tres aditivos comparten la báscula. En la figura 5.2, se presenta un plano mecánico de este primer diseño propuesto.

Una vez integrado todo este sistema electromecánico, se propone la utilización de un PLC, para que además de permitir al operario entre otras funciones, escoger y cargar la fórmula o el tipo de compuesto que se desea producir, controle el arranque y paro de las bombas, la activación y desactivación de los motores de los agitadores, la apertura y cierre de las electroválvulas y principalmente, el manejo del sistema de control de peso seleccionado.

En el segundo diseño propuesto, se utilizará el mismo sistema de transporte y carga de aditivos que se propuso para el primero, con la diferencia de que a la salida de los tres contenedores o cargadores, no se utilizará una báscula, ya que en este diseño la dosificación no es por peso si no que será por volumen, para lo cual se utilizará entonces un medidor de caudal en el terminal de descarga de cada cargador, lo cual se consideró como funcional, ya que al analizar el comportamiento de los líquidos en los cargadores, se puede decir que mientras que estos no se encuentren del todo vacíos, no habrán sobre impulsos de presión provocados por las bombas, que altere significativamente el caudal de salida, de modo que se tendrá un flujo de salida controlado y constante, lo cual representa el escenario ideal para colocar un medidor de flujo.

El medidor de flujo que se debe utilizar para esta aplicación debe ser lo suficientemente preciso como para no fallar en más de un 3% de la cantidad adicionada, y debe poder enviar una señal eléctrica analógica o digital, que represente la cantidad de litros o mililitros por segundo que atraviesan el canal del medidor, de tal modo que el sistema de control, en este caso el PLC, pueda interpretar esta señal y utilizarla como alarma para la activación y cierre de las electroválvulas de descarga de cada cargador.

Dado que son tres aditivos diferentes, se debe utilizar un medidor por aditivo, esto en el fin de que se puedan dosificar uno o los tres aditivos al mismo tiempo, evitar la contaminación de los mismos y descartar las alteraciones en las medidas por compartir tuberías. En la figura 5.3, se presenta un plano mecánico de este segundo diseño propuesto.

## Propuesta Líquidos # 1

Aditivo Líquido 1  
Aditivo Líquido 2  
Aditivo Líquido 3  
Válvulas de descarga  
Celda de carga  
Bombas de engranajes  
Agitador  
Tanquetas

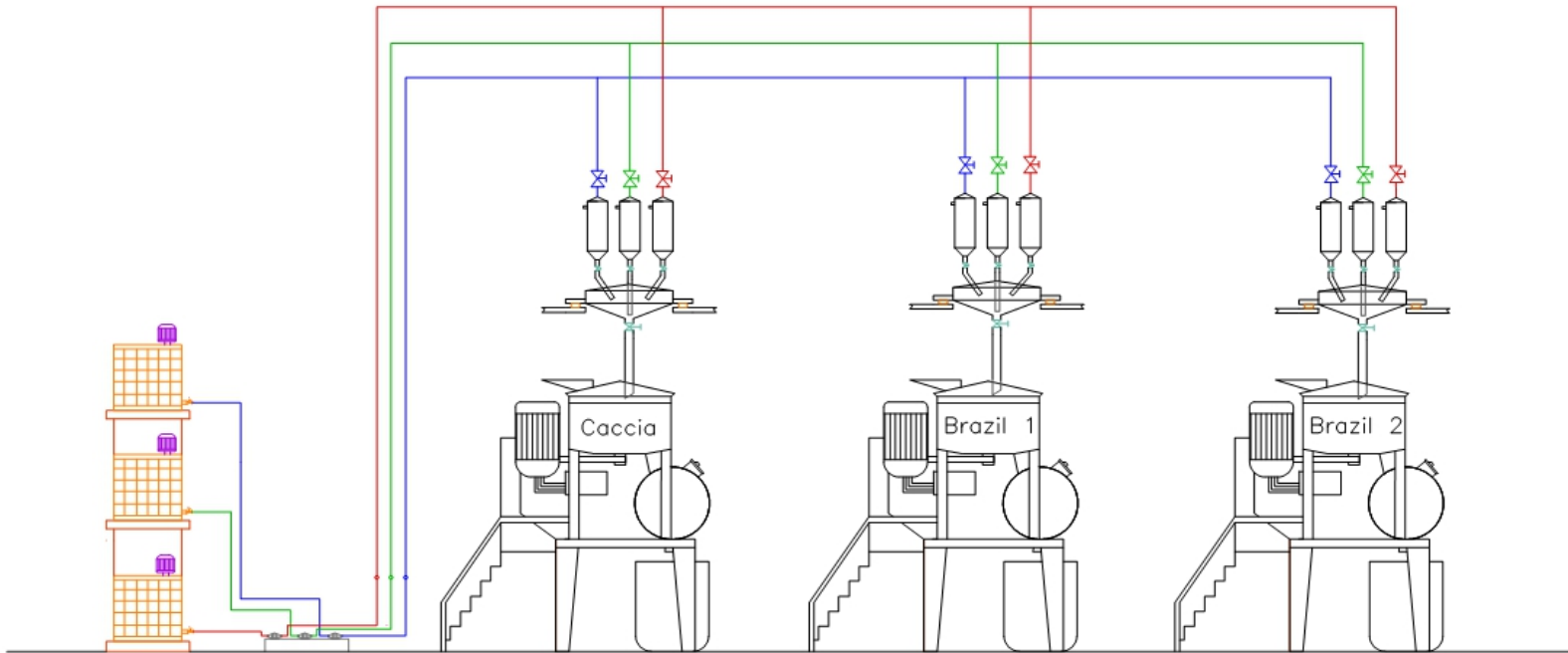
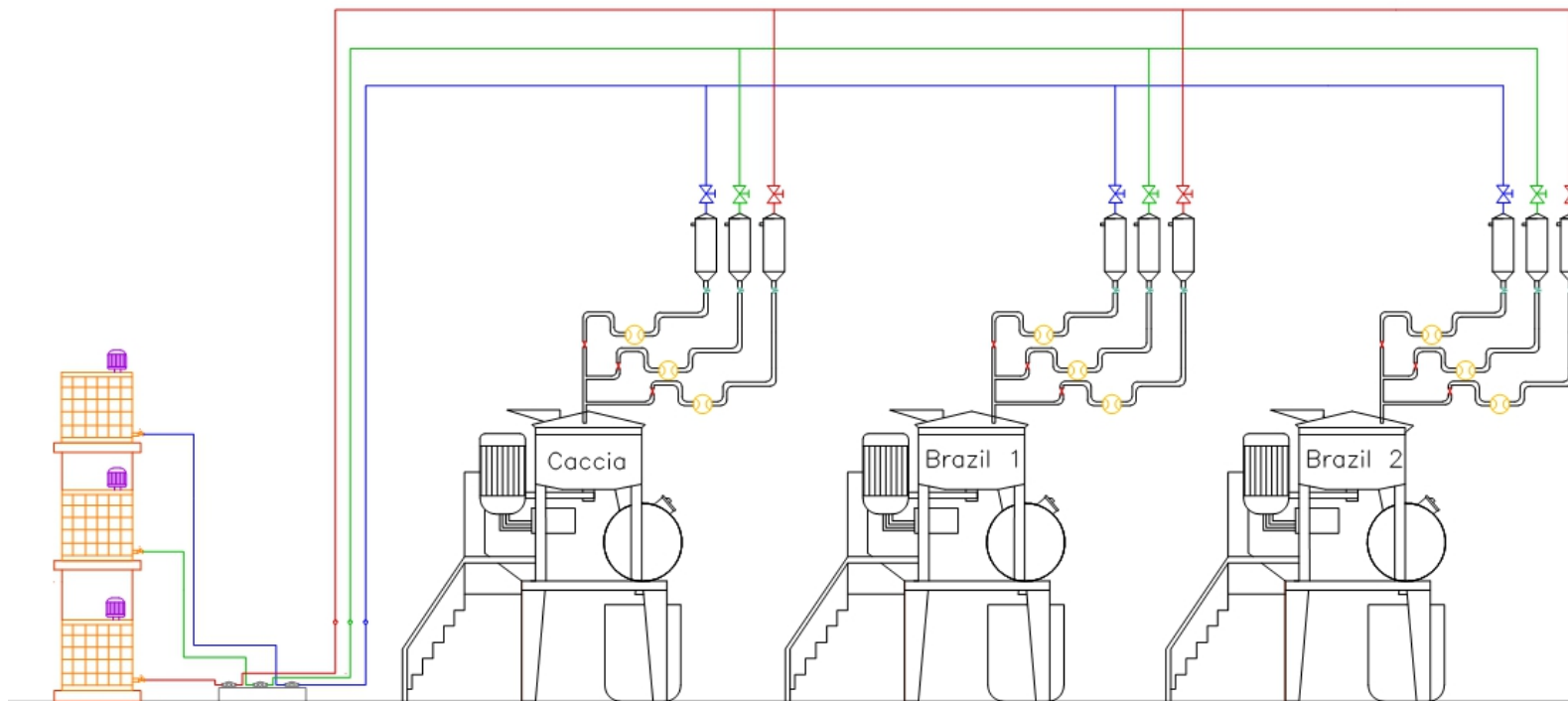


Figura 5.2 Primer diseño de automatización para aditivos líquidos

## Propuesta Líquidos # 2

Aditivo Líquido 1  
Aditivo Líquido 2  
Aditivo Líquido 3  
Válvulas de descarga  
Medidor de caudal  
Bombas de engranajes  
Agitador  
Tanquetas



**Figura 5.3** Segundo diseño de automatización para aditivos líquidos

Para hacer una evaluación de las dos propuestas, se desarrolló la tabla 5.2, donde se muestran las ventajas y desventajas de cada diseño, tomando en cuenta los costos económicos de la parte de dosificación de cada diseño que se muestran en la tabla 5.3.

**Tabla 5.2** Ventajas y desventajas de funcionamiento de los diseños propuestos

<b>Diseño 1: <i>Dosificación por peso</i></b>	<b>Diseño 2: <i>Dosificación por volumen</i></b>
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede utilizar con cualquier otro tipo de sustancia que tenga propiedades diferentes</li> <li>• Las celdas de carga son dispositivos robustos, diseñados para trabajar en ambientes industriales pesados</li> <li>• Se puede utilizar para trabajar con sólidos en suspensión.</li> <li>• No hay incertidumbre en la medición por cavitaciones o acumulaciones de aire en las tuberías.</li> <li>• Sistema abierto para agregar más componentes al sistema sin necesidad de comprar algún dispositivo costoso.</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La instalación requiere menos espacio y cableado.</li> <li>• No requiere de un sistema de extra de interpretación o acondicionamiento de señales</li> <li>• No quedan residuos de material después de la descarga de la tubería</li> <li>• No hay alteraciones en la medición por fricciones o influencias mecánicas como vibraciones.</li> </ul>
<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere más espacio en la instalación</li> <li>• Se necesita un sistema de acondicionamiento de la señal para las celdas de carga.</li> <li>• Es más susceptible a perturbaciones mecánicas.</li> <li>• Se debe calibrar la tara periódicamente</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se puede utilizar para cualquier otro tipo de fluido, con características muy diferentes.</li> <li>• Es más sensible a campos electromagnéticos y a condiciones fuertes de trabajo.</li> <li>• La medición puede verse afectada por la presencia de aire en las tuberías</li> <li>• Si se quiere ampliar el sistema se debe adquirir un medidor por material.</li> </ul>

**Tabla 5.3** Análisis presupuestario para la parte de dosificación de los diseños propuestos

<b>Diseño 1: Dosificación por peso</b>		<b>Diseño 2: Dosificación por volumen</b>	
<i>Descripción</i>	<i>Precio \$</i>	<i>Descripción</i>	<i>Precio \$</i>
• 2 Celdas de carga	<b>700</b>	• 3 medidores de flujo	<b>5811</b>
• 1 Báscula de acero	<b>230</b>	• 6 Electroválvulas	<b>2088</b>
inoxidable	<b>1392</b>		
• 4 Electroválvulas	<b>1000</b>		
• 1 Tarjeta Sumadora y acondicionador de señal para las celdas.			
TOTAL/Mezclador:	<b>\$3322</b>	TOTAL/Mezclador:	<b>\$7899</b>

Con la información obtenida en las tablas anteriores, y con los criterios aportados por el Ingeniero a cargo del proyecto y demás personal de Durman involucrado, fue posible descartar el segundo diseño de automatización propuesto y adoptar el primero como la mejor opción, una opción que se adapta a las necesidades mínimas del proceso en cuestión y que aprovecha de manera razonable los recursos de la empresa.

Como se puede ver en la tabla 5.2, en las desventajas de la primera opción siempre y cuando se realice la estructura adecuada para instalar el sistema, el hecho de que se necesite un equipo extra no es tan crítico, ya que si se analizan los resultados de la tabla 5.3, el costo por mezclador para la propuesta 2 es aproximadamente 2,33 veces mayor que el de la propuesta 1.

Otro punto importante de decisión, fue la ampliación a futuro del sistema, ya que con la segunda opción, si se desea agregar un componente más, se debe comprar otro medidor de caudal, cuyo costo unitario es de aproximadamente \$1937, a diferencia de la propuesta 1, donde si se desea agregar otro componente, además del sistema de

transporte y carga no se debe comprar ningún componente costoso, solo modificar la programación del sistema de control.

Una vez definido el diseño de automatización a desarrollar, resulta de gran importancia decidir acerca del sistema de control de peso que se debe utilizar y cuáles son los requerimientos del mismo. Para tal efecto, se obtienen dos posibles propuestas para este sistema, la primera propuesta resulta de las recomendaciones y criterios expuestos por el Ingeniero coordinador del departamento de mantenimiento y los técnicos en mantenimiento encargados del departamento de mezclado, ya que actualmente en Durman, existen varios procesos donde es necesario, pesar materias primas y compuestos con gran precisión, para tales aplicaciones la empresa ha confiado por varios años en sistemas de control de peso de la marca Laumas, la cual es una casa de origen Alemán, que se dedica a la fabricación de una amplia gama de dispositivos para trabajar con mediciones de peso.

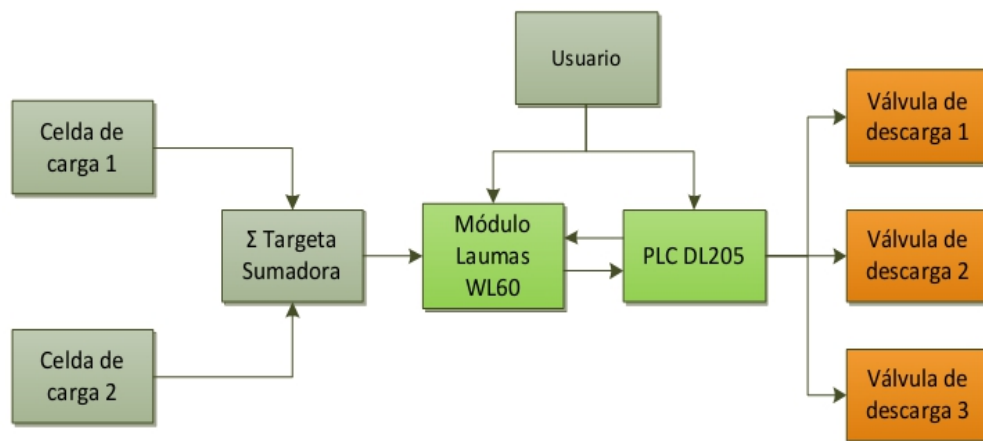
El sistema de control de peso recomendado es el módulo WL60 14 Productos, como el que se muestra en la figura 5.4, el cual entre sus principales características se puede mencionar que consta de 50 fórmulas programables de 14 productos cada una, 1 salida de relé para alarma, 1 salida de relé para paso lento y 4 salidas de relé con capacidad de 110V 2A, que indican en código BCD el producto que se está dosificado, tolerancia ajustable por fórmula, inicio, paro y selección de fórmula a través de contactos externos.



**Figura 5.4** Modulo de Control de Peso Laumas WL 60

Para integrar este sistema de control de peso propuesto, con el controlador lógico programable, como se propone en la figura 5.5, debe utilizar una tarjeta sumadora para las señales provenientes de las celdas de carga, esta tarjeta se encarga de tomar las señales provenientes de dos o más celdas de carga, obtener un promedio y enviarlo por una única señal de salida, las tarjetas sumadoras comunes no realizan ningún procesamiento o acondicionamiento de las señales, de modo que la señal de salida que se obtiene de esta tarjeta es del orden de los mV.

Esta pequeña señal es recibida por el puerto MC del Laumas WL60, el cual se encarga de traducir esta señal eléctrica en un rango de 10 a 30mV, en peso. Posteriormente se selecciona la fórmula que desea producir para dar inicio al proceso de dosificación mediante la activación de los relés del puerto MB, los cuales indican en código BCD al PLC cual producto se debe dosificar para que este active las válvulas de carga o descarga correspondientes. También el PLC puede seleccionar la fórmula, iniciar o detener el proceso a través de los contactos externos del puerto MC, sin necesidad de una persona que esté pendiente de la secuencia de dosificación.



**Figura 5.5** Diagrama de bloques de la integración del sistema de control de peso 1 y el PLC

La segunda propuesta se obtuvo como resultado de una investigación más a fondo, acerca de los dispositivos indicadores y transmisores de peso que ofrece el mercado,

donde se pudo determinar una serie de tarjetas de la marca Laumas, diseñadas para acondicionar la baja señal proveniente de las celdas de carga de modo que pueda ser interpretada directamente por un PLC. Estos dispositivos tienen la capacidad de recibir señales de 4 celdas de carga de forma paralela y procesar dichas señales para obtener una única señal de tensión o de corriente, esta señal de salida se puede seleccionar mediante un interruptor, en los rangos de 0-10V, 0-5V,  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ , 0-20mA y 4-20mA, las cuales son salidas analógicas proporcionales a la presión que experimentan las celdas de carga.

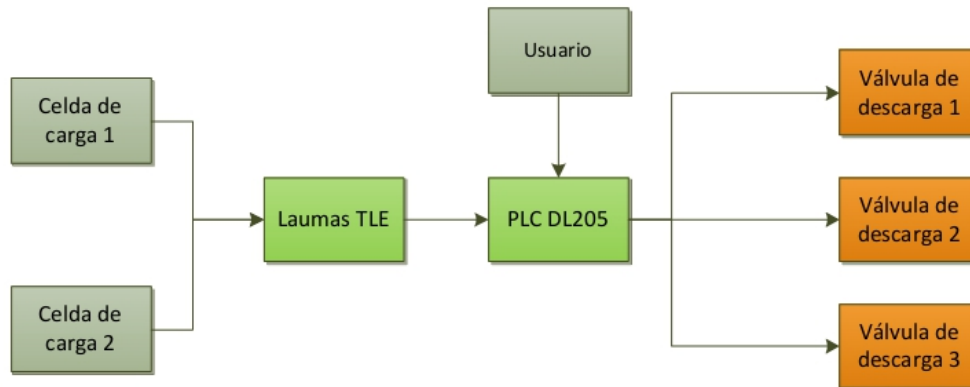
Esta señal resulta ideal para ser procesada por un módulo de entradas analógicas del PLC, de modo que este segundo diseño consiste en eliminar la tarjeta sumadora del diseño anterior y sustituir el WL60 por la tarjeta transmisora de peso TLE, también de la marca Laumas como la que se muestra en la figura 5.6, que cuenta con todas las características anteriores y tiene protección IP67.



**Figura 5.6** Tarjeta transmisora de peso Laumas TLE

Para desarrollar la integración de este dispositivo con el sistema de control se realizará como se muestra en la figura 5.7, de forma que se conectan las celdas de carga de forma directa a la tarjeta TLE y la señal de salida de esta, será recibida por el módulo de entradas analógicas del PLC, para posteriormente realizar las comparaciones, calibraciones y control de peso de dosificación, a través de la programación de rutinas de software en el PLC.

Tanto la primera como la segunda propuesta de sistemas de control de peso, son determinadas a fin de resolver el problema para un mezclador, de modo que si se tiene un diseño de automatización para tres mezcladores, se requieren tres sistemas de control de peso, uno para cada mezclador.



**Figura 5.7** Diagrama de bloques de la integración del sistema de control de peso 2 y el PLC

Para la empresa, resulta indispensable obtener un diseño que le asegure la precisión requerida en cada medición de peso y que se pueda desarrollar con la menor cantidad de recursos económicos posibles, dado que aún queda por desarrollar la automatización de los materiales en polvo.

Como método de evaluación para las propuestas anteriores, se desarrolló un análisis presupuestario el cual se muestra en la tabla 5.4, donde se evaluó el costo unitario y total de cada sistema, además se desarrolló la tabla 5.5, donde se resumen las ventajas y desventajas de cada propuesta.

**Tabla 5.4** Análisis presupuestario para los dos sistemas de control de peso propuestos

<b>Propuesta 1: Laumas WL60</b>		<b>Propuesta 2: Laumas TLE</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Precio \$</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio \$</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Módulo Laumas WL60, 50 fórmulas 14 productos</li> <li>• Tarjeta sumadora para celdas de carga</li> <li>• 1 Módulo de entradas digitales D2-16ND3-2 para PLC Koyo DL205</li> </ul>	1200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Tarjeta Laumas TLE transmisor de peso</li> <li>• 1 Accesorio de protección IP67</li> <li>• 1 Módulo de entradas analógicas F2-04AD-2</li> </ul>	225
	100		90
	100		230
<b>TOTAL/Mezclador:</b>	<b>\$1400</b>	TOTAL/Mezclador:	<b>\$545</b>
<b>TOTAL 3 Mezcladores:</b>	<b>\$4200</b>	TOTAL 3 Mezcladores:	<b>\$1635</b>

**Tabla 5.5** Ventajas y desventajas de los dos sistemas de control de peso propuestos

Diseño 1: <i>Módulo Laumas WL60</i>	Diseño 2: <i>Tarjeta Laumas TL</i>
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema robusto diseñado para ambientes de trabajo industrial pesado.</li> <li>• Parámetros de configuración y calibración comprobados y establecidos de fábrica.</li> <li>• Visualizador de peso y comandos propio.</li> <li>• Precisión alcanzada para la aplicación de 0.001Kg.</li> <li>• Fácil integración con el PLC.</li> <li>• Sistema propio de base de datos para la programación de las fórmulas de cada compuesto.</li> <li>• Operación del dispositivo desde teclado y display propio o desde contacto externo para el PLC.</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La instalación requiere menos espacio y cableado.</li> <li>• No requiere de un sistema de extra para trabajar con más de una celda de carga</li> <li>• No necesita mantenimientos periódicos</li> <li>• Permite escoger el rango de tensión o corriente que mejor se adapte a las celdas y al módulo del PLC</li> <li>• Bajo consumo de potencia.</li> </ul>
<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunes daños en los relés de salida, por lo que deben ser sustituidos con periodicidad.</li> <li>• Se necesita una tarjeta sumadora para poder adaptarle más de una celda de carga.</li> <li>• Requiere mayor espacio para su instalación.</li> <li>• Se debe realizar un exhaustivo estudio del manual técnico del dispositivo para programarlo de forma correcta.</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de una elaborada programación del PLC, para que pueda interpretar los datos recibidos como peso.</li> <li>• No dispone de interface propia de calibración o programación.</li> <li>• La calibración y precisión depende en gran medida del módulo de entradas analógicas del PLC.</li> <li>• Máxima precisión obtenida 0.01Kg.</li> </ul>

A raíz de estos análisis elaborados, se llegó a la conclusión de que la mejor opción para el sistema de control de peso, resultó ser la propuesta 2, evaluando los resultados de la tabla 5.4, donde se puede ver como el costo del sistema con la tarjeta TLE es

aproximadamente 2,5 veces menor que el costo de la propuesta 1 y tomando en cuenta que el sistema seleccionado será el mismo que se instalará en los dos mezcladores nuevos, entonces el costo total sería también 2,5 veces menor de lo que costaría el sistema de la primera propuesta, de modo que el factor económico resultó ser realmente atractivo.

Por otra parte, el hecho de no tener la necesidad de detener la producción por fallas del dispositivo de control, como ha ocurrido en Durman en varias ocasiones por fallas en los relés de salida de estos dispositivos, resultó ser otro factor de gran interés, además la precisión que ofrece este dispositivo resulta ser suficiente para la aplicación, ya que según están establecidas las cantidades de aditivos en las formulaciones, no se requiere de más de dos cifras significativas para establecer la medición del peso requerido.

## **5.2 Descripción del Hardware**

Como se ha mencionado anteriormente, la solución al proyecto se resume en el desarrollo de un diseño para la automatización del proceso de dosificación de aditivos menores, esta sección se centra en presentar los equipos que conforman la lista de materiales determinada para tal fin. A continuación se muestran las principales funciones y características de cada uno de los dispositivos que la conforman.

### ***Electroválvula de solenoide:***

Las electroválvulas como la que se muestra en la figura 5.8, juegan un papel fundamental en la dosificación de los aditivos, ya que estos dispositivos son NC (Normalmente Cerrado), lo que permite que mientras que la diferencia de tensión entre los terminales del solenoide del actuador eléctrico sea igual a cero o menor a 120VAC la válvula se mantiene cerrada, pero si la tensión entre los terminales del solenoide es mayor o igual a 120VAC el actuador electromagnético hace girar el sello mecánico, permitiendo el paso del fluido. Lo que en el diseño de la automatización en cuestión, permite que cuando el PLC envía una señal de 120V a la electroválvula, esta comenzará a cargar o descargar el contenedor al cual está sujeta.

Este elemento electromecánico ha sido construido en acero inoxidable 316, lo que lo hace resistente a la corrosión y especial para trabajar con agua, aire, aceite y gases inertes.



**Figura 5.8** Válvula de paso con actuador eléctrico

***Bomba de desplazamiento positivo de engranajes:***

La bomba de engranajes como la que se muestra en la figura 5.9, forma parte fundamental del sistema de carga de los aditivos, ya que esta permite elevar el fluido que se encuentra estático en los contenedores de 1179Kg, ubicados a nivel del suelo, hasta aproximadamente 7,5m de altura, donde se ubican los cargadores que alimentan la báscula.



**Figura 5.9** Bomba de engranajes impulsada por motor eléctrico

El impulsor mecánico de esta bomba es acelerado por un motor eléctrico monofásico de 1Hp, conectado a 230V y 60Hz, el cual le permite descargar a una presión de 125 psi, lo que produce un rendimiento de 7 GPM, cantidad que asegura una carga rápida de los

cargadores. También cuenta con válvula de alivio, lo que representa un elemento de seguridad de gran valor para el sistema de transporte del fluido.

***Agitador impulsado por motor eléctrico:***

Los aditivos utilizados en la producción del PVC, tienen un alto contenido de micro partículas de estaño, las cuales al experimentar tienden a formar un precipitado en el fondo del contenedor debido a la falta de agitación del fluido. Por esta razón se debió contemplar la instalación de un agitador como el de la figura 5.10, en cada contenedor, el cual consta de una propela construida en acero inoxidable 316, la cual es impulsada por un motor eléctrico monofásico de ½ HP. Entre el motor eléctrico y la propela, se pone un eje también construido en acero inoxidable de una longitud de 32 pulgadas, ideal para trabajar con tanques tipo IBC.



**Figura 5.10** Agitador con motor eléctrico para tanque IBC

***Contactador para arranque de motores eléctricos:***

Para arrancar los motores eléctricos de las bombas y los agitadores con una señal de baja tensión como una salida de 24V, proveniente del sistema de control, se debe colocar un dispositivo que logre aislar la parte digital o de control de la etapa de potencia, para tal fin se utilizarán contactores como el de la figura 5.11, el cual puede activar los contactos de alta potencia con una señal de control de +24V, la cual para

este diseño será la salida del módulo de relé del PLC, el cual aunque es capaz de soportar corrientes de 1.5 A no es suficiente para arrancar un motor que consume entre 6 y 13 A. Los contactos de potencia de este contactor tienen una capacidad de 6.6 a 16A, lo que le permite manejar los motores del sistema con seguridad.



**Figura 5.11** Contactor para motor eléctrico con señal de control de 24V

### ***Celda de carga:***

Un dispositivo que resulta ser parte fundamental en la automatización de sistemas donde el peso es una variable de interés, la celda de carga como la de la figura 5.12, es el sensor de peso por excelencia, el cual utilizamos en este diseño ya que su construcción en acero inoxidable la hace un elemento robusto e ideal para trabajar en ambientes de trabajo industrial pesado.



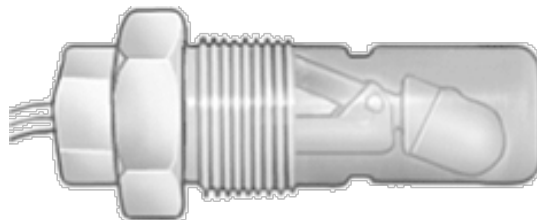
**Figura 5.12** Celda de carga Bending Beam, para 50Kg de peso máximo

Trabaja con una tensión de alimentación máxima de 15V, una sensibilidad de 2mV/V, su pérdida de sensibilidad por efecto de la temperatura es de 0.002% /C°, tiene una resistencia de entrada de 400Ω y una resistencia de salida de 350 Ω. Puede trabajar con pesos desde los 3 hasta 50Kg, lo cual resulta ideal para esta aplicación donde los pesos totales de las formulaciones no superan los 15Kg, en el caso que se utilizaran los tres aditivos para un mismo batch.

### ***Sensores de nivel:***

Cumple un papel fundamental en la etapa de alimentación y control de nivel de los cargadores, ya que con su activación en el nivel inferior del cargador le permite al sistema de control detectar un nivel bajo de contenido y activa el arranque de la bomba correspondiente y con la activación de otro sensor ubicado en la parte superior del cargador, permite al control detectar que la carga es suficiente y se debe detener al bomba.

El sensor utilizado para esta aplicación es el que se muestra en la figura 5.13, trabaja con una tensión de 120V y consiste de un simple switch que cambia su posición según el movimiento de un flotador mecánico, a pesar de la existencia de sensores más elaborados y precisos en el mercado, se decidió utilizar este sensor por su simple instalación y costo, ya que al analizar los precios de estos dispositivos en el mercado, se logra determinar que de utilizar sensores más costosos, aumenta el porcentaje de inversión en más del triple de lo que representa el costo de los sensores simples.



**Figura 5.13** Sensor de nivel simple

### **Tarjeta TLE (Transmisor de peso):**

Dado el estudio realizado se tomó la decisión de utilizar el dispositivo TLE como el de la figura 5.14, el cual ha sido diseñado por la compañía Laumas para trabajar con PLC, este dispositivo permite la integración de más de 4 celdas de carga sin necesidad de utilizar una caja sumadora, además permite seleccionar el rango de tensión o corriente a través del cual se enviará la señal de las celdas de carga hacia el PLC, puede comunicarse con otros dispositivos por protocolo ModBus R.T.U, a través del puerto serial RS485 o con una computadora por serial RS232.

Las salidas analógicas seleccionables trabajan con un tiempo de actualización de 3ms, además es posible seleccionar el baud rate entre 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 y 115200.



**Figura 5.14** Tarjeta transmisora de peso de la marca LAUMAS

### **Controlador Lógico Programable Koyo DL205:**

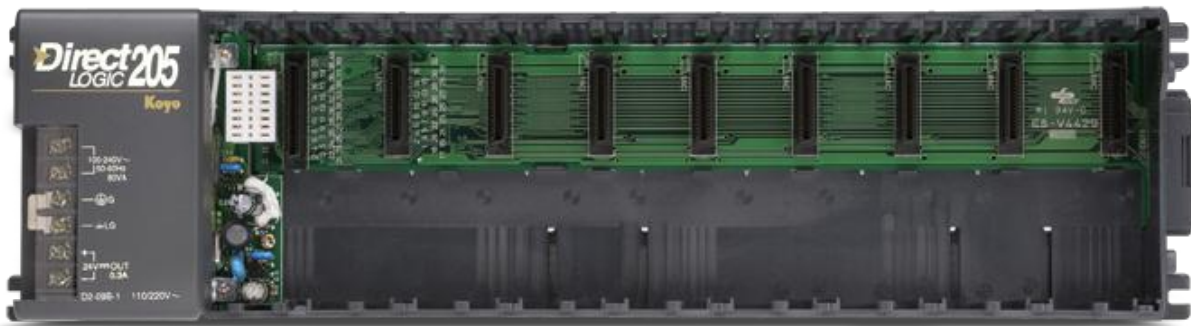
Sin duda alguna el PLC representa una pieza indispensable en el desarrollo de toda automatización y en esta aplicación no es la excepción, ya que este dispositivo debe manejar 32 señales discretas de entrada, 27 salidas de relé de 24VDC y 120VAC y más

de 51 registros de memoria de 32bits que pueden ser modificados por el usuario. El PLC utilizado para este proyecto es de la marca Koyo de la serie DL205, el cual representa una opción económica y muy poderosa para realizar una automatización, los PLC de esta serie tienen la ventaja de que son modulares, lo que permite adquirir e instalar solo los módulos que se van a utilizar y la base y el módulo del CPU también se pueden adquirir acorde a la necesidad.

Para el desarrollo de este proyecto requirieron 8 módulos funcionales y una base de DL205, a continuación se detalla la descripción de cada uno de ellos y las funciones que desempeñan en el sistema diseñado.

#### ***Base para DL205 series, D2-09B-1:***

Esta base tiene capacidad de 9 slots, como se muestra en la figura 5.15, los cuales pueden ser utilizados para conectar 8 módulos funcionales y 1 módulo de CPU, su tensión de alimentación es de 120-240 VAC, a partir de la cual proporciona la alimentación a todos los módulos y a la fuente auxiliar de 24V y 300mA que puede ser utilizada para pruebas o aplicaciones sencillas.



**Figura 5.15** Base modular D2-09B-1, PLC Koyo DL205

#### ***Módulo de CPU DL250-1:***

Es la unidad de procesamiento del PLC, todas las operaciones, entradas, salidas, eventos y comunicaciones son administradas por esta unidad central, para esta aplicación se utilizó el DL250, como el que se muestra en la figura 5.16, el cual está

basado en un microprocesador de instrucciones tipo RISC que le permite manejar más de 4 secuencias para controladores PID, su memoria interna tiene una capacidad de 14.8K distribuida en 7.6K de memoria para la programación en escalera y 7.2K de memoria para registros.



**Figura 5.16** Módulo de CPU DL250-1 para PLC Koyo 205

***Módulo de entradas digitales D2-16ND3-2:***

Este módulo el cual se muestra en la figura 5.17, fue utilizado para recibir 13 entradas discretas de 24V, correspondientes a las señales de sincronización del modo automático, provenientes de los controles de los mezcladores y los controles auxiliares de paro y reset. Este módulo puede manejar 16 entradas discretas de 20 a 28VDC, con capacidad para 8mA, divididas en dos grupos de 8 terminales con un común por grupo.



**Figura 5.17** Módulo D2-16ND3-2 para PLC Koyo 205

### ***Módulo de entradas analógicas F2-04AD-2:***

Forma parte fundamental en el sistema de control de peso, ya que fue utilizado para recibir las señales analógicas de la tarjeta Laumas TLE, para luego ser procesadas por el CPU del PLC.

Como se muestra en la figura 5.18, este módulo tiene 4 canales para entradas analógicas en los rangos ajustables de 0-5,-5+5, 0-10 y -10 +10VDC, alimentados por una tensión en el rango de 18-30VDC/ 80mA.



**Figura 5.18** Módulo F2-04AD-1 para PLC Koyo 205

### ***Módulo de entradas de CA D2-16NA:***

Estos módulos fueron de gran importancia en el sistema de carga y transporte de los aditivos, ya que este se encarga de recibir las 19 señales de activación de los dos sensores de nivel de cada cargador, lo que le permite al controlador conocer si el nivel en un cargador es bajo o suficiente, para de este modo activar o desactivar las bombas. Este módulo como el de la figura 5.19, tiene capacidad para recibir 16 entradas de 80-132VAC a 50-60Hz, divididas en dos grupos de 8 entradas y un terminal común por grupo.



**Figura 5.19** Módulo D2-16NA para PLC Koyo 205

***Módulo de salidas de relé D2-12TR:***

Estos módulos fueron indispensables en la activación de los contactores para el arranque de los 6 motores eléctricos, la activación de las 18 electroválvulas que cargan y descargan los cargadores de los aditivos y las 6 electroválvulas que descargan el contenido de las básculas a los mezcladores.

Los módulos de salidas de relés utilizados, como el que se muestra en la figura 5.20, tiene 12 relés divididos en dos grupos de 6 relé y un terminal común por grupo, cada contacto tiene una capacidad en corriente alterna de 5-240VAC a 1.5A y en corriente directa de 5-30VDC a 1.5A.



**Figura 5.20** Módulo D2-12TR para PLC Koyo 205

### ***Fuente de alimentación de 24V Cliq:***

La fuente de DC utilizada para esta aplicación es de la marca Delta de la serie Cliq, como la que se muestra en la figura 5.21, esta fuente se encarga de recibir una acometida de 125VAC de una red monofásica y transformarla a una tensión de +24 VDC con una capacidad de 5A, con el fin de alimentar dispositivos como la tarjeta TLE, la interface HMI y algunos módulos del PLC.



**Figura 5.21** Fuente de alimentación Delta de 24VDC/ 5A

### ***Interface HMI touch panel:***

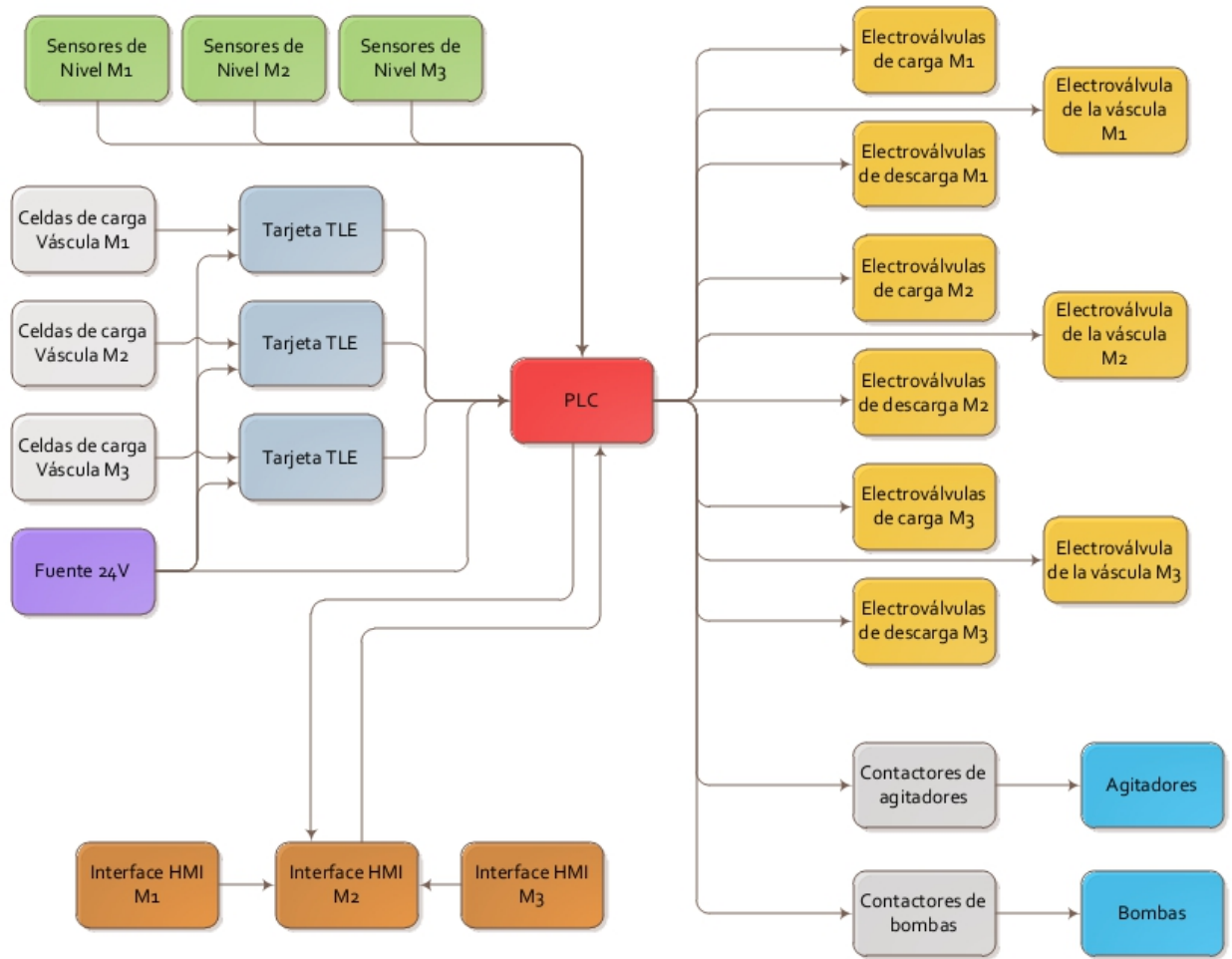
La interface HMI utilizada en esta aplicación fue la pantalla táctil EA7-T8C, la cual se muestra en la figura 5.22, esta pantalla de 8 pulgadas a color se puede comunicar con el PLC a través de puerto USB o Ethernet. Cuenta además con interface de sonido, salida auxiliar para alto parlante, memoria propia de almacenamiento y conexión para pantallas auxiliares.

La interface HMI cumple la función de ofrecer al usuario una forma fácil de interactuar con el sistema, esta le permite entre otras funciones escoger el tipo de compuesto a mezclar, los tiempos de agitación de los aditivos, la tolerancia y parámetros de calibración y mantenimiento del sistema.



**Figura 5.22** Pantalla EA7-T8C

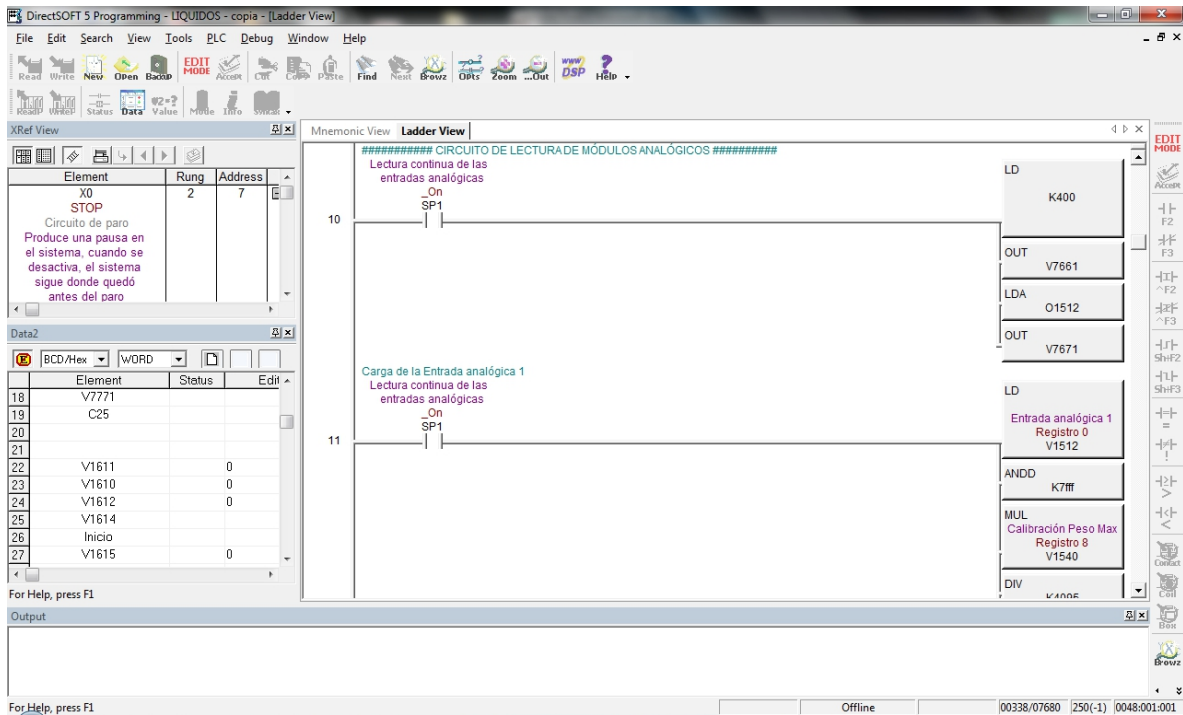
Una vez que se han descrito los equipos y dispositivos que forman la mayor parte de la lista de materiales del diseño propuesto, se procede a continuación con el diagrama de la figura 5.23, donde se muestra a manera de bloques, la integración de los equipos y el controlador programable para los tres mezcladores M1, M2 y M3.



**Figura 5.23** Diagrama de bloques de los equipos del sistema de automatización propuesto

### 5.3 Descripción del Software

Para coordinar las acciones de cada uno de los dispositivos vistos anteriormente, de modo que se formen subsistemas con diferentes funciones, se desarrolló la programación para el PLC utilizando la herramienta de programación Direct Soft versión 5, la cual se muestra en la figura 5.24 obtenida a través de la empresa Automation Direct, la cual es un distribuidor oficial de Koyo.



**Figura 5.24** Ambiente de trabajo de Direct Soft 5

Para desarrollar el software del controlador lógico, se utilizó el lenguaje de programación de alto nivel Ladder el cual además de ser propio de los PLC, es un lenguaje diseñado para desarrollar tareas en menor tiempo y con pocas líneas de código, además ha resultado ser un sistema muy estable en las tareas de secuencias industriales. Para dar inicio con la programación, se desarrollaron los diagramas de flujo de las principales subrutinas del sistema, cada una con tareas y funciones distintas con el fin de crear un programa estable y de fácil modificación o detección de errores.

A continuación se muestra en la figura 5.25, un diagrama donde se muestra la estructura general del programa de control y las subrutinas creadas, donde puede verse en color azul las rutinas que se ejecutan de forma paralela con cada escaneo del CPU y en color amarillo las rutinas que se ejecutan también en paralelo con las demás pero que están basadas en un sistema de ejecución secuencial donde cada subrutina depende del estado de un contador para ejecutarse.

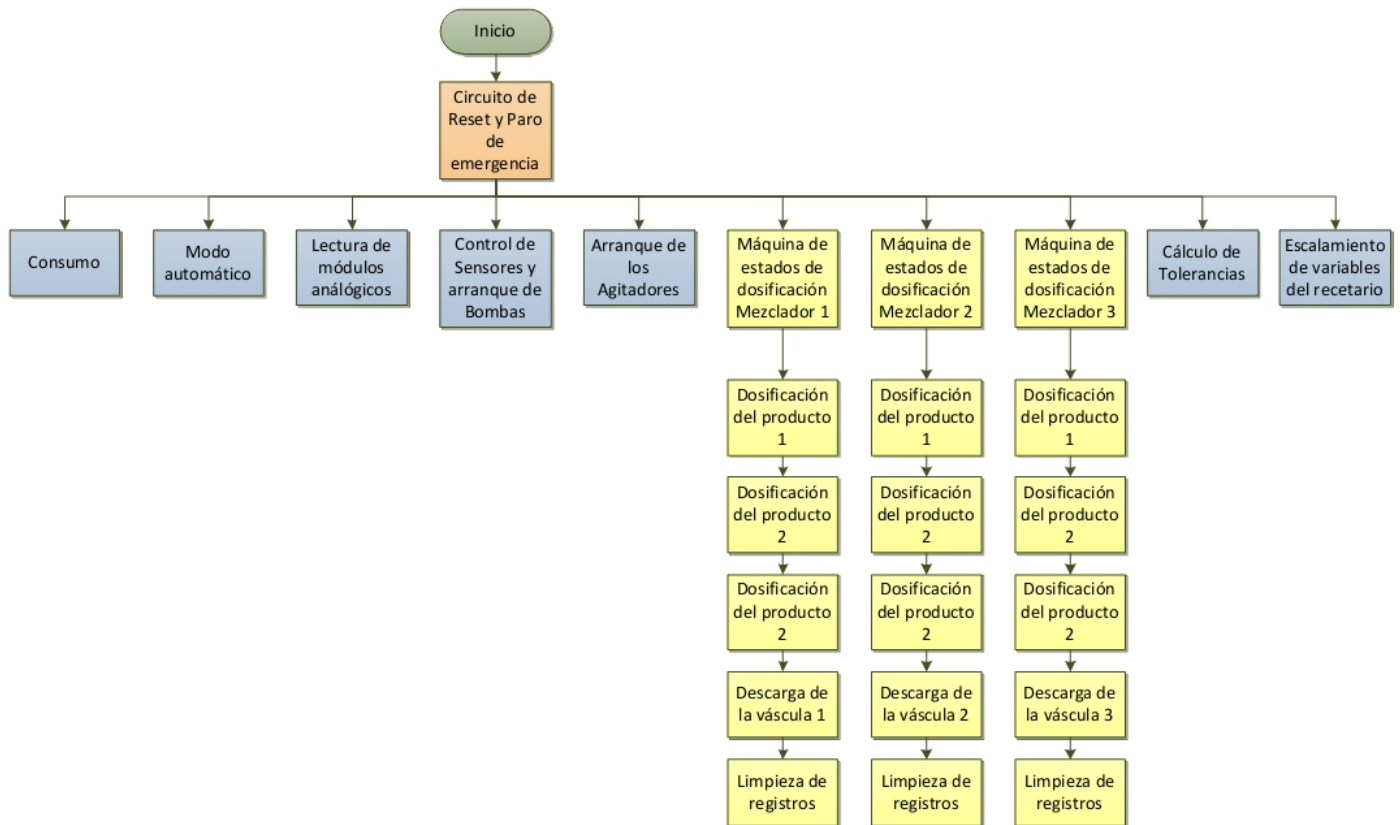


Figura 5.25 Estructura general del software creado para el PLC

***Circuito de Reset y paro de emergencia STOP:***

Esta rutina se creó con el fin de proveer al sistema de un circuito que detenga todos los eventos del sistema en caso de que se presente un accidente o algún dispositivo se haya dañado de forma instantánea y esté poniendo en riesgo el personal o los demás dispositivos. Este circuito se desarrolló mediante la utilización de una instrucción de programación que permite cambiar el PLC de modo RUN al modo STOP, como si una persona lo cambiara directo en el interruptor del PLC, esta instrucción puede ser activada por un relé interno desde la interface HMI o desde una entrada discreta accionada por un interruptor físico.

El circuito de Reset, permite poner en cero los registros principales de la secuencia de la máquina de estados de dosificación, el contador y banderas de activación de otras

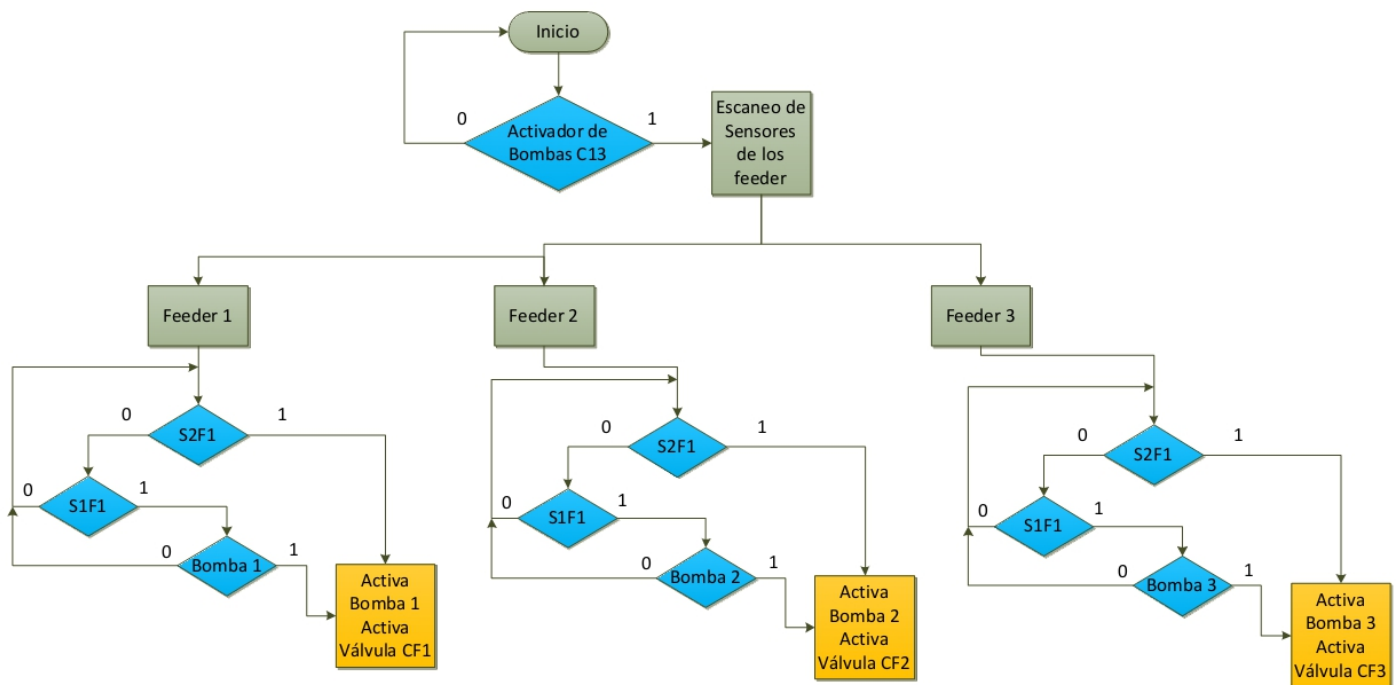
subrutinas, se ha previsto de esta instrucción en caso de que por falla de algún dispositivo electromecánico se pierda la secuencia de dosificación o después de ejecutar la instrucción de STOP, se requiera poner el sistema en cero, al igual que la instrucción de STOP, el Reset puede ser accionado desde un interruptor externo o por un relé interno accionado desde la interface HMI.

### ***Control de sensores de nivel y arranque de bombas:***

En la etapa de carga de los aditivos se deben activar las bombas para elevar los fluidos hasta la superficie de carga de los mezcladores, para tal efecto se ha desarrollado el algoritmo de la figura 5.26, con el cual es posible que cuando el alimentador está completamente vacío y los dos sensores de nivel están activados, arranque el motor de la bomba respectiva y se active la válvula de carga de dicho contenedor para comenzar a llenarlo hasta que el sensor de nivel alto S1F1 se desactive, detenga la bomba y desactive la válvula de carga.

Cuando el contenedor se comience a vaciar se activará el sensor de nivel alto, en ese momento el sistema no realizará ninguna acción sino hasta que se active el sensor de nivel bajo S2F1, en este momento arranca nuevamente el motor de la bomba y se activa la válvula de carga hasta que el contenedor tenga un buen nivel y desactive el sensor de nivel alto. Antes de que el sistema empiece a escanear los sensores, verifica que esté activado el relé interno C13, el cual funciona como un activador o desactivador del sistema de bombas, de modo que si este se encuentra desactivado, aunque los sensores de los alimentadores se activen las bombas no arrancarán, esto como un medio para desconectar solo los motores en caso de una posible falla electromecánica.

Este algoritmo se diseñó de tal forma que las bombas arranquen solo cuando sea estrictamente necesario, para no incrementar el consumo de energía eléctrica. Los sensores activan las señales del módulo de entradas discretas de 120V del PLC y la activación de los motores se hace a través de salidas de 24V que activan los contactores de arranque de los motores.



**Figura 5.26** Diagrama de flujo del algoritmo de control de sensores y activación de bombas

### ***Control de arranque de los agitadores:***

Para controlar el arranque de los agitadores se diseñó el algoritmo de la figura 5.27, mediante el cual una vez activada la condición de arranque desde pantalla, el sistema empieza a escanear el estado de los agitadores, como al iniciar el sistema por primera vez estos se encuentran apagados, inicia el timer 5 que espera a que se cumpla el tiempo de apagado y pone las salidas en 1, arrancando de inmediato los motores de los agitadores, una vez que han sido arrancados se activa el timer 6, que espera a que se cumpla el tiempo de encendido y pone nuevamente en 0 las salidas desactivando los motores de los agitadores para comenzar el ciclo de nuevo.

Con este algoritmo se logra que los agitadores sean activados de forma intermitente, donde el usuario puede digitar en la interface HMI los tiempos de encendido y de apagado que desea, de esta forma mientras que las partículas de estaño se encuentren

suspendidas en fluido, los agitadores estén apagados y después de un tiempo estimado en el que las partículas se han precipitado, los agitadores arranquen.

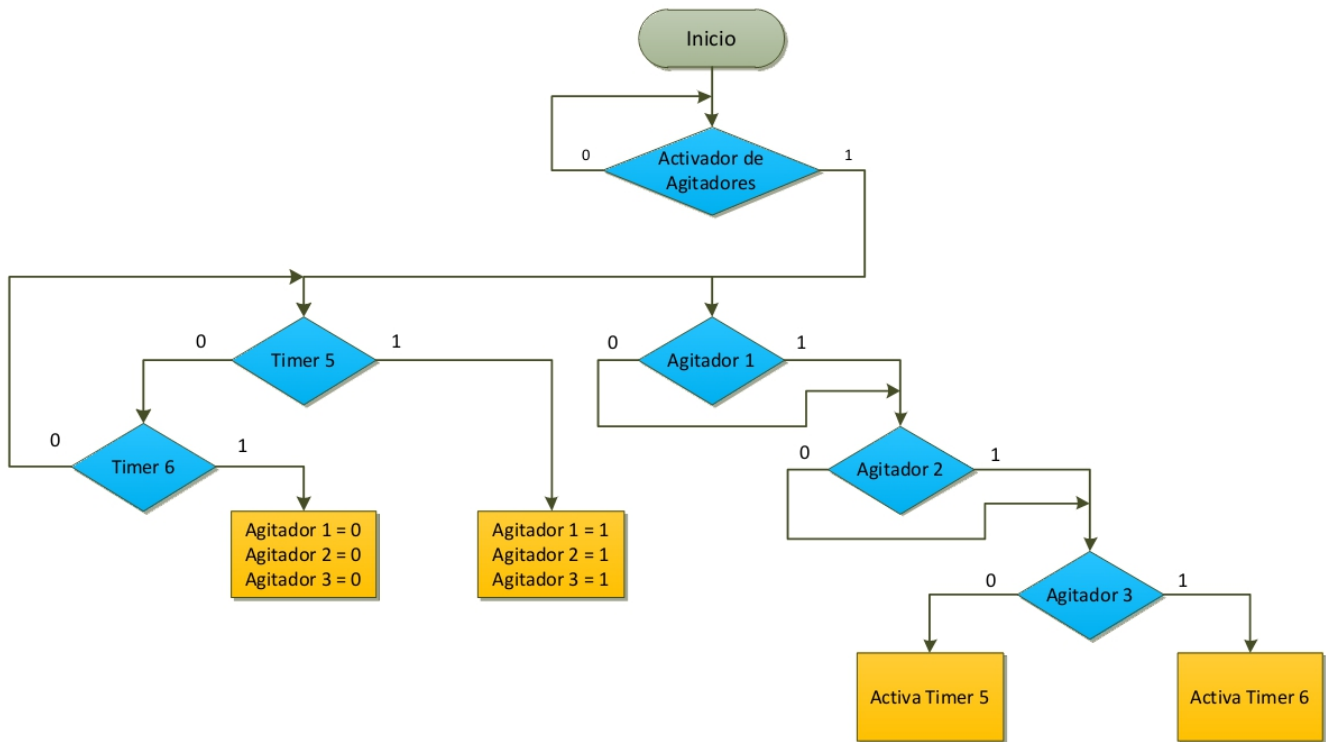


Figura 5.27 Diagrama de flujo del algoritmo de control de arranque de los sensores

**Lectura de las entradas analógicas:**

La lectura de las entradas analógicas se desarrolló mediante las instrucciones propias del lenguaje que fueron destinadas para este fin, mediante estas se puede leer el módulo completo y colocar cada lectura de cada canal en registros separados para poder trabajar con los datos de cada canal por separado, en la programación es posible escoger el tipo de escaneo que se desea realizar, para esta aplicación se eligió el SP1 (siempre on) que permite escanear las entradas en cada ciclo de lectura del CPU. Los módulos de entradas analógicas de los PLC Koyo, pueden ser escalados por la relación que se muestra en la figura 5.28, a través de los parámetros H y L , que corresponde a las cantidades máxima y mínima que se van a obtener, en este caso es de la variable de peso y depende de las celdas de carga y de la estructura completa de pesado, también

está el parámetro A, que es una constante que multiplica la entrada para darle más cifras significativas, en este diseño el usuario podrá introducir estos valores desde pantalla, según lo requiera.

$$\text{Units} = A \frac{H - L}{4095}$$

H = high limit of the engineering  
unit range

L = low limit of the engineering  
unit range

A = Analog value (0 - 4095)

**Figura 5.28** Relación de escalamiento de las entradas analógicas

### ***Circuito de modo automático:***

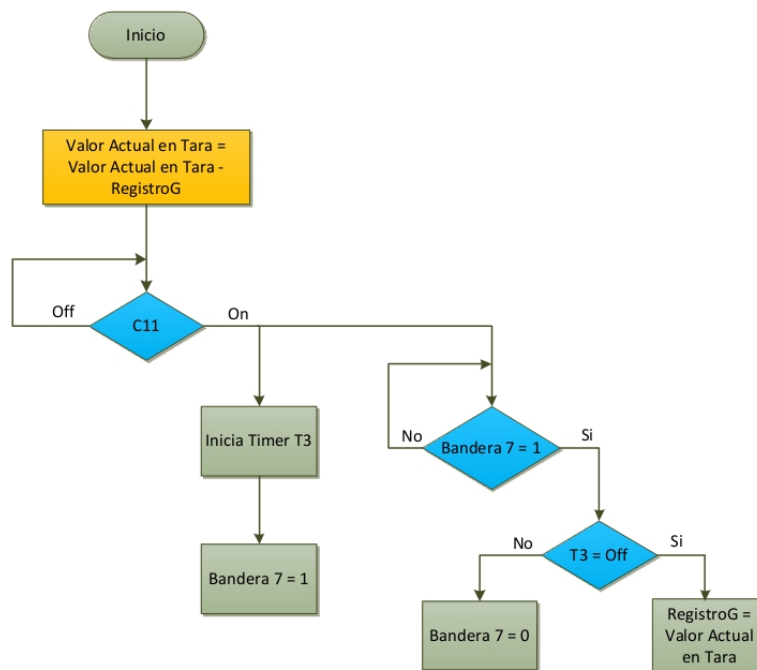
Este circuito fue diseñado con el fin de dar dos modos de funcionamiento al sistema, un modo manual donde el usuario escoge un compuesto del recetario en pantalla, da inicio para que comience la dosificación y al terminar el ciclo, se dé por finalizada la dosificación hasta que el usuario active nuevamente el sistema y un modo automático donde el usuario escoge el compuesto en el recetario en pantalla, da inicio pero la dosificación no comienza hasta que el controlador reciba las señales de sincronización provenientes del mezclador, de esta forma cuando en el mezclador inicie la carga de resina y carbonato de calcio, también inicie la dosificación de aditivos líquidos y al terminar la dosificación, el controlador se mantiene en inactividad hasta que reciba nuevamente las señales de sincronización del mezclador.

Con esto se busca que el operario solo escoja la receta, de inicio y luego solo tenga que manejar el control del mezclador. No se tiene un diagrama de flujo de esta subrutina ya que está basada en la activación de un relé interno que enciende ciertas banderas que le indican al contador de estados que debe funcionar como un esclavo del mezclador.

### **Tara automática del sistema de pesado:**

Esta rutina fue diseñada con el fin de poner la tara en cero, cuando esté todo el sistema mecánico instalado y cada vez que sea necesario, esto debido a que cuando se conectan las celdas de carga a la tarjeta transmisora de peso, y se leen las entradas analógicas del PLC, la lectura no es cero, de modo que siempre existen perturbaciones en el sistema que le impiden establecer un cero absoluto y una de ellas es el peso de la báscula, el cual debe ser restado de la medición para comenzar la medida en 0 Kg.

En la figura 5.29, se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento general de esta rutina, donde una vez que el usuario ha activado el relé interno C11 desde pantalla, se activa el Timer 3 y mientras transcurre el tiempo establecido para este, se almacena el valor actual de la tara en registro, para luego ser restado del valor actual de la tara y obtener una medida de peso de 0Kg, en ausencia de peso.



**Figura 5.29** Diagrama de flujo del algoritmo de tara automática

### ***Cálculo de tolerancias:***

Las tolerancias de peso permitidas para cada aditivo, para esta aplicación se trabajan como porcentajes de la cantidad que debe ser dosificada, de modo que esta rutina de software se encarga de calcular esos porcentajes y aplicarlos en la rutina de dosificación.

La rutina comienza cargando los registros donde se almacenan desde pantalla, los valores de peso de los aditivos que deben ser dosificados, luego calcula a cada aditivo por separado el porcentaje de tolerancia que el usuario digita en la pantalla y lo suma al valor original que se cargó desde la receta para finalmente almacenarlo en registros que serán cargados por la rutina de dosificación.

### ***Dosificación:***

Esta rutina es la encargada de incorporar las funciones de las demás rutinas para realizar la dosificación adecuada de cada uno de los aditivos, esta dosificación se llevará a cabo de forma secuencial, ya que el sistema de dosificación que se utilizó fue el de ganancia de peso, en el cual se va sumando peso de los distintos aditivos en la tara hasta alcanzar el peso final, el cual corresponde a la suma de las cantidades que indican las formulaciones que se deben adicionar. A pesar de que en las formulaciones establecidas no se utiliza más de un aditivo por compuesto, se desarrolló un algoritmo tal que permita realizar la dosificación de los tres aditivos en un mismo compuesto, esto con el fin de no limitar el sistema para posibles ampliaciones futuras.

Para desarrollar esta rutina de forma secuencial fue necesario implementar una máquina de estados, donde en cada estado se ejecuta una etapa de la dosificación. Esta máquina secuencial tiene un contador de estados que se mantiene en el estado 0 por defecto, pero en el momento en que el usuario activa el relé interno C0, el cual es accionado desde pantalla, se da el primer pulso al contador y este avanza al estado 1, en esta primer etapa de la secuencia de dosificación, se descarga el contenido del

alimentador del aditivo 1 de la forma como muestra en el diagrama de flujo de la figura 5.30, donde se puede ver que el sistema activa la válvula de descarga del aditivo solo mientras que el peso en la báscula o tara sea menor que el peso deseado y si la cantidad de producto que se ha cargado de la fórmula es diferente de cero. En caso de que el producto cargado del recetario en pantalla sea igual a cero, se almacena el valor actual de la tara en registro y se le dá un pulso al contador para que avance al tercer estado.

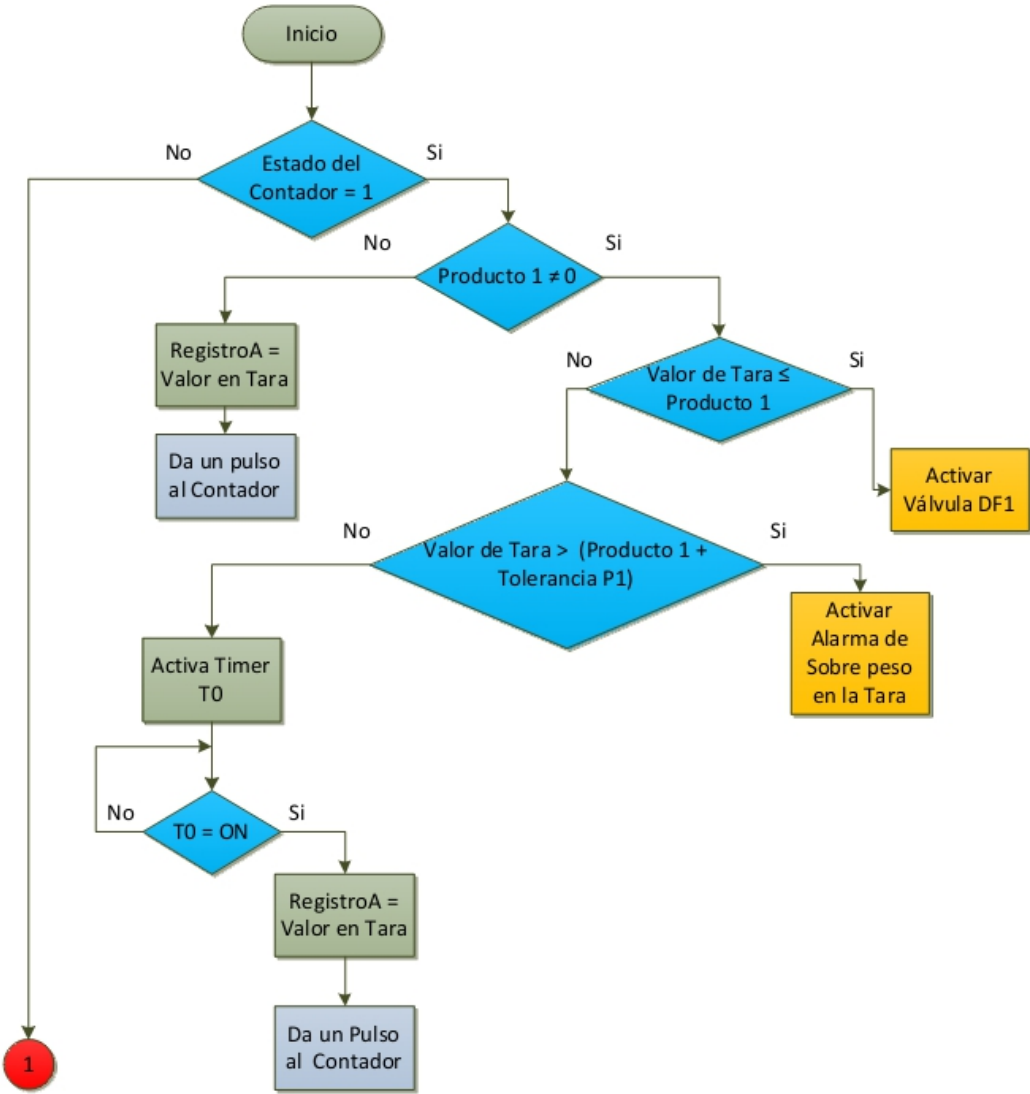


Figura 5.30 Diagrama de flujo de la primera etapa del algoritmo de dosificación

Tanto para la dosificación del primer aditivo como para los dos restantes, en el algoritmo se ha desarrollado una tarea de tolerancia que activa un indicador en pantalla cuando el peso en la tara ha superado el margen de tolerancia permitido, para esta tarea resultan de gran importancia los resultados de la rutina de tolerancia que se describió anteriormente.

En la figura 5.31, se muestra el diagrama de flujo de la segunda etapa del algoritmo donde se realiza la dosificación del segundo aditivo, al igual que en la primera etapa mientras que la cantidad de producto que debe ser dosificada sea diferente de cero, se realiza la ganancia de peso, donde la cantidad resultante en tara de la primera etapa, es adicionada a la cantidad que se debe adicionar del segundo producto, de esta forma al abrir la válvula de salida del segundo producto, el peso que se debe alcanzar para que esta se desactive es el peso del primer producto más el segundo y al igual que en la primera etapa, si por alguna razón el peso en tara supera la tolerancia admitida, el sistema activa un indicador de alarma y se detiene el proceso hasta eliminar el sobrepeso de la tara. En caso de que el producto 2 fuera cero, el sistema continúa con el actual valor en la tara y da un pulso al contador para avanzar al estado 3.

En la figura 5.32, se muestra el diagrama de flujo de la tercera etapa, en la cual se realiza el mismo procedimiento que en la segunda, solo que en este algoritmo se realiza la suma de la ganancia de peso obtenida en la segunda etapa y el peso del tercer producto que debe ser adicionado, de modo que mientras se alcanza la suma total del peso, se abre la válvula de descarga del tercer alimentador para descargar el tercer aditivo y al igual que en las etapas anteriores, si el peso supera la tolerancia del producto 3 se activa el indicador de sobrepeso y se detiene el proceso, y si la fórmula seleccionada no necesita adicionar el tercer aditivo, el sistema continua con el peso que tiene hasta ese momento y da un pulso de avance al contador para pasar a la cuarta etapa. En la cuarta etapa, de la cual se muestra el diagrama de flujo en la figura 5.33, se realiza la dosificación de las cantidades pesadas en la báscula al mezclador, por medio de la apertura de la válvula de descarga de la báscula. En esta etapa, se realiza un escaneo de las tres cantidades cargadas desde el recetario, para asegurar que

efectivamente algún producto será dosificado, en caso de que el sistema no encuentre producto alguno, se da un reset al contador de estados y para comenzar el ciclo de nuevo. Una vez que se ha abierto la válvula de la báscula, se mantiene en ese estado hasta que el peso en la tara alcance el valor mínimo al cual se considera que la tara está vacía, cuando este valor se alcanza, de sierra la válvula y se le da un pulso al reset del contador de estados para comenzar el ciclo de nuevo.

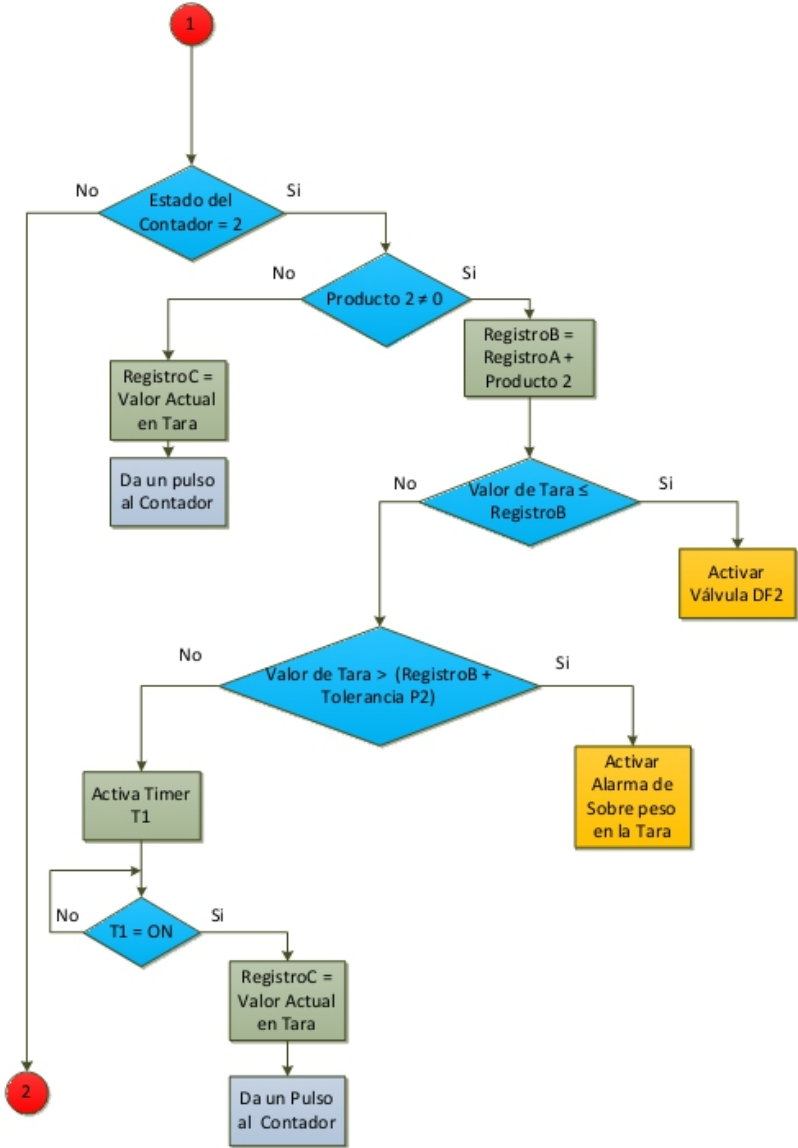


Figura 5.31 Diagrama de flujo de la segunda etapa del algoritmo de dosificación

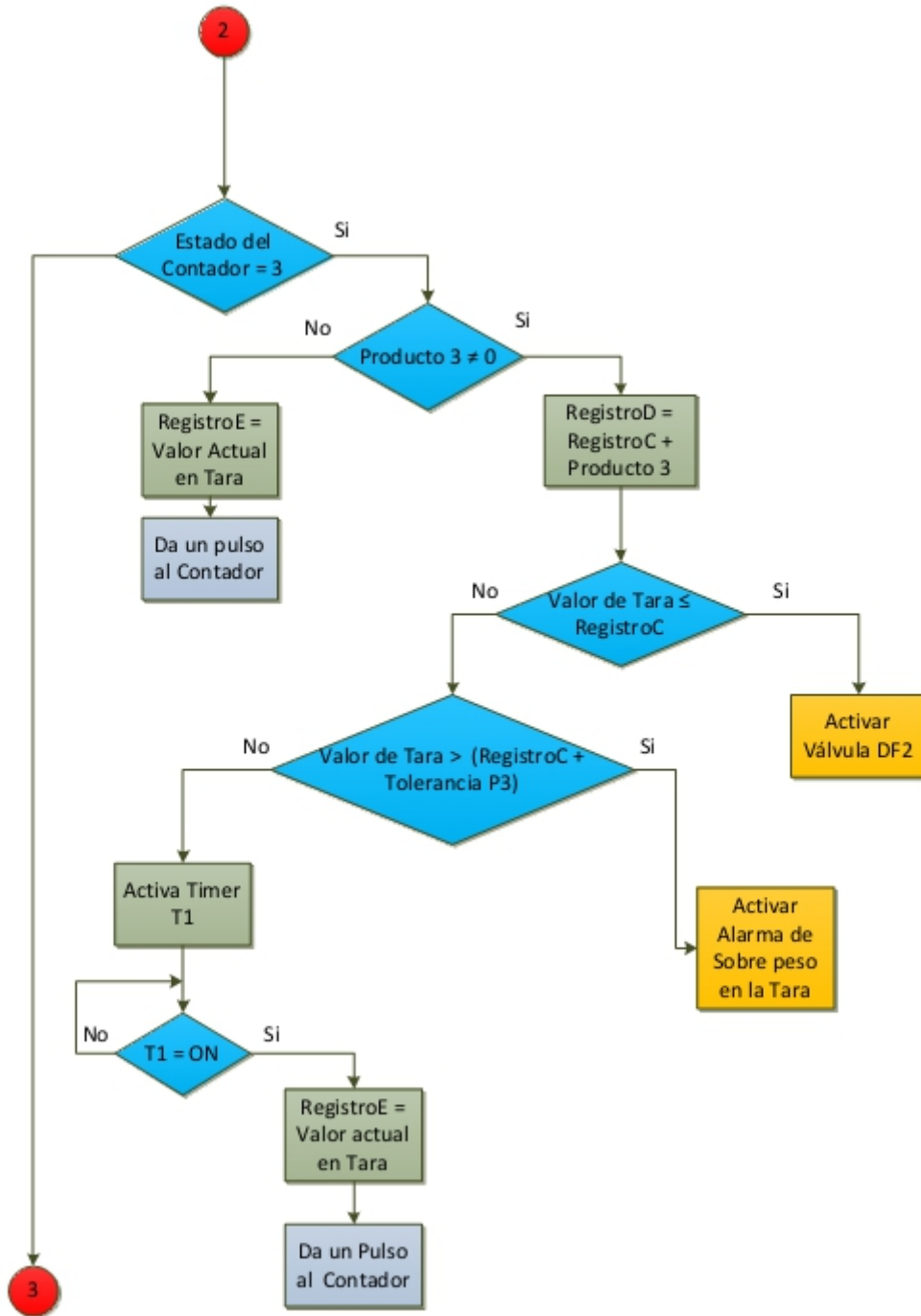
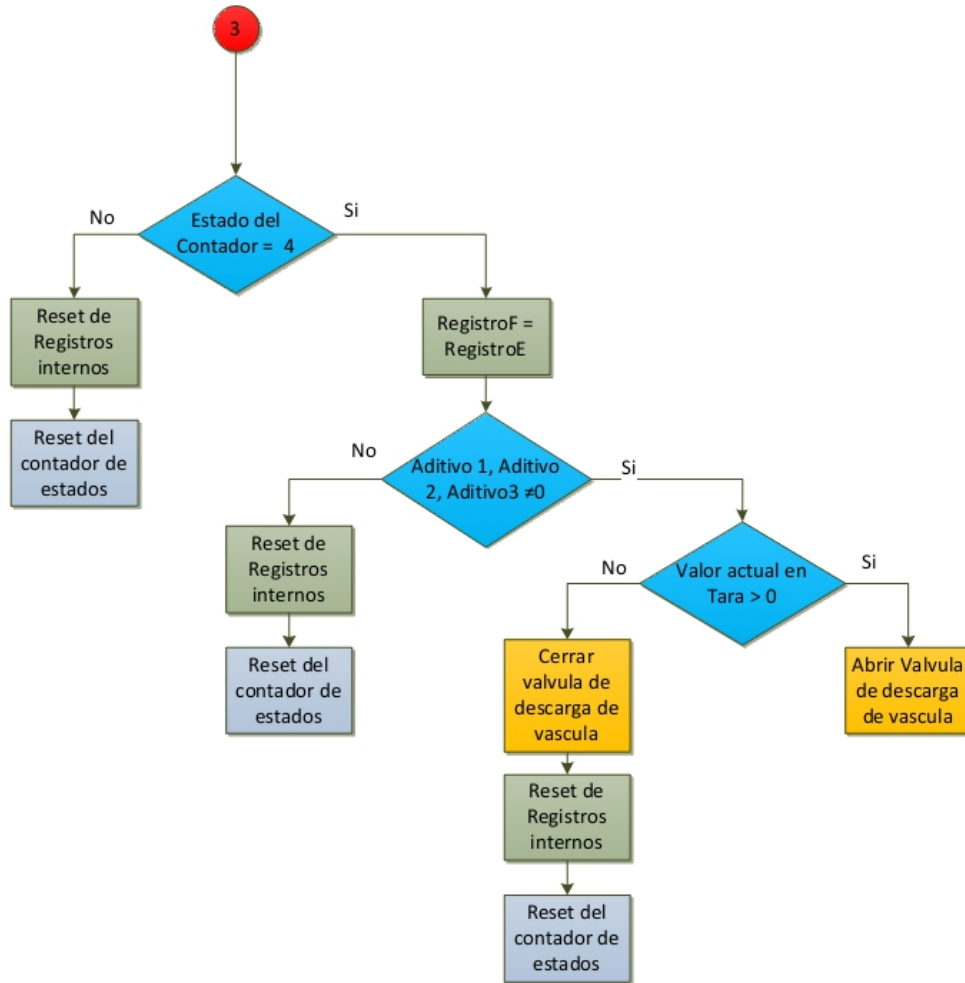


Figura 5.32 Diagrama de flujo de la tercera etapa del algoritmo de dosificación



**Figura 5.33** Diagrama de flujo de la cuarta etapa del algoritmo de dosificación

**Consumo:**

Para efectos del departamento de producción de Durman, se desarrolló una rutina dentro del PLC, que permite contabilizar las cantidades de cada aditivo que se han consumido luego de un periodo de producción, en la figura 5.34 se muestra el diagrama de flujo de esta rutina, la cual trabaja de forma secuencial con el contador de la máquina de estados de dosificación, de modo que en el primer estado después de la descarga del primer aditivo en la báscula, almacena este valor actual de la tara en un registro auxiliar, en el segundo estado luego de la descarga del segundo aditivo, toma el valor actual de la tara y le resta el valor del registro auxiliar utilizado en el primer estado, para

luego almacenar el resultado en un segundo registro auxiliar, para el tercer estado se repite el procedimiento del estado anterior, solo que en este estado al valor actual de la tara se le restan los valores de los registros auxiliares del primer y segundo estado, para obtener el consumo real del tercer aditivo.

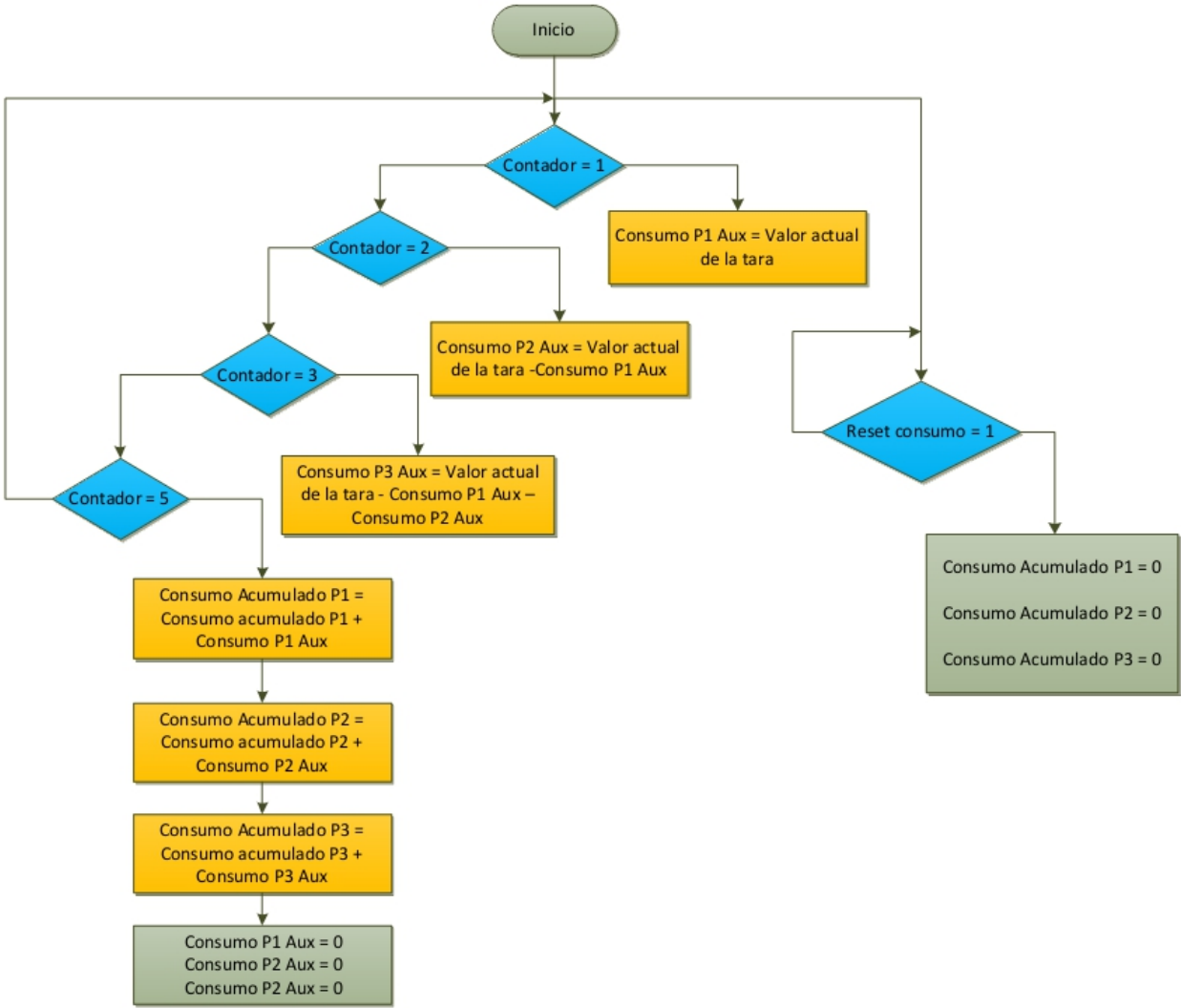
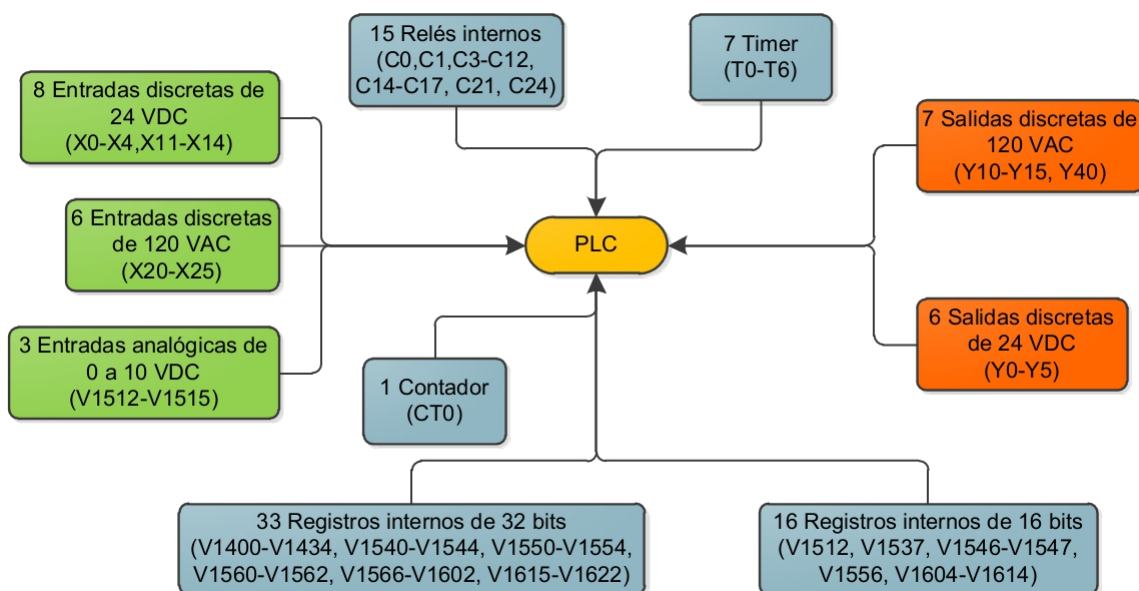


Figura 5.34 Diagrama de flujo de la rutina de consumo de aditivos

En caso de que el compuesto deseado no requiera más de un aditivo, en los registros auxiliares se almacena un valor de cero, de modo que cuando se realiza la resta en cada estado, al valor actual de la tara se le resta cero, lo que no afecta el resultado final del consumo. En el cuarto estado de la máquina de estados de dosificación esta rutina

no realiza ninguna función, a fin de esperar que se desarrolle la descarga de las dosis de aditivos con éxito y no se altere ningún valor del consumo, en el quinto estado marcado por el contador de estados esta rutina realiza la actualización de los registros de consumo y finalmente limpia los registros auxiliares y espera un nuevo ciclo. Si el usuario desea poner el consumo en cero para iniciar un nuevo periodo de producción lo puede hacer desde pantalla al activar un relé interno del PLC, que almacena un cero en cada registro de consumo acumulado.

Las rutinas antes descritas y los diagramas mostrados, constituyen los diseños a grandes rasgos del software que se desarrolló para poner en funcionamiento el sistema de control en el PLC, en la figura 5.35 se muestra un diagrama resumen del mapa de memoria utilizado para guiar la programación para un mezclador.



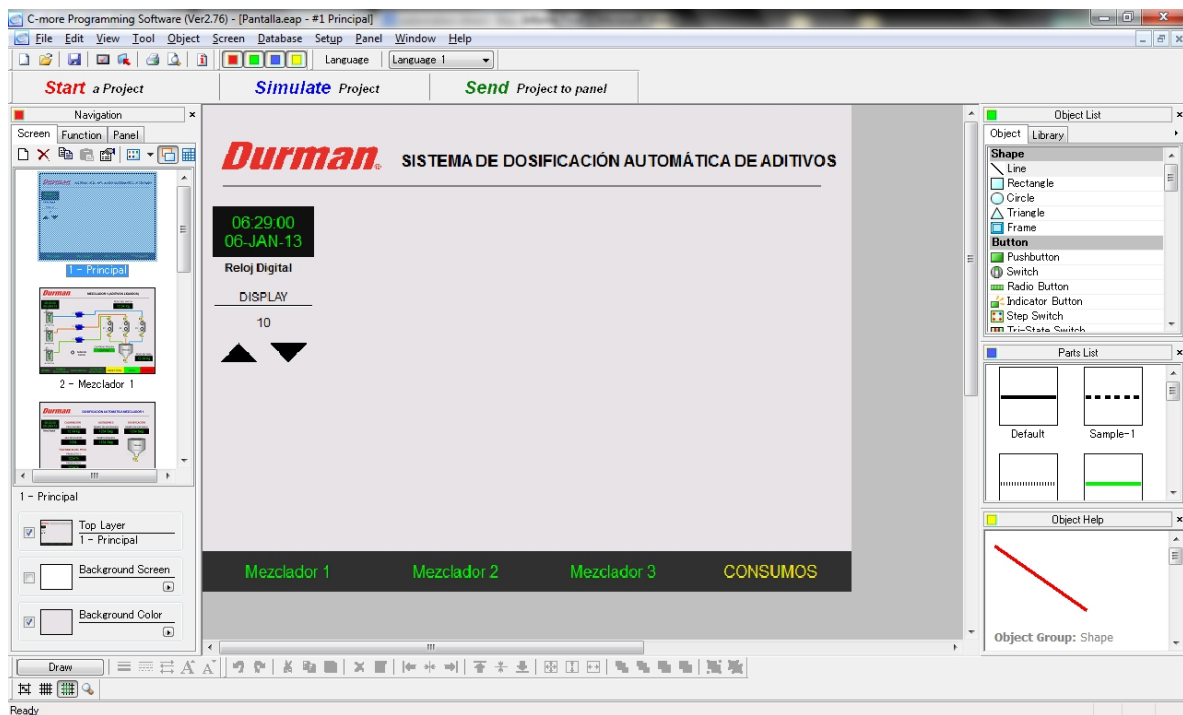
**Figura 5.35** Diagrama resumen del mapa de memoria diseñado para un mezclador

Al transformar estos diagramas al lenguaje Ladder, fue necesario realizar algunas rutinas auxiliares y operaciones que no se mostraron anteriormente, con el fin de presentar los diseños de los algoritmos más relevantes. Dado que el diseño debe cubrir la dosificación de los tres mezcladores, se desarrollaron rutinas separadas como se vio

anteriormente con el objetivo de que una vez que sean programadas y depuradas, poder reproducirlas las veces que sea necesario sin necesidad de realizar extensas y complicadas modificaciones en la programación, obteniendo así una solución con posibilidades de ampliación.

### **Interface HMI:**

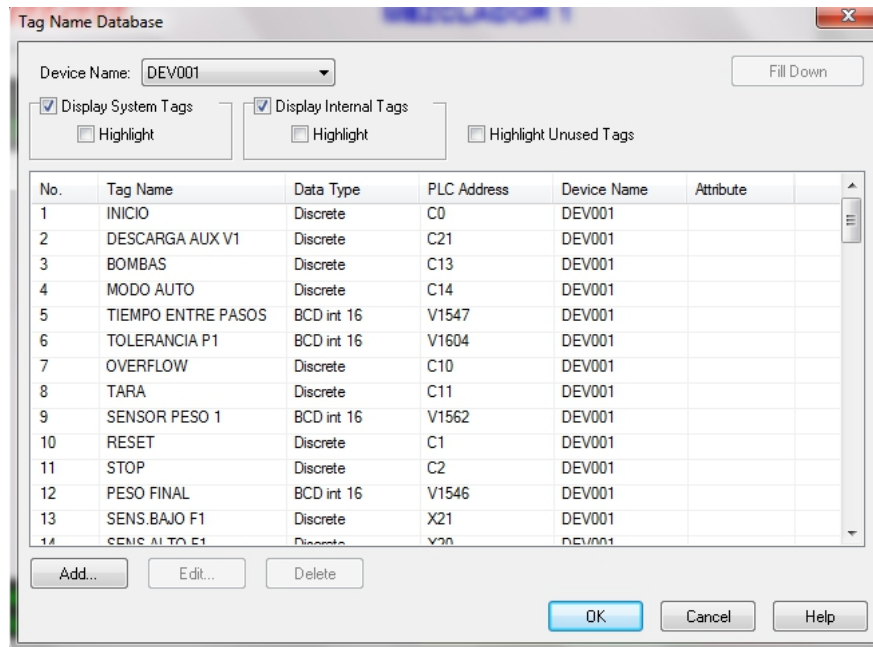
La interface HMI utilizada para que el usuario se comunique de forma amigable con el sistema de control, fue la pantalla táctil EA7-T8C de la empresa Automation Direct, la cual cuenta con su propio software de programación denominado C-more (Ver2.76), cuyo ambiente de programación se muestra en la figura 5.36.



**Figura 5.36** Ambiente de trabajo de C-more

Para lograr que la pantalla pueda leer y enviar datos al PLC, se realiza un mapa de memoria en la pantalla que coincida con el mapa de memoria del PLC, de modo que el controlador de la pantalla realice un mapeo de la variable ó tag que desea escribir o leer. Una vez creadas las variables en el mapa de memoria de la pantalla, del cual se muestra una fracción en la figura 5.37, se crean los vínculos que corresponden a los

botones, interruptores, indicadores, recetas y demás elementos que conforman el ambiente final de la interface, donde en la creación de estos se le asigna a cada uno el tag con el cual se debe comunicar.



**Figura 5.37** Ambiente de programación del mapa de memoria de la pantalla

La interface que se desarrolló para esta aplicación consiste de una pantalla principal, la cual se muestra en la figura 5.38, en la cual el usuario puede escoger mediante los botones de la barra ubicada en la parte de abajo, el mezclador con el que desea trabajar. Además aumentar o disminuir la intensidad de luz de la pantalla con los botones de ajuste de la izquierda.

El usuario puede además acceder a la pantalla de consumo de aditivos que se muestra en la figura 5.39, donde es posible ver la cantidad de aditivos que se han consumido por mezclador desde la fecha indicada en pantalla, también tiene la posibilidad de poner en cero los marcadores de consumo utilizando los botones de la barra inferior, una vez que se han borrado los datos de consumo el usuario puede cambiar la fecha desde un teclado de pantalla que aparece con solo tocar el número de la fecha que desea cambiar.

Al seleccionar el mezclador surge la pantalla de la figura 5.40, en la cual el operario puede seleccionar la fórmula del compuesto que desea producir o puede también editar las fórmulas, para esta última el sistema solicitará al usuario una clave de acceso que solo es otorgada a ciertos funcionarios del departamento de mezclado, también puede observar las cantidades de producto que fueron cargadas por el usuario desde el recetario, el cual se muestra en la figura 5.41

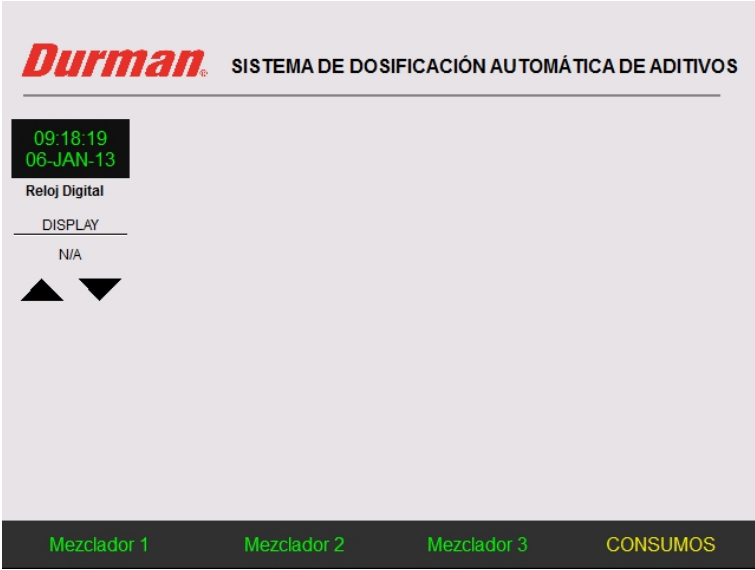


Figura 5.38 Pantalla de inicio de la interface del sistema de control

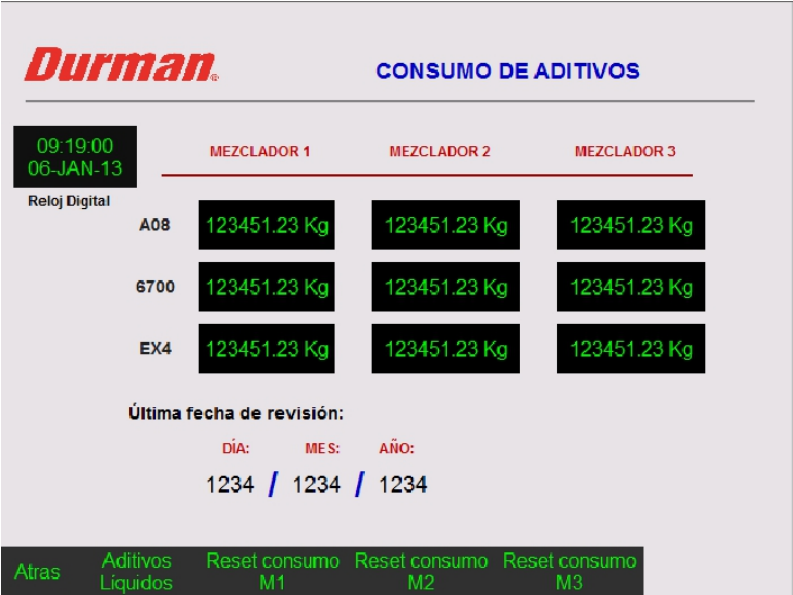


Figura 5.39 Pantalla de consumo de aditivos



Figura 5.40 Pantalla de selección del compuesto para el mezclador 1

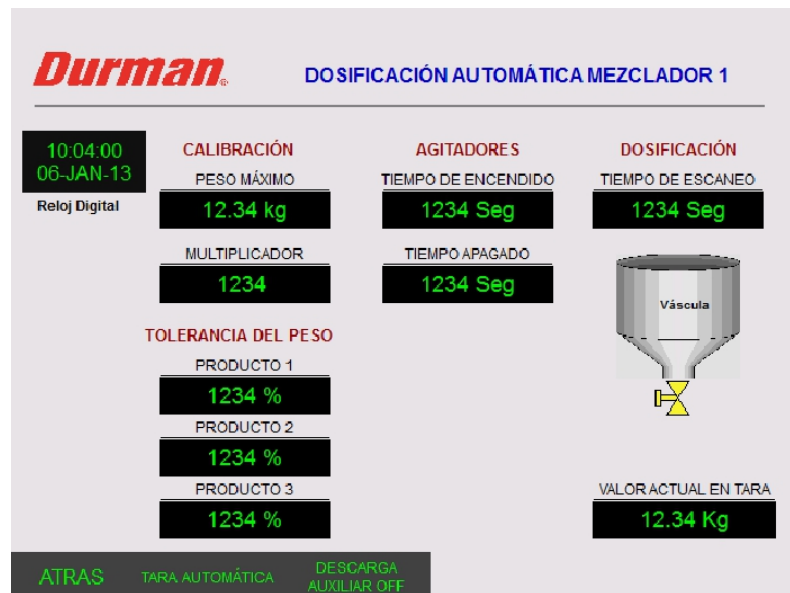
FORMULAS	ESTABILIZADOR THERMOLITE 108 A08	ESTABILIZADOR TM 694 6700
1 COMPUESTO IN...	8540	0
2 COMPUESTO PV...	8860	0
3 COMPUESTO TU...	0	9450
4 COMPUESTO PV...	0	3700
5 COMPUESTO PV...	0	0
6 COMPUESTO PV...	0	4700
7 COMPUESTO TD...	0	0
8 COMPUESTO D...	0	0
9 COMPUESTO 8T...	5140	5140
10 COMPUESTO CA...		

Close 2.COMPUESTO PVC RIBLOG 5T

Figura 5.41 Pantalla de formulaciones de producción de los compuestos

Desde la pantalla de la figura 5.41, el usuario puede además de acceder a la carga y edición de las fórmulas, con el botón de mantenimiento de la barra, puede acceder a la pantalla de la figura 5.42, donde se realizan los ajustes técnicos del sistema, como los

parámetros de calibración del control de peso, los tiempos de acción de los agitadores, el tiempo de escaneo de la máquina de estados, la tolerancia permitida para cada producto, y por medio de los botones de la barra inferior, puede realizar el ajuste de la tara y abrir la válvula de descarga de la báscula en caso de emergencia. Dado que para realizar estos ajustes se requiere de conocimiento técnico o experimentado se ha protegido esta pantalla con un código de acceso que es otorgado solo a personal capacitado encargado del departamento de mezclado.



**Figura 5.42** Pantalla de mantenimiento del mezclador 1

Al oprimir el botón denominado como "Aditivos Líquidos", de la barra inferior, se accede a la pantalla de la figura 5.43, en la cual el usuario puede ver de forma gráfica la secuencia de trabajo del sistema, el funcionamiento de las bombas de carga, los agitadores, la apertura y cierre de las válvulas, las tuberías a través de las cuales está corriendo aditivo en el momento, alarma de sobrepeso en la tara, activación de la señal de sincronización del modo automático, avance de peso en la tara, peso final del batch y a través de los botones de la barra puede dar inicio a la dosificación, reset del sistema, paro de emergencia, activar el modo manual ó automático, activar el sistema de control de arranque de las bombas y activar los motores de los agitadores.

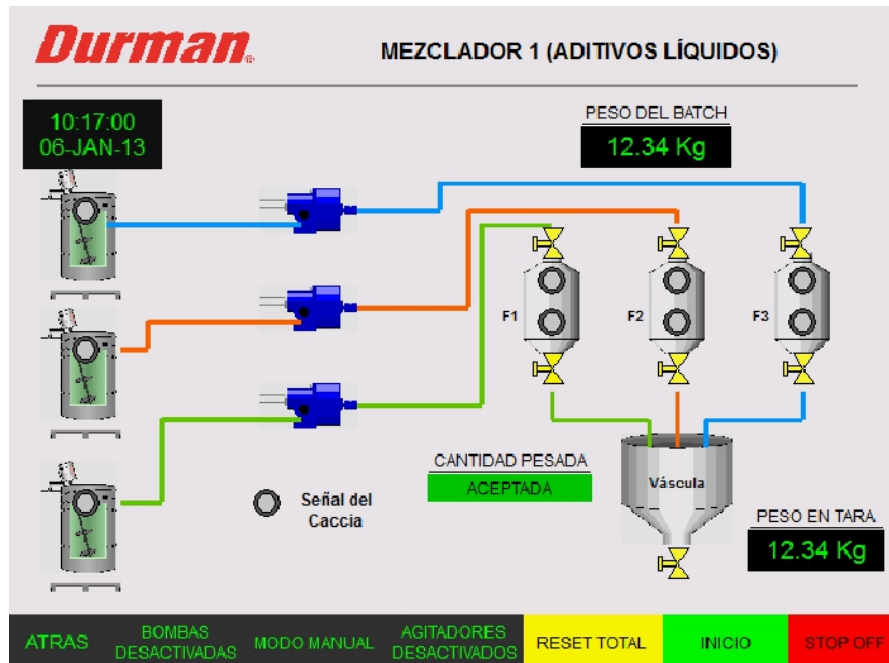
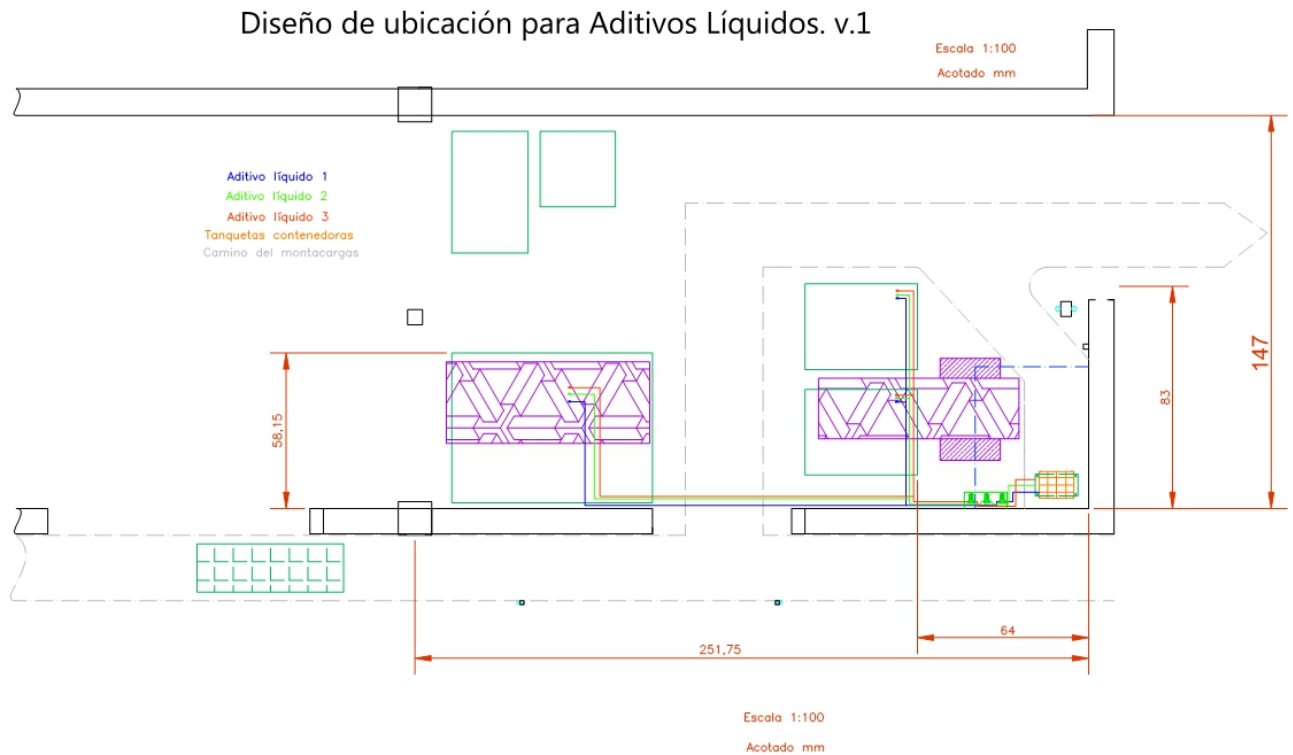


Figura 5.43 Pantalla de actividad del proceso de dosificado del mezclador 1

## Capítulo 6 . Análisis de resultados

### 6.1 Resultados

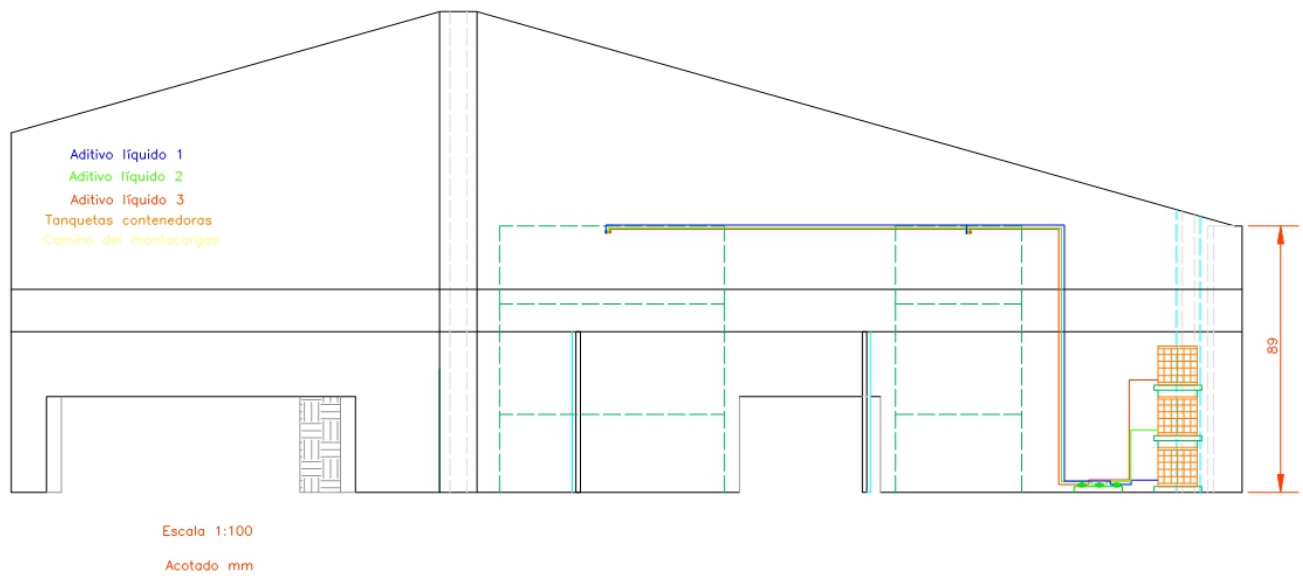
En este capítulo se muestran los resultados de la implementación del sistema de control propuesto en el capítulo anterior, las figuras y tablas mostradas a continuación fueron obtenidas a partir de las pruebas realizadas para verificar el funcionamiento de las rutinas de software implementadas.



**Figura 6.1** Plano a escala del área de mezclado, vista superior

**Tabla 6.1** Resumen de la información más relevante de los aditivos líquidos

	<i>Thermolite 108</i>	<i>TM 694</i>	<i>Akrostab T-5003</i>
<b>Función</b>	Estabilizador Térmico	Estabilizador	Estabilizador de perfiles
<b>Cantidad máxima a dosificar (Kg)</b>	5,6	4,7	2,84
<b>Cantidad mínima a dosificar (Kg)</b>	2,16	1,2	0,98
<b>Consumo por día (Ton)</b>	0,2	0,2	0,1
<b>Consumo por semana (Ton)</b>	1,2	1,2	0,6
<b>Incompatibilidad</b>	Agentes oxidantes y reductores fuertes	Ácidos	Ácidos fuertes y oxidantes fuertes
<b>Densidad bruta (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1120	1020	1158,5
<b>Corrosivo</b>	No	No	No
<b>Higroscópico</b>	No	No	No
<b>Inflamable a temperaturas mayores a (° C)</b>	No es explosivo	No es explosivo	No es explosivo
<b>Toxico</b>	Nocivo	Nocivo	Nocivo
<b>Abrasivo</b>	No	No	No
<b>Permitida (°C)</b>	< 230	< 40	< 40
<b>Material Recomendado</b>	Aluminio/ Acero Inoxidable(304)	Hierro o acero no inoxidable/ cobre	Aluminio/ Acero Inoxidable
<b>Viscosidad (cps)</b>	45cs	60 cs	65 cps
<b>Peso Neto de presentación (Kg)</b>	226,8	1179,33	238
<b>Presentación</b>	Barril	Tanqueta	Barril



**Figura 6.2** Plano a escala del área de mezclado, vista frontal

**Tabla 6.2** Accesorios de tubería requeridos por bomba

Accesorios	Perdidas (m) 15mm	Perdidas (m) 20mm	Cantidad
Codos 90°	0,32	0,51	15
Uniones	0,047	0,073	4
Tubería Lineal	0,8	0,9	70
Válvulas	0,9	0,9	3
Te	0,421	0,655	2

**Tabla 6.3** Presiones obtenidas en m.c.a (metros columna de agua)

<b>Parámetro</b>	<b>Pérdidas para tubo de 15mm(m)</b>	<b>Pérdidas para tubo de 20mm(m)</b>
Cambio de Altura $\Delta H$	9	9
Pérdidas por Uniones	0,188	0,292
Pérdidas por codos 90°	4,8	7,65
Pérdidas por Válvulas	2,7	2,7
Pérdidas por tubería lineal	56	63
Pérdidas por Te	0,842	1,31

<b>Total requerido(m.c.a)</b>	<b>73,53</b>	<b>83,952</b>
-------------------------------	--------------	---------------

**Tabla 6.4** Presiones obtenidas en m.c.l (metros columna de líquido) para determinar la capacidad de la bomba

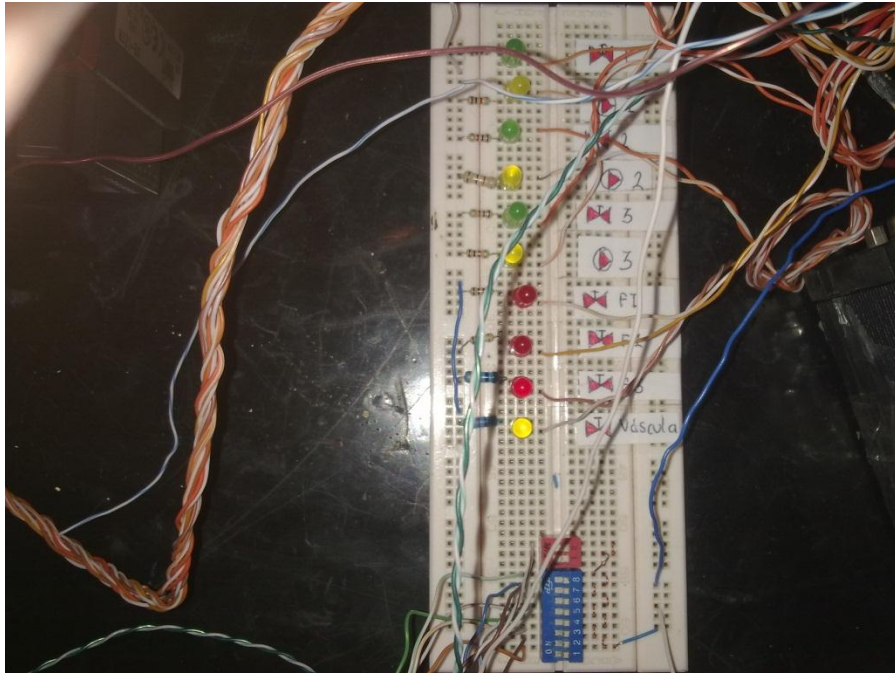
<b>Unidades de Presión</b>	<b>Tubo de 15 mm</b>	<b>Tubo de 20 mm</b>
Total requerido(m.c.l)	63,3	72,19
Total requerido(atm)	7,09593	8,092499
Total requerido(psi)	<b>104,2815318</b>	<b>118,927074</b>
Total requerido(bar)	7,189958508	8,199733091

**Tabla 6.5** Mapa de memoria de variables discretas para el Mezclador 1

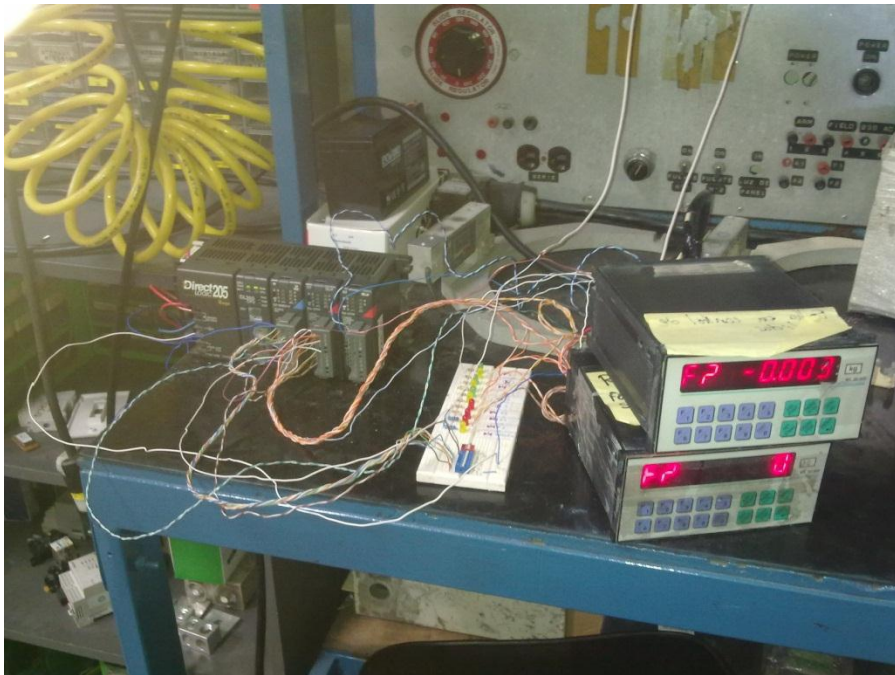
Variable	Descripción	Tipo de dato	Señal eléctrica (V)	Modo de activación
X1	Reset desde activador externo	Discreta	24	Externo
X2	Señal 1 del Mezclador 1 para Modo Automático	Discreta	24	Externo
X3	Señal 2 del Mezclador 1 para Modo Automático	Discreta	24	Externo
X4	Señal 3 del Mezclador 1 para Modo Automático	Discreta	24	Externo
X20	S1F1, Sensor de nivel alto del Feeder 1	Discreta	120	Externo
X21	S2F1, Sensor de nivel bajo del Feeder 1	Discreta	120	Externo
X22	S1F2, Sensor de nivel alto del Feeder 2	Discreta	120	Externo
X23	S2F2, Sensor de nivel bajo del Feeder 2	Discreta	120	Externo
X24	S1F3, Sensor de nivel alto del Feeder 3	Discreta	120	Externo
X25	S2F3, sensor de nivel bajo del Feeder 3	Discreta	120	Externo
Y10	Válvula Carga F1	Discreta	120	Externo
Y11	Válvula Carga F2	Discreta	120	Externo
Y12	Válvula Carga F3	Discreta	120	Externo
Y13	Válvula Descarga F1	Discreta	120	Externo
Y14	Válvula Descarga F2	Discreta	120	Externo
Y15	Válvula Descarga F3	Discreta	120	Externo
Y40	Válvula Descarga de la báscula	Discreta	120	Externo
C0	Inicia la dosificación	Discreta	N/A	Pantalla
C1	Reset desde pantalla	Discreta	N/A	Pantalla
C3	Activa el fin de producto	Discreta	N/A	Interno
C4	Reset del contador de estados	Discreta	N/A	Interno
C7	Bandera 6 Producto 3	Discreta	N/A	Interno
C10	Alarma de Peso superior a la Tolerancia	Discreta	N/A	Interno
C11	Activa la tara automática	Discreta	N/A	Pantalla
C12	Bandera 8 Circuito de tara	Discreta	N/A	Interno
C14	Activación del modo automático	Discreta	N/A	Pantalla
C15	Bandera 1 Modo automático	Discreta	N/A	Interno
C16	Activador de siguiente estado modo automático	Discreta	N/A	Interno
C17	Reset del contador de estados	Discreta	N/A	Interno
C21	Abre válvula de descarga de báscula (Manual)	Discreta	N/A	Pantalla
C24	Reset del acumulador de consumo	Discreta	N/A	Pantalla
T0	Timer Producto 1	Discreta	N/A	Interno
T1	Timer Producto 2	Discreta	N/A	Interno
T2	Timer Producto 3	Discreta	N/A	Interno
T3	Timer de Tara auto	Discreta	N/A	Interno
T4	Timer para el Modo Automático	Discreta	N/A	Interno
CT0	Contador de estados de dosificación	Discreta	N/A	Interno

**Tabla 6.6** Mapa de memoria de registros utilizados para el Mezclador 1

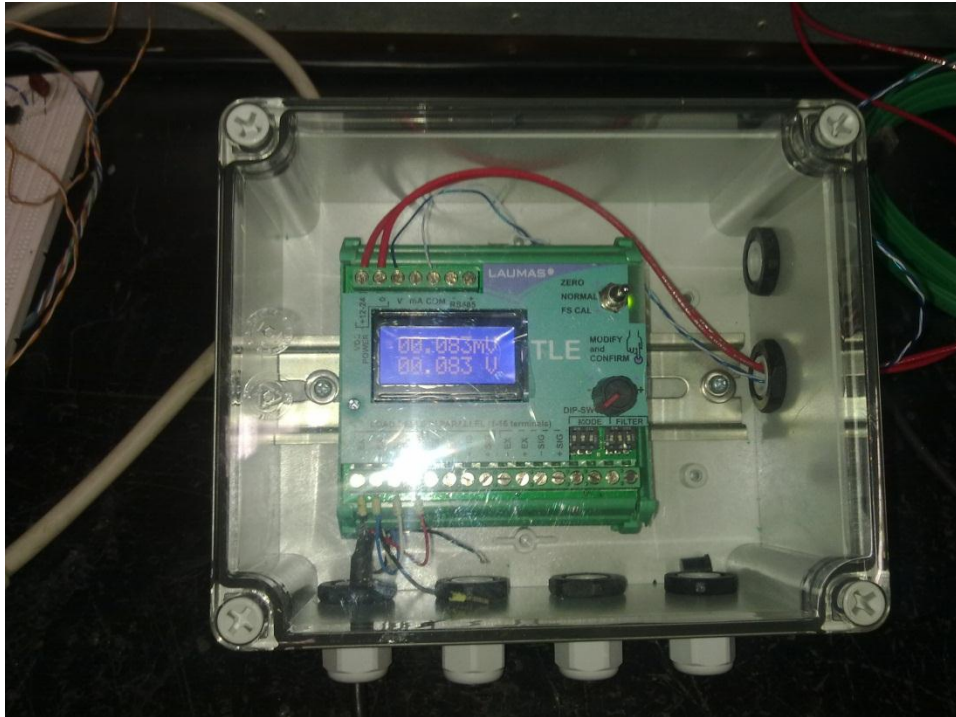
Variable	Descripción	Tipo de dato	Señal eléctrica (V)	Modo de activación
V1400	Estabilizador Thermolite 108 A08	W/DW (BCD W)	N/A	Pantalla
V1402	Estabilizador TM 694 6700	W/DW (BCD W)	N/A	Pantalla
V1404	Estabiliz Perfiles Akcrostab T-5003 EX4	W/DW (BCD W)	N/A	Pantalla
V1512	Almacena Entrada Analógica 1	BCD W	N/A	Interno
V1537	Registro bandera 2	BCD W	N/A	Interno
V1540	Calibración (Cantidad máxima)	W/DW (BCD W)	N/A	Pantalla
V1542	Calibración (Precisión)	W/DW (BCD W)	N/A	Pantalla
V1544	Entrada Analógica 1 Procesada	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1546	Registro bandera 3	BCD W	N/A	Interno
V1547	Tiempos de ciclos de dosificado	BCD W	N/A	Pantalla
V1550	Aditivo L1 Escalado	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1552	Aditivo L2 Escalado	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1554	Aditivo L3 Escalado	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1556	Registro bandera 7	BCD W	N/A	Interno
V1560	Valor anterior de la Tara	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1562	Valor actual de la Tara	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1566	Acumulado para el Producto 2	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1570	Valor de la Tolerancia del producto 3	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1572	Valor de la Tolerancia del producto 2	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1574	Valor de la Tolerancia del producto 1	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1576	Acumulado para el Producto 2 + la tolerancia	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1600	Acumulado para el producto 3	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1602	Acumulado para el Producto 3 + la Tolerancia	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1604	Tolerancia Producto 1	BCD W	N/A	Pantalla
V1605	Tolerancia Producto 2	BCD W	N/A	Pantalla
V1606	Tolerancia Producto 3	BCD W	N/A	Pantalla
V1610	Consumo Auxiliar P1	BCD W	N/A	Interno
V1612	Consumo Auxiliar P2	BCD W	N/A	Interno
V1614	Consumo Auxiliar P3	BCD W	N/A	Interno
V1620	Consumo Acumulado P2	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1622	Consumo Acumulado P3	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1624	Consumo Acumulado P1	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1730	Registro de variable del 100%	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1732	Avance del proceso en porcentaje	W/DW (BCD W)	N/A	Interno
V1734	Constante de cálculo de porcentaje	W/DW (BCD W)	N/A	Interno



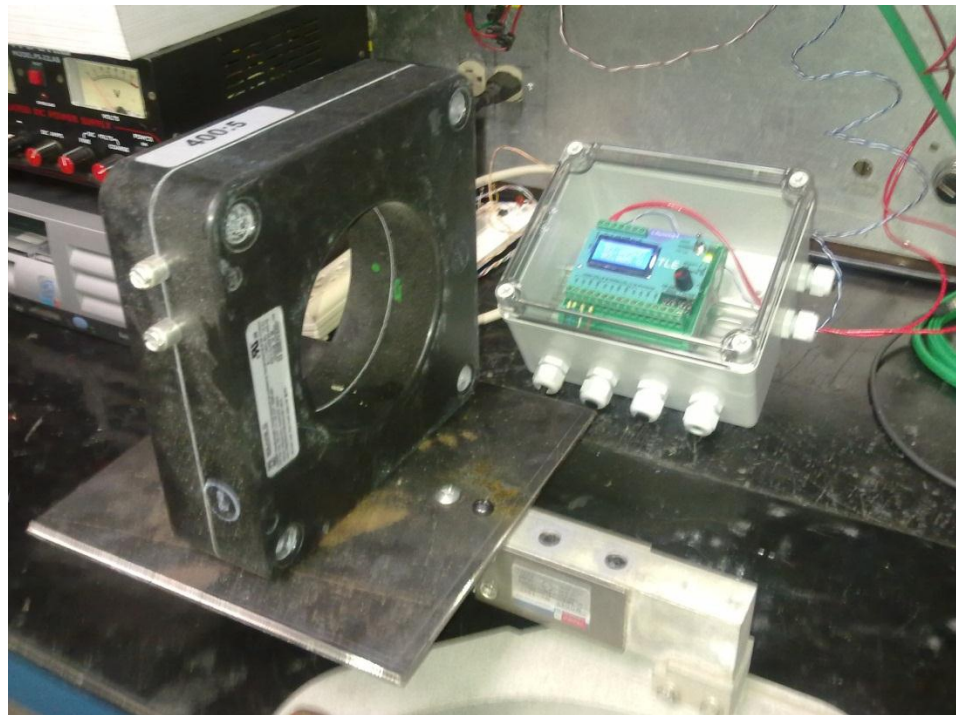
**Figura 6.3** Prueba del sistema de activación de sensores y bombas con leds y dipswitch



**Figura 6.4** Prueba de activación de sensores, bombas y modo automático



**Figura 6.5** Tarjeta TLE en prueba de calibración del control de peso



**Figura 6.6** Peso del 50% de la cantidad máxima a pesar

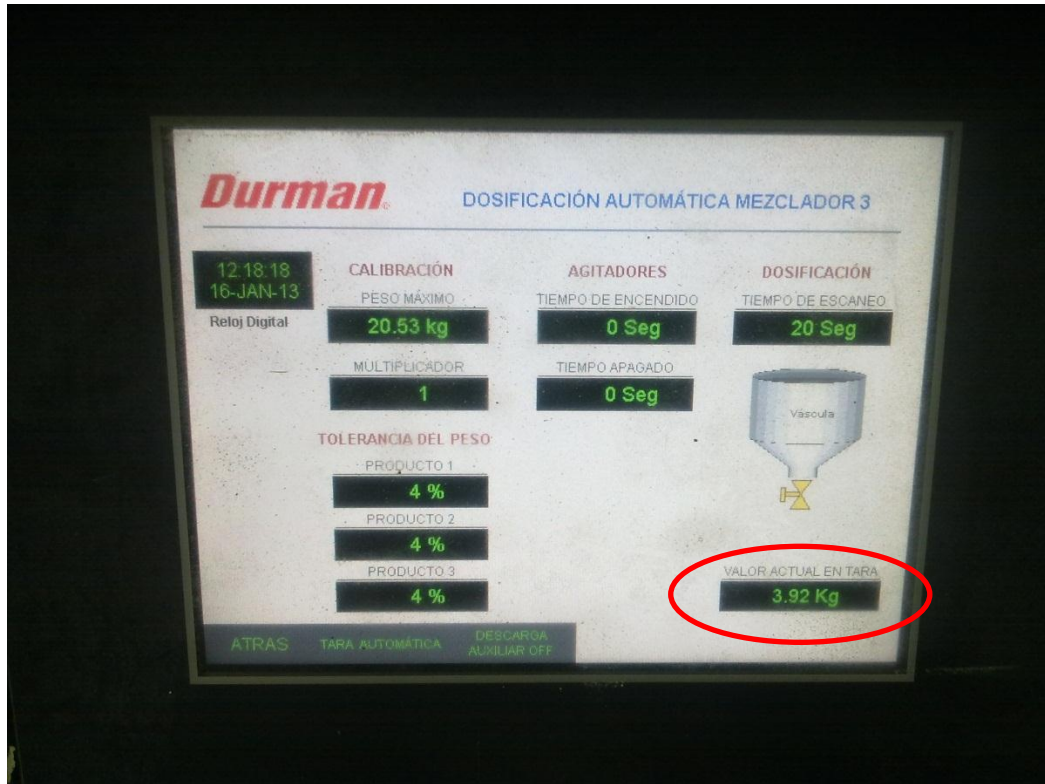


Figura 6.7 Prueba en pantalla del valor de peso del peso del 50 % de la cantidad máxima



Figura 6.8 Prueba con tornillo de metal de 10 gramos

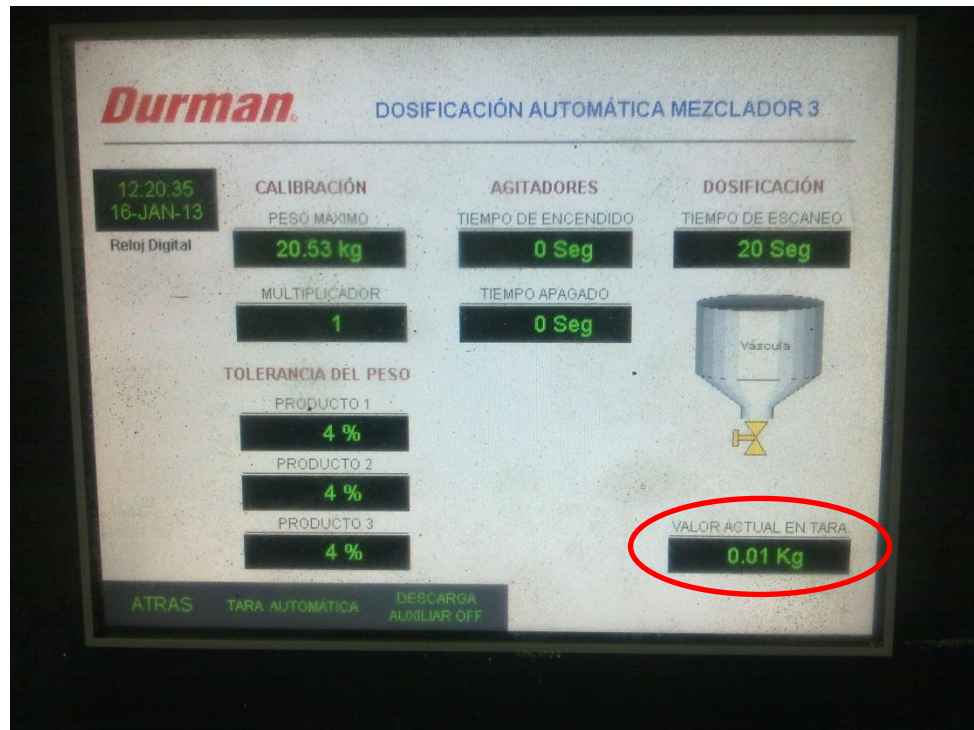


Figura 6.9 Prueba en pantalla del valor de peso del tornillo de 10 gramos

Tabla 6.7 Tabla de resultados del sistema de peso recomendado

Tabla de mediciones de peso						
	<i>Pesos teórico</i>	<i>Peso experimental con una celda</i>	<i>3% Ideal</i>	<i>Diferencia</i>	<i>%</i>	
	<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>Error</i>	
1	15	10	0,45	5	33,33	
2	30	30	0,90	0	0,00	
3	50	50	1,50	0	0,00	
4	95	90	2,85	5	5,26	
5	370	370	11,10	0	0,00	
6	1530	1530	45,90	0	0,00	
7	2210	2210	66,30	0	0,00	
8	3950	3950	118,50	0	0,00	
9	4563	4560	136,89	3	0,07	
10	6160	6160	184,80	0	0,00	
11	7460	7450	223,80	10	0,13	
12	8320	8320	249,60	0	0,00	

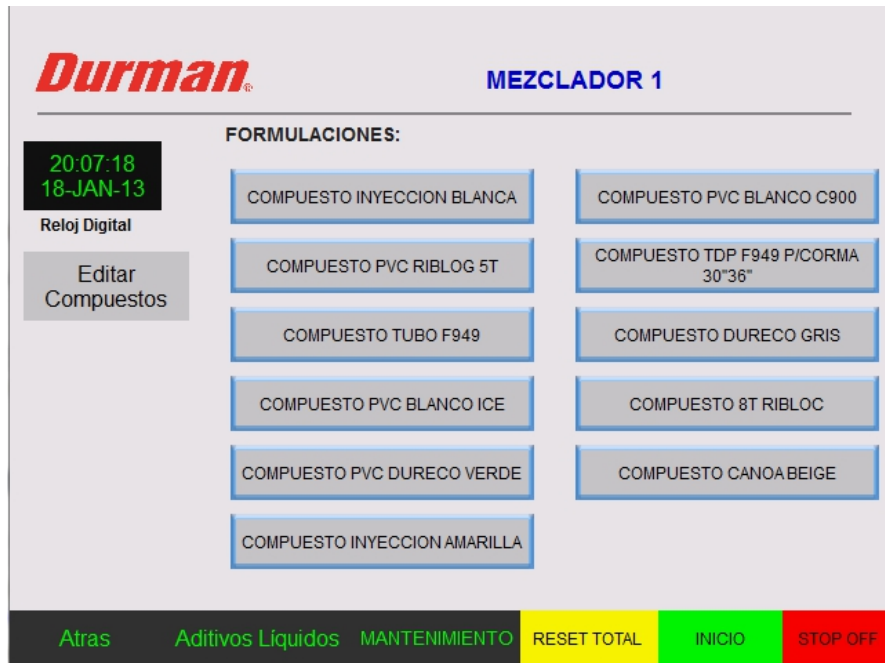


Figura 6.10 Pantalla final de selección de compuestos

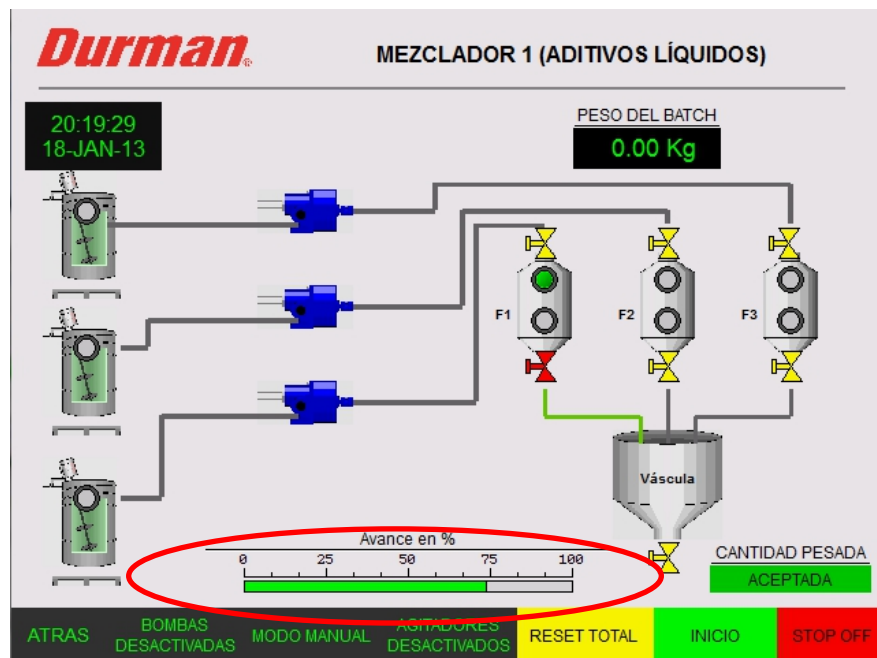


Figura 6.11 Pantalla final de monitorización del proceso

## 6.2 Análisis

Para el sistema de transporte de los aditivos hasta los cargadores se propuso el sistema con bombas de engranajes analizado anteriormente, dado que el fluido que se debe transportar es viscoso, como se puede ver en la tabla 6.1, a continuación se detalla la manera en que fue determinada la presión de la bomba que se requiere para esta aplicación.

Inicialmente se desarrolló la investigación para dar con algunas propiedades e información relevante acerca de los aditivos líquidos, como la densidad bruta y la viscosidad de cada uno, que fue utilizada para realizar los cálculos de dimensionamiento de las bombas y demás accesorios, que se muestran más adelante, esta información ha sido recopilada en la tabla 6.1, donde puede verse además que los aditivos no son explosivos, ni abrasivos, ni corrosivos, lo cual permitió utilizar bombas construidas en materiales estándar, como hierro fundido, aluminio o acero al carbón.

Se desarrollaron los planos a escala del área de mezclado, los cuales se muestran en la figura 6.1 y 6.2, donde se ubicarán los equipos, los mezcladores y demás estructuras propias del mezclado. Una vez desarrollados los planos, se obtuvo la distancia de la altura aproximada a la cual se debe elevar el fluido para llegar hasta los cargadores, como puede verse en el plano de la figura 6.2, esta altura es de 9 m aproximadamente, esta diferencia de altura, los accesorios de tubería, las válvulas, la resistencia del fluido y la tubería lineal entre otros, hacen que la bomba tenga más carga a la hora de realizar la impulsión del fluido, esta carga es conocida en términos de la mecánica de fluidos como la altura manométrica y es calculada en términos de presiones en metros columna de agua (m.c.a). Para determinar esta altura manométrica se deben determinar inicialmente las distancias de tubería lineal, las cuales fueron determinadas con ayuda de los planos antes presentados y las pérdidas de carga por cada accesorio de tubería, dado que para esta aplicación se requiere tubería de acero inoxidable, fue de gran utilidad la tabla de la figura 3.9.

Dado que se requiere de mucha presión y poco caudal por el tipo de aplicación, lo recomendado por el departamento de mantenimiento fue utilizar un tubo de diámetro

pequeño, como lo establecen los manuales de las bombas de engranajes, por lo cual se decidió realizar los cálculos para dos diámetros, a continuación se muestra en la tabla 6.1, los accesorios que se deben utilizar por bomba, el coeficiente de pérdidas de cada uno y la cantidad para abarcar los tres mezcladores.

Para calcular la altura manométrica que debe tener la bomba para que se lleve a cabo el transporte de los fluidos de forma exitosa, se utilizó el método de Hazen-Williams, detallado en el capítulo 3 de este documento, donde una vez teniendo las pérdidas por accesorio, la cantidad de accesorios y la diferencia de altura se sustituye en la ecuación 3.1 como se muestra a continuación en las expresiones 6.1 y 6.2:

$$\text{Total (15mm)}H_m(m. c. a) = 9 + 4 * 0,047 + 15 * 0,32 + 3 * 0,9 + 70 * 0,8 + 2 * 0,421 \quad (6.1)$$

$$\text{Total (20mm)}H_m(m. c. a) = 9 + 4 * 0,073 + 15 * 0,51 + 3 * 0,9 + 70 * 0,9 + 2 * 0,655 \quad (6.2)$$

Los resultados de esta evaluación de las expresiones anteriores, se muestran a continuación en la tabla 6.2, donde se obtiene el total en m.c.a y la conversión a tres unidades de presión estándar para poder comparar con los datos del fabricante de las bombas.

Como puede verse en la tabla 6.2, se requiere una bomba con una capacidad de carga de 73,53 ó 83,95 m.c.a, respectivamente para superar las perdidas por carga, pero debe hacerse la aclaración de que los aditivos líquidos que se deben transportar para esta aplicación no tienen la misma densidad que el agua, de modo que debió realizarse la siguiente conversión para obtener entonces m.c.l (metros columna de líquido), como se muestra en las expresiones 6.3 y 6.4.

$$\text{Se sabe que } 1 \text{ m. c. a} = 9806,65 \text{ Pa} \quad (6.3)$$

$$\text{donde } 1 \text{ m. c. a} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1\text{m} * 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (6.4)$$

Para el cálculo anterior se utilizó la densidad del agua, pero si el aditivo más denso que se debe transportar tiene una densidad de  $1158,5 \frac{Kg}{m^3}$  entonces, se obtiene a continuación la presión que se requiere para este aditivo.

$$1 \text{ m. c. l} = 1158,5 \frac{Kg}{m^3} * 1m * 9,80665 \frac{m}{s^2} = 11361,0 Pa \quad (6.5)$$

$$1 \text{ m. c. a} = 9806,65 Pa * \frac{1}{11361,0 Pa} \text{ m. c. l} = 0,86 \text{ m. c. l}$$

$$73,53 \text{ m. c. a} * \frac{0,86 \text{ m.c.l}}{1 \text{ m.c.a}} = \mathbf{63,23 \text{ m. c. l}} \quad (6.6)$$

Dada las relaciones 6.5 y 6.6, se realizan los nuevos cálculos para ambos diámetros, los cuales se muestran en la tabla 6.3, donde se obtiene de esta forma la presión que la bomba necesita proporcionar para esta aplicación la cual como se puede ver debe ser superior a los 104,2 ó 118,92 psi respectivamente.

En la tabla 6.5, se muestra el mapa de memoria de las variables discretas que se desarrolló para la programación de las rutinas del mezclador 1 en el PLC y para realizar al mapeo de variables en la interface HMI, estas variables discretas son utilizadas para el accionamiento de contactores de motores, electroválvulas, cambio de modo, interface de usuario y banderas discretas internas. En la tabla 6.6, se muestra también el mapa de memoria de registros de palabras de 16 y 32 bits, que fue desarrollado para conocer la ubicación de cada valor almacenado por las rutinas programadas y para separar registros con capacidad para palabras WORD y DWORD.

El desarrollo de este mapa de memoria fue de gran utilidad en la revisión del funcionamiento de las rutinas, ya que en ocasiones se presentaban problemas de inconsistencias de datos, lo cual fue solucionado con hacer una breve revisión de las variables que se estaban programando en las rutinas, esto permitió solucionar errores por sobre escritura de registros, que se daban ya que si el registro en el cual se leía o escribía era por ejemplo el V1650, y este es de 16bits, se puede escoger libremente el V1651 para almacenar otro dato sin problema alguno, pero si el registro V1650, era utilizado para trabajar con palabras de 32 bits, el PLC automáticamente une los registros

V1650 y V1651 para almacenar la palabra, de modo que para almacenar otro valor de interés se debe escoger el registro V1652, o de lo contrario se dará una sobre escritura del valor almacenado en el V1651, alterando la palabra de 32 bits, almacenada en el V1650, este efecto produjo una serie de errores sobre todo en la evaluación de las rutinas de consumo, pero luego fueron corregidos.

Otro error que se presentó en la etapa de revisión del funcionamiento de las rutinas , fue el mal dimensionamiento de algunos registros, esto se reflejó en las rutinas donde era necesario realizar cálculos con las señales analógicas, ya que estas señales por defecto quedan almacenadas en registros de 16 bits, de forma que si requerimos operar estas señales con otros valores de 32 bits, se debe realizar un post almacenamiento de las señales analógicas en registros de 32 bits, aunque solo utilice 16, esto con el fin de poner en cero los otros 16 bits del registro de 32 bits, de modo que al ejecutar una operación matemática entre estos registros los resultados no se vean alterados por trabajar con registros de diferentes dimensiones, permitiendo así operar con valores de 16 bits para obtener resultados que puedan alcanzar los 32 bits.

Para probar el funcionamiento de la activación de bombas mediante los sensores de nivel, dado que no se tiene el ambiente real de instalación de estos ni los sensores seleccionados, se desarrolló una simulación con un circuito de led, como se muestra en la imagen de la figura 6.3, donde los led de color verde representan las válvulas de carga de los alimentadores, los de color amarillo representan las bombas, los de color rojo representan las válvulas de descarga de los alimentadores hacia la báscula y el único led de color amarillo al final representa la válvula de descarga de la báscula. Para simular la activación y desactivación de los sensores, se utilizó el dip switch que se muestra en la figura 6.3, donde 1, 2, 3, 4, 5 y 6, representan S1F1, S2F1, S1F2, S2F2, S1F3 y S2F3 respectivamente.

Durante la simulación no hubo ningún inconveniente, el sistema de control se comportó como se esperaba, en el momento que se activó S1F1, el sistema no tubo cambio alguno sino hasta que se activó S2F1, en ese momento se encendieron los leds correspondientes a la válvula de descarga del alimentador 1 y se activó la bomba 1

también, luego al desactivar S2F2 los leds continuaron encendidos hasta que se desactivó S1F1, en ese momento el sistema de carga apagó los led en señal de que la carga del alimentador es suficiente. No fue necesario realizar alguna modificación o corrección al sistema original.

Para comprobar el funcionamiento del modo manual y automático, se instalaron los módulos Laumas WL30000, como se muestra en la figura 6.4, los cuales ha utilizado Durman durante varios años para prácticamente todas las aplicaciones de mediciones de peso, a estos módulos se les instaló una celda de carga a cada uno para simular la carga de resina y carbonato de dos mezcladores. La prueba consistió en poner el sistema en modo automático y dar inicio a la dosificación, luego en los módulos de peso WL30, se cargó una de las 9 fórmulas programadas previamente y al presionar el botón de inicio en el módulo WL30, se debía ejecutar la sincronización de inicio entre ambos sistemas. El resultado fue exitoso, efectivamente se daba una sincronía entre la carga de resina de los WL30 y las rutinas de carga de aditivos del PLC, ya que al accionar el botón de inicio en el WL30, este activa las salidas de relé que posee y con esto se envía una entrada de 24VDC al PLC que le sirve de bandera de inicio.

Para evaluar el funcionamiento de una de las partes más importantes del sistema, que corresponde al sistema de control de peso, se utilizó la calibración de fábrica del instrumento Laumas TLE, mediante la cual se logró amplificar la señal de las celdas de carga con una ganancia de 1000, alcanzando un valor de salida para el PLC de 0,083 VDC con una entrada de 0,083 mVDC como se muestra en la figura 6.5. Es importante resaltar la gran estabilidad con que la tarjeta TLE transmite la señal hacia el PLC, a pesar de que se comprobó que tiene una sensibilidad de menos de 10 g, con una precisión de 0,001 mV, para la celda de carga y para el PLC de 0,001V. Estos resultados no serían suficientes si se tratara de diseñar una balanza analítica, donde 10 g, sería una cantidad muy grande como para aceptarla por mínima división, pero para esta aplicación de automatización, se requiere pesar cantidades mucho más grandes, que van desde 1,2 hasta 8,5Kg, y las formulaciones establecidas por el Ingeniero Químico encargado y el departamento de producción de Durman, no requieren de una

precisión mayor a 0,01 Kg ya que cualquier diferencia que se diera en cifras menores a esta, no tendría ningún efecto sobre el resultado final y la calidad del compuesto.

Se realizaron una serie de mediciones de varios pesos, para comparar los resultados de las mediciones hechas por el sistema de peso recomendado para este proyecto, contra los resultados obtenidos por una balanza de alto costo de las que se utilizan actualmente en Durman. Inicialmente se desarrolló una estructura estable para colocar una lámina de metal sobre la celda de carga, para poder colocar los pesos sobre esta y simular una báscula, luego como se muestra en las figuras 6.6 y 6.7, se realizó la calibración del sistema, utilizando para esta el peso de una “Dona” como se le conoce a este dispositivo capaz de medir altas corrientes bajo el principio de Ley de Ampere, cuyo peso alcanzó aproximadamente el 50% del peso total que se cargará en la báscula, resultando así un peso aceptable para la calibración de prueba.

En la tabla 6.7, se muestran los resultados de 12 de las mediciones realizadas, donde se puede ver que se inicia con un peso teórico de 15g, correspondiente a un tornillo de aluminio como se muestra en la figura 6.8, pero debido a la resolución permitida por el módulo de entradas analógicas del PLC, en la pantalla solo se muestra la cantidad de 0,01Kg como se muestra en la figura 6.9, donde lo correcto sería 0,015Kg, pero como se explicó anteriormente los 5g son insignificantes para esta aplicación, se realizaron más mediciones con pesos pequeños como el anterior para comprobar la sensibilidad del sistema.

Posteriormente se desarrollaron mediciones con pesos mayores, similares a los requeridos por los aditivos, para obtener una proyección de la realidad, con la cual se obtuvo un porcentaje de error promedio de 0.024%, considerado como muy aceptable considerando además que el porcentaje de error recomendado por el departamento de producción fue de un 3% de la cantidad a dosificar.

La recomendación de esta tarjeta transmisora de peso, resultó ser para Durman la solución para implementar un sistema pesaje de gran precisión y de muy bajo costo en comparación a los demás sistemas que les ofrece comúnmente el mercado, ya que

según la coordinación de mantenimiento de Durman, este sistema de peso será implementado no solo en la automatización de los aditivos líquidos, si no en todos los demás sistemas de peso existentes en las plantas de Durman Costa Rica y Latinoamérica.

Para evaluar el funcionamiento total del sistema, se cargaron todas las 12 recetas de los compuestos destinados para la automatización, donde a través de unos display de monitoreo designados en la pantalla para este fin, como los que muestran en la figura 5.38, se comprobó que efectivamente se cargaran los datos en los registros designados. Posteriormente probó la secuencia de funcionamiento de las máquinas de estados para cada una de las recetas, obteniendo como resultado un funcionamiento correcto de las mismas y una óptima comunicación PLC-HMI, además se determinó el comportamiento del sistema ante posibles situaciones de conflicto para el sistema, como las citadas a continuación:

- Accionar el botón de inicio varias veces: Ante esta situación el sistema solo reconoce una y comienza la actividad con normalidad, al igual que si es accionado mientras está en funcionamiento.
- Activar paro de emergencia: Ante esta situación el sistema paralizó todas sus funciones y cambió el modo de funcionamiento del PLC de modo RUN a STOP, como se tenía previsto.
- Cargar otra receta mientras el sistema está en funcionamiento: Si otra receta diferente a la que el sistema ya está trabajando, se alteran los registros internos donde se almacenan las recetas ya que estos valores son trabajados en tiempo real por el PLC, produciendo una mezcla de productos entre los de la receta anterior y la actual. De modo que debe hacerse la salvedad en el manual del usuario.
- Cambiar los tiempos de agitación en pleno funcionamiento y tiempo de escaneo del sistema: Si el usuario decide cambiar los tiempos de encendido y apagado de

los agitadores mientras el sistema está en funcionamiento, no sucede ninguna anomalía, simplemente el sistema cambia los parámetros en tiempo real y continua su función con los nuevos parámetros.

- Utilizar tolerancias menores al 2%: Si se utilizan tolerancias más bajas de este margen para trabajar con cantidades superiores a los 2 Kg, el sistema tarda un poco más en estabilizar la medición pero la concreta, pero si la receta que carga trabaja con cantidades más pequeñas, la estructura mecánica para la cual ha sido diseñado no le permite concretas la dosificación con éxito, al activar de forma constante la alarma de FUERA DE RANGO, debido a que las válvulas y dimensiones de las tuberías de descarga con la que ha sido dimensionado, no le permiten alcanzar tal precisión en la dosificación que necesita para cumplir con esta tolerancia. De modo que debe hacerse la salvedad en el manual del usuario.

Para fines de confidencialidad de las formulaciones de los compuestos, fue necesario realizar algunos cambios en la programación de la interface de pantalla, principalmente en la pantalla de selección de los compuestos, donde se cambió el sistema existente en el cual el usuario podía ingresar directamente al recetario para cargar el compuesto por la pantalla que se muestra en la figura 6.10, donde el usuario cuenta con un botón para cada compuesto y nunca tiene relación directa con las formulaciones de los compuestos.

También se realizaron cambios en la pantalla de monitorización del proceso, la cual se muestra en la figura 5.41, donde fue necesario sustituir el display donde se mostraba al usuario el peso actual en la tara para poder visualizar el avance del proceso en términos de peso, por una barra de avance total del proceso en términos del porcentaje total, la cual se muestra en la figura 6.11 y permite al usuario conocer el avance del proceso sin necesidad de conocer cuanta cantidad fue dosificada.

Después de varias repeticiones y dosificaciones experimentales, se comprobó que el sistema cumple a cabalidad con los requerimientos de la empresa y para los cuales fue diseñado, realizando una dosificación de forma segura y efectiva, respetando el margen

de tolerancia mínimo recomendado del 3% para cada aditivo, evitando el desperdicio y la contaminación de los aditivos y lo más importante, desarrollado bajo un con un diseño que es funcional comprobado que permitió optimizar al máximo los recursos de la empresa.

## Capítulo 7 . Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- La dosificación por peso, resultó ser la forma más precisa y económica para limitar las cantidades de aditivos que de acuerdo a las formulaciones, deben ser adicionadas al mezclador.
- La dosificación por peso puede ser utilizada para cualquier tipo de sustancia, no depende de las propiedades físicas o químicas de la misma.
- Se necesita de un acondicionador de señal para utilizar celdas de carga con el módulo de entradas analógicas del PLC.
- Las bombas de engranajes debido a que pueden manejar poco caudal y mucha presión, resultaron ser los mejores impulsores para el transporte de los aditivos líquidos viscosos.
- La presión requerida por la bomba de engranajes para elevar los aditivos desde el nivel del piso hasta los cargadores debe ser mayor a 104 psi.
- La tarjeta Laumas TLE logró amplificar las señales de las celdas de carga con una ganancia de 1000.
- Con la tarjeta Laumas TLE, las celdas de carga y la estructura de prueba construida, se logró obtener una sensibilidad de 10g, con una precisión de salida para el PLC de 0,001V.

- Con el sistema de control de peso recomendado en conjunto con el PLC y la interface HMI, se logró obtener una precisión de 0,01Kg, la cual resultó suficiente para esta aplicación.
- El porcentaje de error obtenido a raíz de las pruebas y mediciones desarrolladas fue de 0,024% el cual es 125 veces menor al 3% de error permitido por el departamento de producción.
- Se deben utilizar tolerancias mayores al 2%, para garantizar que el ciclo de dosificación se concrete de forma correcta.
- El diseño desarrollado y la implementación de muestra del sistema, cumplió con los requerimientos de la empresa, respetando el margen de tolerancia mínimo.
- El diseño de automatización total seleccionado se encuentra dentro de los recursos económicos disponibles por la empresa para este proyecto.

## **7.2 Recomendaciones**

- La incorporación de un sistema de recolección de datos de las fechas, horas y cantidad de batch producidos, para luego ser transmitidos por medio de una red inalámbrica, a un servidor donde se pueda acceder a estos datos y verificar los resultados desde las oficinas.
- Incorporar el control de los mezcladores al control del sistema de dosificación de aditivos menores, para tener todo integrado y controlado por un único sistema con una única pantalla para cada mezclador.
- Adicionar un sistema de monitorización de consumo eléctrico, para cada mezclador, capaz de cargar los datos en un servidor y que se puedan acceder desde las oficinas.

## Bibliografía

- [1] Policloruro de vinilo. Recuperado el 20 de agosto del 2012 de <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>
- [2] Asociación Argentina del PVC. El PVC en el Packaging. Ciudad de Buenos Aires. Abril, 2002.
- [3] Andrés Córdoba Uribe, Jorge A. Medina Perilla. Revista Iberoamericana de Polímeros. Optimización de formulaciones de PVC flexible. Vol 9. 2009
- [4] Arkema. Plastic Additives Applications Development and Technical Services King of Prussia, PA. Introducción a Formulaciones de PVC, 2002.
- [5] ASTM International. (2000). Standard test method for measuring the angle of repose of free-flowing mold powders. ASTM C 1444-00. Annual book of ASTM standards.
- [6] Dr. Federico Rivero Palacio. Mecánica de fluidos, Instituto Universitario de Tecnología. Setiembre 2008.
- [7] Sistemas Hidroneumáticos s.a. Manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistemas de bombeo.
- [8] Dayso corp. Tabla de pérdidas de carga en piezas. Recuperado el 3 de Setiembre del 2012 de <http://daysocorp.com/perdidas.html>
- [10] Transporte neumático. Recuperado el 20 de setiembre del 2012 de [http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Transporte\\_Neumatico.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Transporte_Neumatico.pdf)

- [11] Juan Pablo Carvallo, René Vargas. Válvulas de Solenoide, Universidad Técnica Federico Santa María. Junio 2003.
- [12] Bruno Bellini. Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la poturografía, Universidad de la República. 28 de abril 2009.
- [13] W. Bolton, Controladores Lógicos Programables, 4th Edición, 2006.
- [14] Controlador Lógico Programable, Cap. 4. Recuperado el 8 de octubre del 2012 de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/maza\\_c\\_ac/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf)
- [15] Creus Solé Antonio, Instrumentación Industrial, 6ª edición, Marcombo S.A, 1997
- [16] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales, 5ª edición. Mexico, 1999.
- [17] Raúl Cobo, El ABC de la automatización. Recuperado el 15 de Noviembre del 2012 de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>
- [18] Automation Direct, DL205 PLC User Manual, Vol. 1. Abril, 2010.
- [19] Automation Direct, DL205 Analog I/O Modules Manual Number D2-ANLG-M. 7<sup>th</sup> Edition. Abril, 2010.

# Apéndice

## A.1. Glosario

**Ethernet:** Estándar de la capa física del modelo OSI, que brinda servicios de transmisión de datos en redes LAN.

**Modbus:** Protocolo de la capa de aplicación que proporciona comunicación cliente/servidor entre dispositivos conectados a diferentes tipos de redes o buses.

**PVC:** poly (vinylchloride)

**IP67:** Estándar de protección internacional de la norma IEC 60529, de grados de protección en eléctricos y electrónicos. IP: International Protocol, 6: Nivel de protección al polvo, 7: Nivel de protección a líquidos.

**Baud Rate:** Tasa de Baudios, donde un Baudio puede contener varios Bits.

**Ladder:** Lenguaje de programación en escalera de controladores lógicos

**Tag:** Referencia a una dirección de una señal que debe ser monitorizada o evaluada.

**Feeder:** Alimentador

**Word:** Palabra binaria compuesta por 16 Bits

**Dword:** Palabra binaria compuesta de 32 Bits

## A.2 Abreviaturas

**HMI:** Human Machine Interface

**PLC:** Programmable Logic Controller

**CPU:** Central Processor Unit

**UC:** Unit control

**OPC:** Ole for Process Control

**BOM:** Bill Of Material

**PE:** Plástico polietileno

**DPE:** Plástico Polietileno de alta densidad

**MOPD:** Máximo diferencial de Presión de Operación

**MinOPD:** Mínimo diferencial de Presión de Operación

**CC:** Corriente Continua

**CA:** Corriente Alterna

**NC:** Normalmente Cerrado

**GPM:** Galones Por Minuto

**RTU:** Remote Terminal Unit

**PID:** Proporcional Integral Derivativo

**ALU:** Unidad Lógica Aritmética

**ROM:** Memoria solo de lectura

**RAM:** Memoria de acceso aleatorio

**A/D:** Analógico a Digital

**D/A:** Digital a Analógico

**E/S:** Entradas y Salidas

**IBC:** Intermediate Bulk Container

**BCD:** Decimal Codificado a Binario

**RISC:** Reduced Instruction Set Computer, utilizado en CPU y microcontroladores.

**USB:** Universal Serial Bus

**m.c.a:** Metros Columna de Agua

### **A.3 Manual del Usuario**

---

# **M**ANUAL DEL USUARIO

PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE ADITIVOS LÍQUIDOS

***Durman***<sup>®</sup>

---

## CONTENIDO

Introducción.....	3
Capítulo 1: Primeros pasos.....	4
Capítulo 2: Ubicación y cableado.....	5
Capítulo 3: Carga de archivos en el PLC y pantalla.....	11
Capítulo 4: Calibración del sistema de control de peso.....	12
Capítulo 5: Funcionamiento el sistema.....	18
Capítulo 6: Posibles fallos.....	24

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de este sistema de dosificación automática para aditivos líquidos, se llevó a cabo con el fin de solucionar los problemas de exactitud en las mediciones de peso de las cantidades de aditivos que deben ser preparadas y suministradas día a día por los operarios, además se pretende erradicar el desperdicio que se produce por la manipulación de los aditivos mientras estos son pesados por el operario.

Este sistema se basa en una red de tres sistemas electromecánicos con la capacidad de cargar, pesar y suministrar de forma automática la cantidad requerida según la receta escogida por el usuario.

En este documento se pretende instruir al lector, acerca de las pautas fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, así como la forma de operación del mismo.

# CAPÍTULO 1

## PRIMEROS PASOS

Antes de iniciar con la instalación, es necesario asegurarse de contar con el siguiente equipo:

- 18 Electroválvulas de acero inoxidable con conexiones NPT hembra para 3/8" de diámetro.
- 3 Electroválvulas de acero inoxidable con conexiones NPT hembra para 1" de diámetro.
- 3 bombas de engranajes con motor eléctrico, válvula de alivio y con capacidad de descarga no menor a 125 psi.
- 6 celdas de carga con capacidad para trabajar con cargas no mayores a 100Kg
- 3 Agitadores con motor eléctrico, con propela y eje contruidos en acero inoxidable.
- 6 contactores monofásicos con tensión de control de 24VDC
- 18 sensores de nivel de señal de salida discreta, de 120/240VAC.
- 3 Tarjetas de transmisión de peso Laumas TLE
- 3 Pantallas táctil EA7-T8C
- 1 PLC Koyo DL205 Equipado con los siguientes módulos:

1 módulo CPU DL250-1/DL260  
1 módulo D2-16ND3-2  
1 módulo F2-04AD-2  
2 módulos D2-16NA  
3 módulos D2-12TR

- 1 Fuente de 24VDC para PLC
- 1 Cable EA-2CBL de puerto RJ-12 a RS232C
- 3 Cables con terminales Ethernet en ambos extremos

Recuerde además, que debe colocarse el equipo de seguridad apropiado antes de comenzar con la instalación:

-Lentes de protección

-Zapatos de seguridad

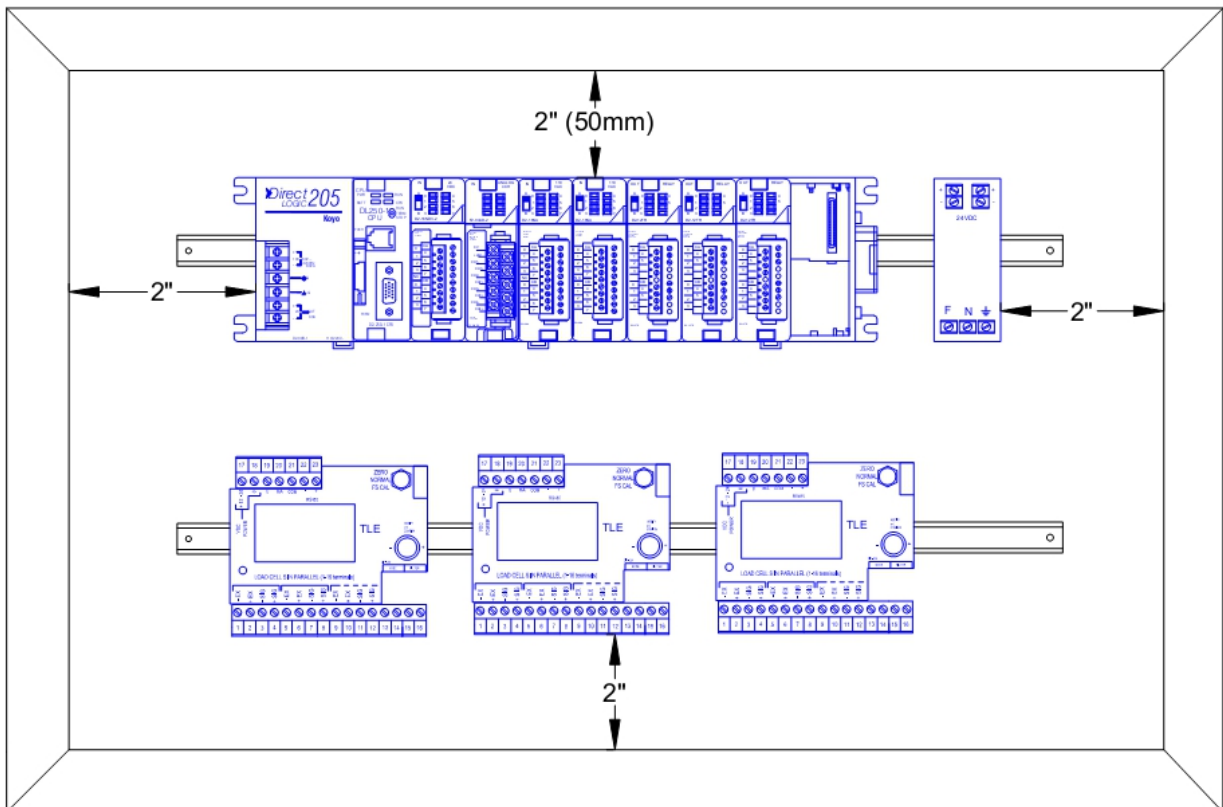
-Tapones en caso que sea necesario (Ruido mayor a 80dB)

## CAPÍTULO 2

### UBICACIÓN Y CABLEADO

#### Instalación física del PLC y accesorios

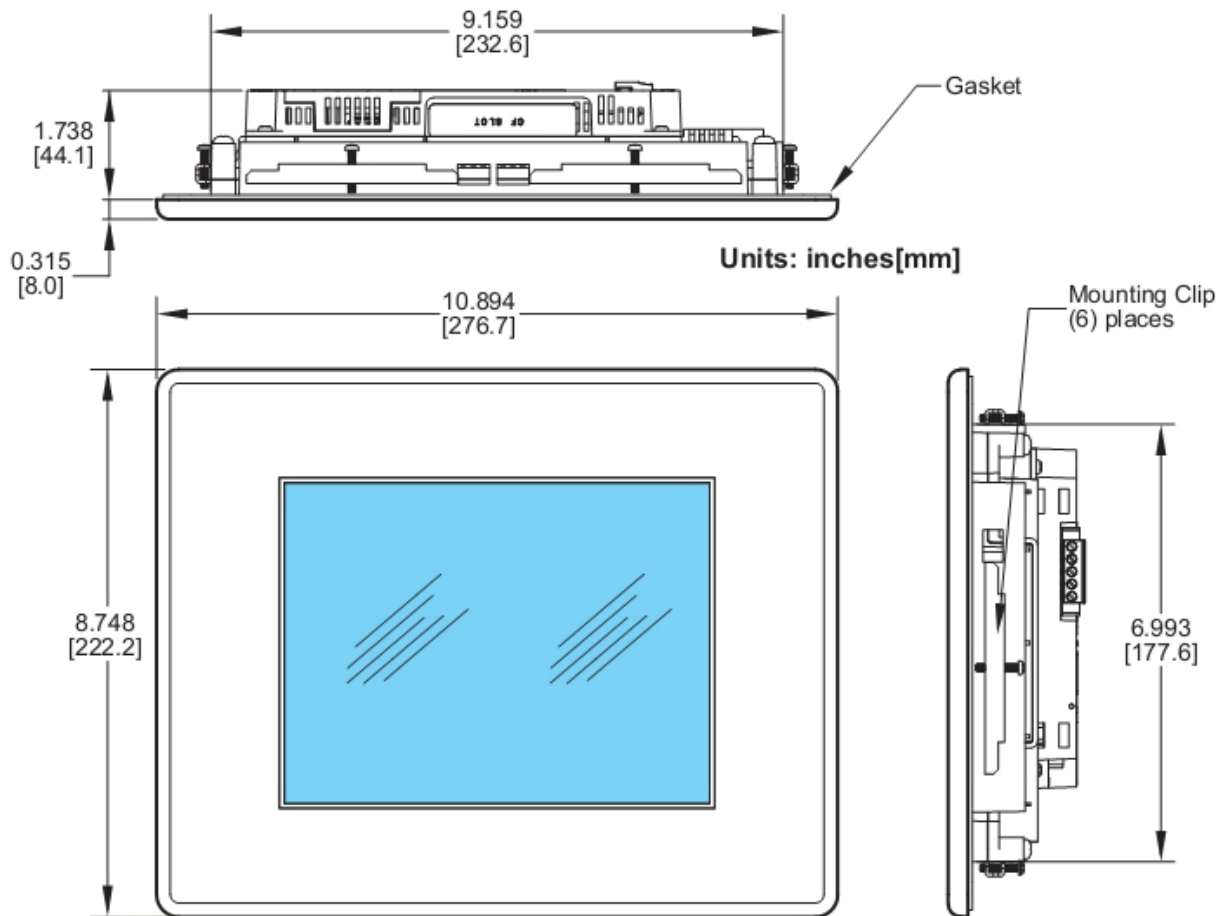
Para realizar la instalación de los componentes de forma correcta, se deben consultar los planos eléctricos que se adjuntan al final de este documento, donde se detalla la conexión para cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos para cada uno de los tres mezcladores. Para la instalación física del PLC y las tarjetas transmisoras de peso TLE, se recomiendan las medidas que se muestran a continuación en la figura 1, estas distancias permiten que el aire pueda circular a través de las ranuras de ventilación de los módulos del PLC, con libertad, de forma que estas medidas podrán variar siempre y cuando sea de forma ascendente.



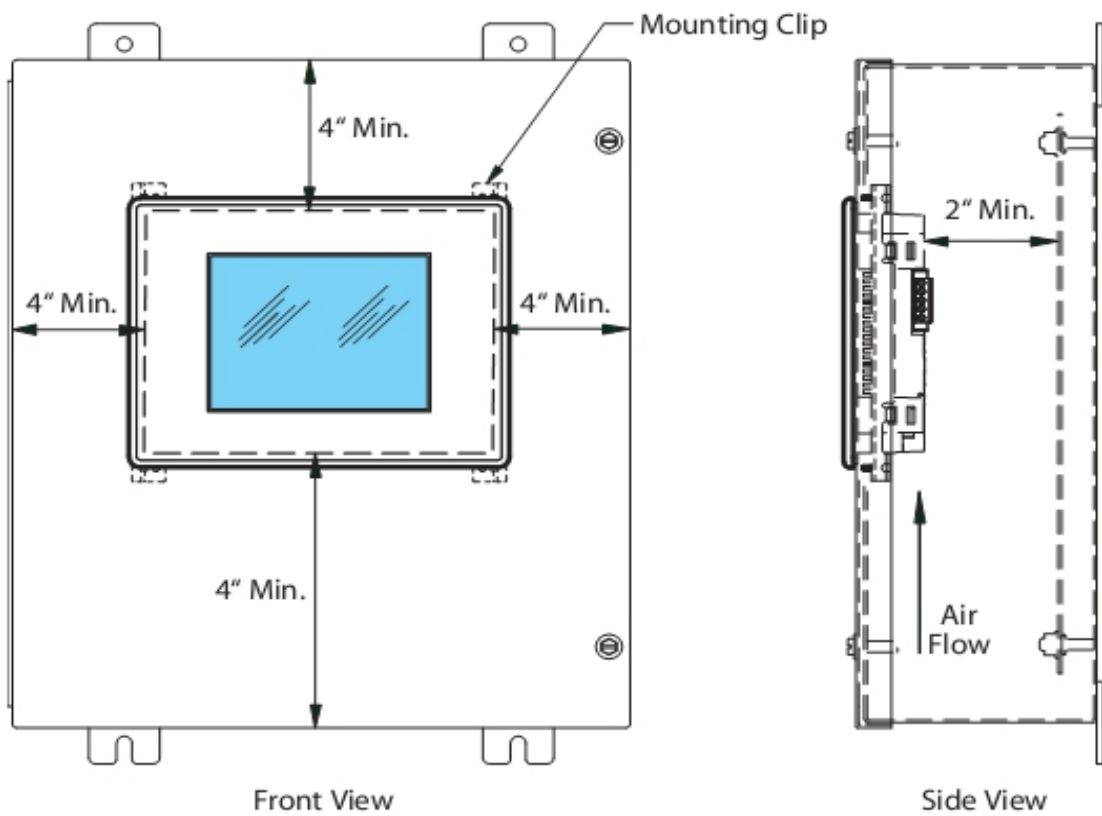
**Figura 1.** Medidas recomendadas para el gabinete de control

Las pantallas EA7-T8C como la que se muestra en la figura 2, se recomienda instalarlas también en gabinetes separados con la medidas que se muestran en la figura 3, de igual forma se deben respetar las medidas que se indican en el plano con el fin de garantizar la correcta ventilación y por ende la disipación de potencia adecuada de los componentes internos.

De modo que se recomienda la variación de estas medidas siempre y cuando sea en función de aumentar el espacio, nunca disminuirlo.

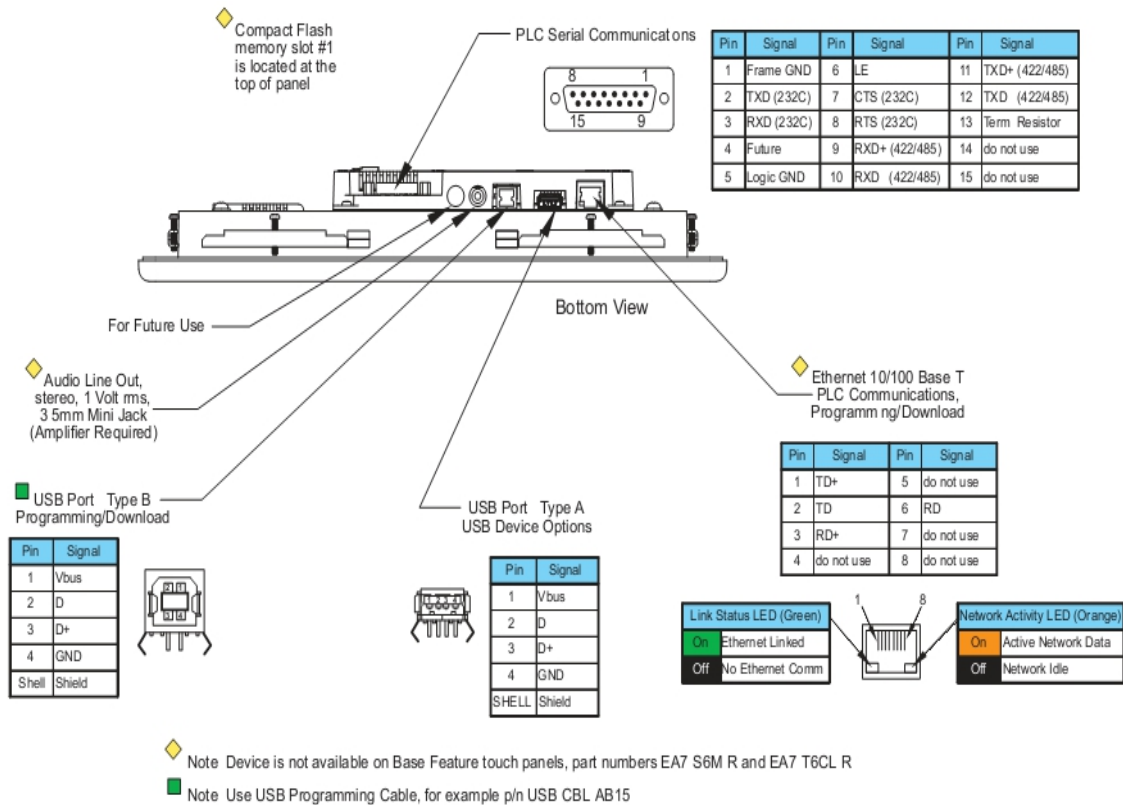


**Figura 2.** Dimensiones de la pantalla EA7-T8C



**Figura 3.** Medidas recomendadas para el gabinete de la pantalla

Esta pantalla cuenta con varios puertos que son utilizados para comunicación con el PLC, comunicación entre pantallas y para programación. En la figura 4 se detalla cada uno de estos puertos, a fin de facilitar al usuario la visualización y ubicación de los mismos para efectos de instalación.

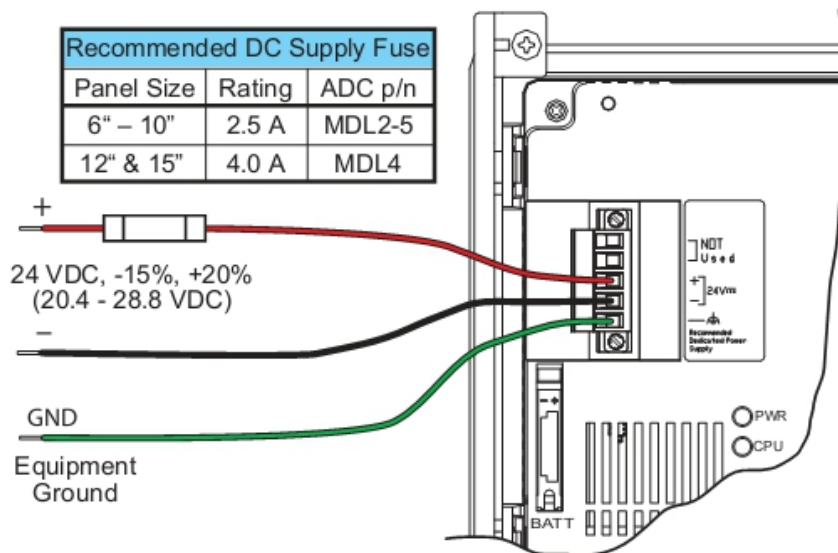


**Figura 4.** Puertos de comunicación de la pantalla

Para lograr visualizar el trabajo que realiza el PLC y establecer control de forma amigable con el sistema, es necesario conectar las pantallas al PLC, en primer lugar se debe realizar la conexión eléctrica respectiva para proveer de alimentación y protección a la pantalla, como se muestra en la figura 5, donde se deben de conectar los tres cables de forma correcta en cada terminal, utilizando el fusible recomendado en la imagen para evitar que se dañe el sistema por sobrecargas, cortos circuitos accidentales o propios de daños en la pantalla.

No se debe dejar suelto el cable verde de tierra, ya que este ayuda a proteger al sistema y a quien lo manipule de posibles descargas eléctricas ocasionadas por daños en la pantalla o malas manipulaciones por parte del usuario.

Una vez desarrollada de forma correcta la instalación se procede a comprobar su funcionamiento, al aplicar la tensión respectiva a los terminales instalados, en ese momento la pantalla debe encender el mensaje de que está cargando la programación y tras 20 segundos de carga inicial, se visualizará la interface del sistema de dosificación. Si tras aplicar la tensión de alimentación a la pantalla



no se visualiza ningún mensaje y no inicia al pasar los 20 segundos debe desconectar la alimentación y revisar la conexión.

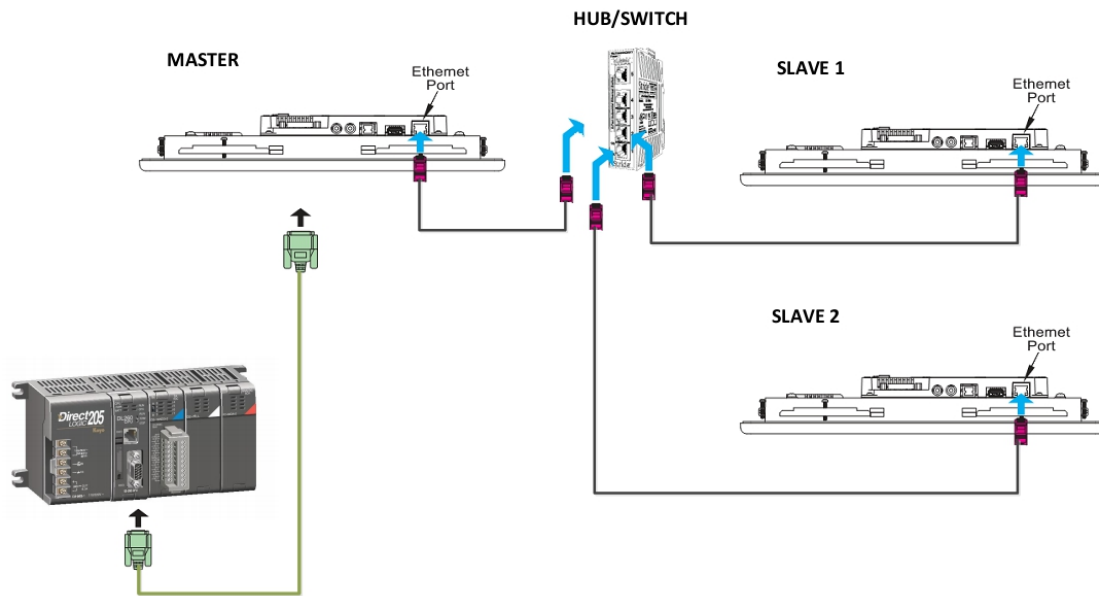
**Figura 5.** Conexión eléctrica de la alimentación de la pantalla

### Conexión de la red de pantallas

Para realizar la comunicación entre las tres pantallas y el PLC, se creó una red de pantallas conformada por 1 master y 2 Slave, como la que se muestra en la figura 6, permitiendo de esta forma que las dos pantallas Slave puedan comunicarse con el PLC a través de la pantalla master, permitiendo así que cada mezclador tenga su propia interface de control de proceso, aunque todos trabajen con el mismo controlador, para poder desarrollar diferentes dosificaciones en cada mezclador sin problemas de choque de señal.

Para realizar dicha conexión, se necesita utilizar un Hub o Switch para multiplexar las señales de las dos pantallas Slave. Para iniciar con la conexión se debe conectar la pantalla destinada como master al PLC utilizando el cable EA-2CBL-1 a través del puerto VGA del PLC por RS232, luego se debe conectar un extremo del cable Ethernet al puerto respectivo de la pantalla master y el otro extremo del cable en el puerto 1 del hub o switch Ethernet. Una vez realizada la conexión de la pantalla master, se procede a conectar la primer pantalla Slave, la cual debe conectarse a través de otro cable Ethernet al

puerto 2 del hub o switch y de igual manera se debe conectar la segunda pantalla Slave a través de otro cable Ethernet al puerto 3 del hub o switch y de esta forma queda ensamblada la red de pantallas para los tres mezcladores.



**Figura 6.** Diagrama de conexión de la red de pantallas

## **CAPÍTULO 3**

### **CARGA DE ARCHIVOS EN EL PLC Y PANTALLAS**

Una vez terminada y verificada la instalación eléctrica de cada uno de los componentes del sistema, incluida la red de pantallas vista anteriormente, se realiza la programación del software controlador en el PLC y la interface del controlador en cada una de las pantallas. Para desarrollar este proceso se debe abrir y cargar en el PLC el archivo denominado como Dosificación\_automática.PRJ, este archivo contiene el programa completo que controla la sincronización de todos los componentes del sistema automático.

Una vez cargado el programa de control en el PLC, se procede a cargar el controlador para cada una de las tres interfaces para el usuario, para cada una de ellas existe un archivo que debe ser cargado según la configuración vista en el capítulo anterior, de modo que para el master se debe cargar el archivo HMI\_LIQ\_Master.eap y para las dos pantallas Slave se deben cargar los archivos HMI\_LIQ\_Slave1.eap y HMI\_LIQ\_Slave2.eap respectivamente.

Realizada de forma exitosa la carga de estos archivos en los equipos respectivos, el sistema queda listo para comenzar con la introducción de parámetros de control y puesta en marcha del sistema automático de dosificación.

## CAPÍTULO 4

### CALIBRACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE PESO

Para calibrar el sistema de control de peso, en primera instancia es necesario verificar el correcto funcionamiento de las celdas de carga y las tarjetas transmisoras de peso, para esto se deben seguir una serie de pasos que se muestran a continuación:

- Verifique que la longitud de los cables de las celdas de carga hasta la tarjeta TLE, no supere los 300m.
- Verifique que los planos de apoyo de las celdas de carga estén nivelados y suficientemente rígidos.
- Verifique el estado de las celdas de carga antes de instalarlas, obteniendo el valor de la resistencia entre el hilo de la señal positiva y el de la señal negativa y comparándolo con el que se especifica en la hoja de datos de la celda como resistencia de salida.
- Verifique que la malla de aislamiento de las celdas de carga esté debidamente conectado a la tierra del circuito.
- Verifique que la alimentación de las celdas de carga esté dentro del indicado en la hoja de datos del fabricante.
- Verifique que el transmisor de peso esté debidamente alimentado y esté encendido el LCD color azul.
- Verifique que las celdas de carga estén conectadas al transmisor de peso como lo indican los planos eléctricos
- Verifique que la tara esté suspendida o sujeta únicamente por las celdas de carga, esta no debe estar inclinada o desbalanceada.
- Verifique que aplicar una pequeña fuerza hacia abajo sobre la tara el transmisor de peso comienza a variar los números que muestra en el LCD.
- Verifique que la tara esté completamente vacía y limpia, sin acumulaciones de ningún tipo de material.

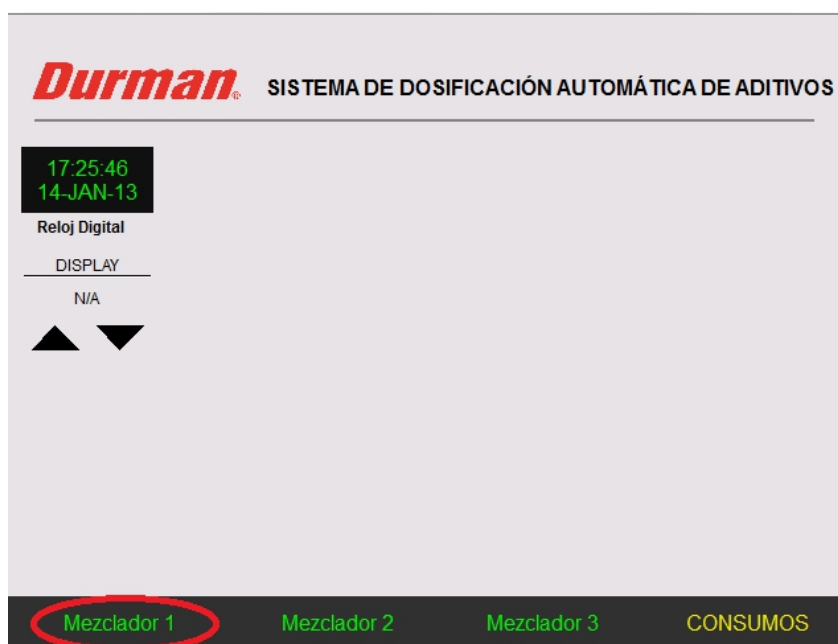
Una vez ejecutadas las recomendaciones anteriores, se procede a dar inicio con la calibración del sistema como se indica a continuación:

La calibración de este sistema de control de peso se ejecuta haciendo uso de la linealización interna que se ha programado para el PLC.

## CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

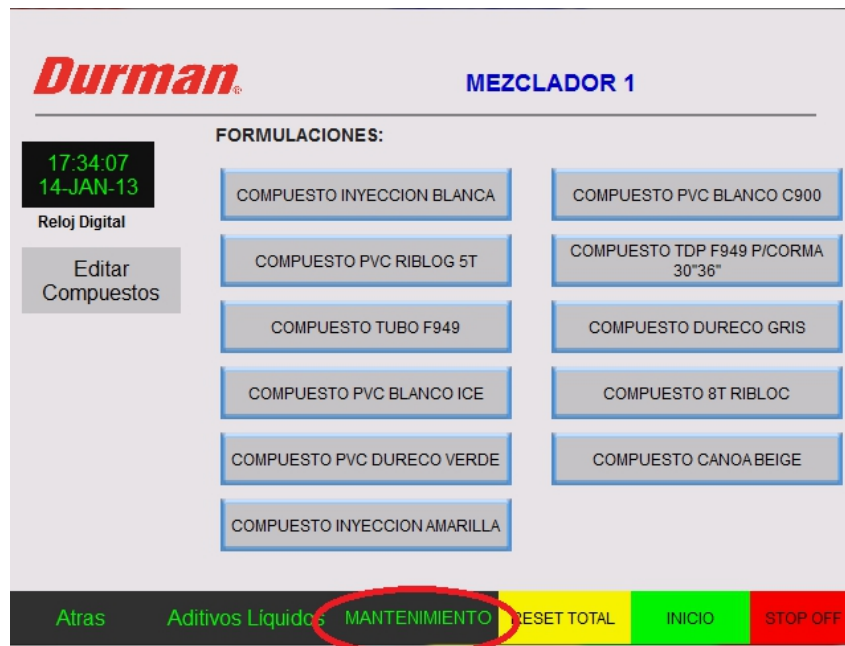
Con este método lo que se hace es introducir ciertos parámetros de interés para el algoritmo de linealización de los módulos de entradas analógicas, a continuación se sugieren una serie de pasos para llevar a cabo esta calibración:

- En primera instancia encendemos el sistema y aparecerá la pantalla principal, la cual se muestra en la figura 7.



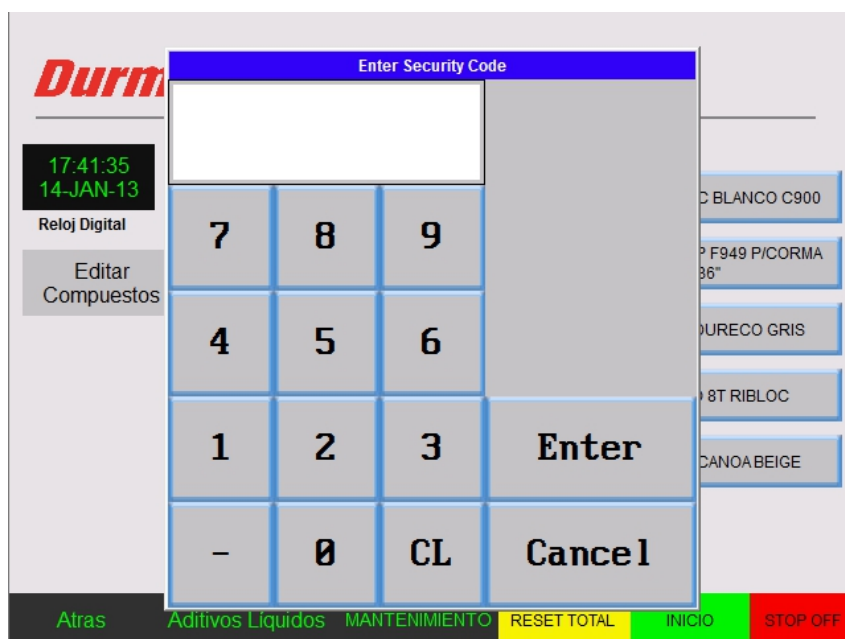
**Figura 7.** Pantalla principal del sistema de dosificación automática

- En esta pantalla tocamos el botón del mezclador que deseamos calibrar y de inmediato aparecerá la pantalla de escogencia de formulaciones que se muestra en la figura 8, en la cual se debe presionar el botón de MANTENIMIENTO para acceder a los parámetros de privilegio.



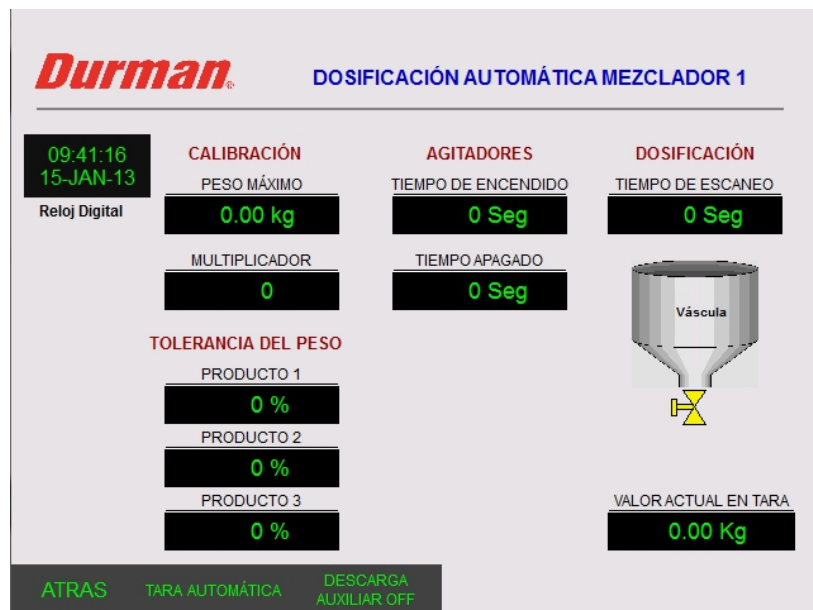
**Figura 8.** Pantalla de escogencia de formulaciones

- Al presionar el botón de MANTENIMIENTO, aparece un teclado virtual como el que se muestra en la figura 9, para ingresar el código de seguridad y acceder a los parámetros de privilegio del mezclador 1, una vez ingresado el código correcto, se presiona el botón Enter sobre el teclado en pantalla para acceder a los parámetros, si durante la escritura de la contraseña o código de seguridad se digita un número que no corresponde se puede utilizar el botón CL para borrar y volver a intentarlo.



**Figura 9.** Teclado virtual de seguridad

- Una vez aprobada la pantalla de seguridad, el sistema mostrará la pantalla de privilegios de mantenimiento, que se muestra en la figura 10, en esta pantalla se realiza la calibración del sistema.



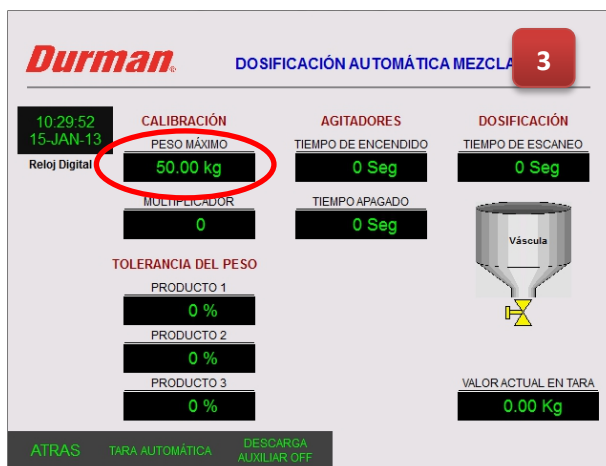
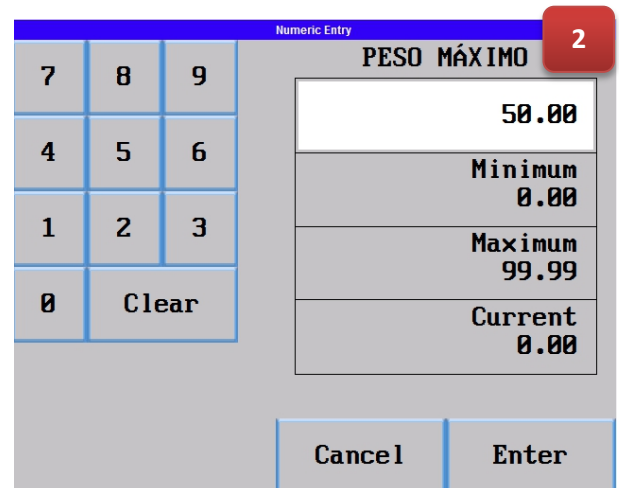
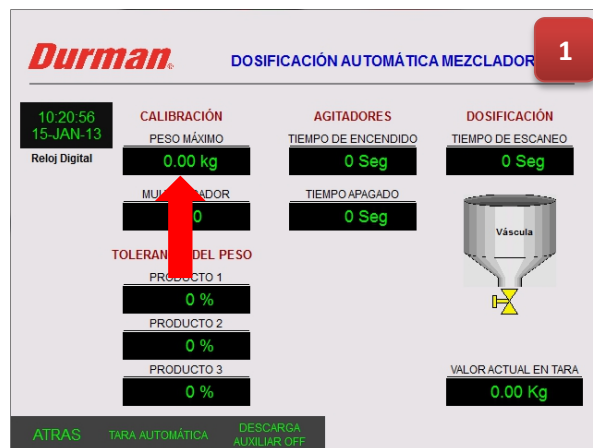
**Figura 10.** Pantalla de introducción de parámetros del sistema

- Para comenzar se debe poner en cero la tara, utilizando el botón de TARA AUTOMÁTICA, al presionar este botón se logra contra restar cualquier peso adicional ocasionado por el peso de la báscula, soportes de celdas y otros. El peso actual de la tara se muestra en el visor bajo la báscula de la pantalla, titulado como VALOR ACTUAL DE LA TARA, luego de presionar el botón el valor que debe aparecer en este visor es 0,00 Kg, como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Indicación de tara automática

- Una vez puesta en cero la tara, se debe colocar un peso propio significativo equivalente al menos al 50% de la cantidad máxima que se desea pesar, y en la casilla de entrada de datos denominada como PESO MÁXIMO, presionamos para que aparezca de nuevo el teclado virtual, posteriormente se debe digitar el valor de la cantidad máxima que se desea pesar, por ejemplo 50,00Kg y posteriormente presionar Enter, para almacenar este valor de calibración, en la figura 12 se muestra la ilustración.



**Figura 12.** Secuencia de introducción de parámetros

- Una vez hecho el paso anterior, el sistema realiza la linealización, tomando en cuenta que las celdas de carga han sido dimensionadas para el valor máximo de peso introducido por el usuario, pero por lo general se utilizan celdas de carga con valores estándar que mejor se adapten a los requerimientos del sistema, de modo que es normal que luego de introducir este valor como se ve en la secuencia de la figura 12, el valor de peso visualizado en pantalla sea diferente al valor real de

peso colocado en la tara anteriormente. Para ajustar el valor real de peso con el valor mostrado en pantalla se debe cambiar nuevamente el valor de peso máximo como se indica en la figura 12, hasta que en pantalla se muestre el valor real puesto en tara. Una vez alcanzado este valor se debe retirar el peso de la tara, luego poner en cero nuevamente la tara y volver a colocar el peso para comprobar la calibración, si al poner el peso en tara el valor mostrado en pantalla difiere del real por un pequeño porcentaje, se debe realizar otro leve ajuste de la calibración, retirar el peso, poner en cero la tara y colocar el peso de nuevo para comprobar la nueva calibración. Una vez realizada de forma exitosa la calibración del control de peso para los tres mezcladores, el sistema queda listo para ser utilizado.

## CAPÍTULO 5

### FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Este sistema de dosificación automática, cuenta con tres máquinas de estados independientes que le permiten al usuario realizar la dosificación de tres aditivos líquidos de forma autónoma para cada mezclador, a continuación se detallan cada una de las funciones que realiza este sistema.

#### RESUMEN DE FUNCIONAMIENTO GENERAL

De forma general, el usuario pone en marcha el sistema, realiza la calibración de las básculas, si es la primera vez que se prueba el sistema, luego hace la escogencia del mezclador en que desea trabajar, selecciona el compuesto al cual desea dosificar los aditivos, selecciona el modo de trabajo (*manual o automático*) y presiona el botón de inicio.

El sistema comienza a cargar los aditivos de forma secuencial en la báscula, según el peso indicado en la receta cargada por el usuario, una vez finalizada la dosificación, descarga el contenido de la báscula en el mezclador y finaliza el ciclo.

Como tareas auxiliares el usuario puede activar o desactivar la carga de los aditivos a los alimentadores y activar los agitadores de los contenedores IBC.

#### ESCOGER EL COMPUESTO DEL RECETARIO


Para seleccionar el compuesto, primeramente en el menú de inicio se debe escoger el mezclador, luego en la pantalla que se muestra, la cual corresponde a la figura 8 antes mostrada, se muestran botones con los diferentes compuestos que han sido programados previamente, para escoger uno de ellos solo se debe presionar el botón con la receta deseada y el programa comenzará a cargar los valores en los registros de trabajo del PLC.

En la parte superior izquierda de esta pantalla, se localiza el botón denominado como Editar Compuestos, este botón permite acceder a la base de datos de las recetas para el mezclador seleccionada y permite cambiar los valores de las cantidades de los aditivos que deben ser dosificados y cargar desde esa pantalla el compuesto en el PLC. Para acceder a esta pantalla de privilegio, el usuario debe conocer el código de seguridad que el sistema le solicita al oprimir el botón de Editar Compuestos.

Una vez dentro de la pantalla de recetas, que se muestra en la figura 13, el usuario puede cambiar la cantidad de aditivo que se debe dosificar, de la forma que se indica a continuación:



Se oprime el botón encerrado con un círculo en la figura 13, y aparecerá el menú de opciones de pantalla que se muestra en la figura 14.

FORMULAS	ESTABILIZADOR THERMOLITE 108 A08	ESTABILIZADOR TM 694 6700
1 COMPUESTO IN...	8540	0
2 COMPUESTO PV..	8860	0
3 COMPUESTO TU..	0	9450
4 COMPUESTO PV..	0	3700
5 COMPUESTO PV..	0	0
6 COMPUESTO PV..	0	4700
7 COMPUESTO TD..	0	0
8 COMPUESTO D...	0	0
9 COMPUESTO 8T..	5140	5140
10 COMPUESTO CA..	5580	5580

Close 3.COMPUESTO TUBO F949 

**Figura 13.** Pantalla de selección de compuestos

FORMULAS	ESTABILIZADOR THERMOLITE 108 A08	ESTABILIZADOR TM 694 6700
1 COMPUESTO IN...	8540	0
2 COMPUESTO PV..	8860	0
3 COMPUESTO TU..	0	9450
4 COMPUESTO PV..	0	3700
5 COMPUESTO PV..	0	0
6 COMPUESTO PV..	0	4700
7 COMPUESTO TD..	0	0
8 COMPUESTO D...	0	0
9 COMPUESTO 8T..	5140	5140
10 COMPUESTO CA..	5580	5580

Close 3.COMPUESTO TUBO F949  

**Figura 14.** Pantalla de selección de compuestos y menú de edición y carga

Luego se debe presionar el botón Edit, y el color de fondo del botón debe cambiar de color negro a blanco, lo que indica que se puede editar los compuestos. Para cambiar las cantidades solo hay que presionar el cuadro de la cantidad que se desea cambiar y aparecerá el teclado virtual, donde se debe digitar la nueva cantidad en gramos, y presionar el Enter del teclado para almacenar el nuevo valor.

Para cargar la receta desde esta pantalla solo hay que presionar el cuadro donde se indica el nombre del compuesto, el color de fondo de toda la fila debe cambiar a negro como se muestra en la figura 13 y 14, luego oprimir el botón Load, encerrado por un círculo verde en la figura 14 y el sistema cargará la

receta en los registros de trabajo del PLC, al finalizar el proceso y cerrar la pantalla se debe aceptar el mensaje que aparecerá al oprimir el botón Close ó de lo contrario no se guardarán los cambios.

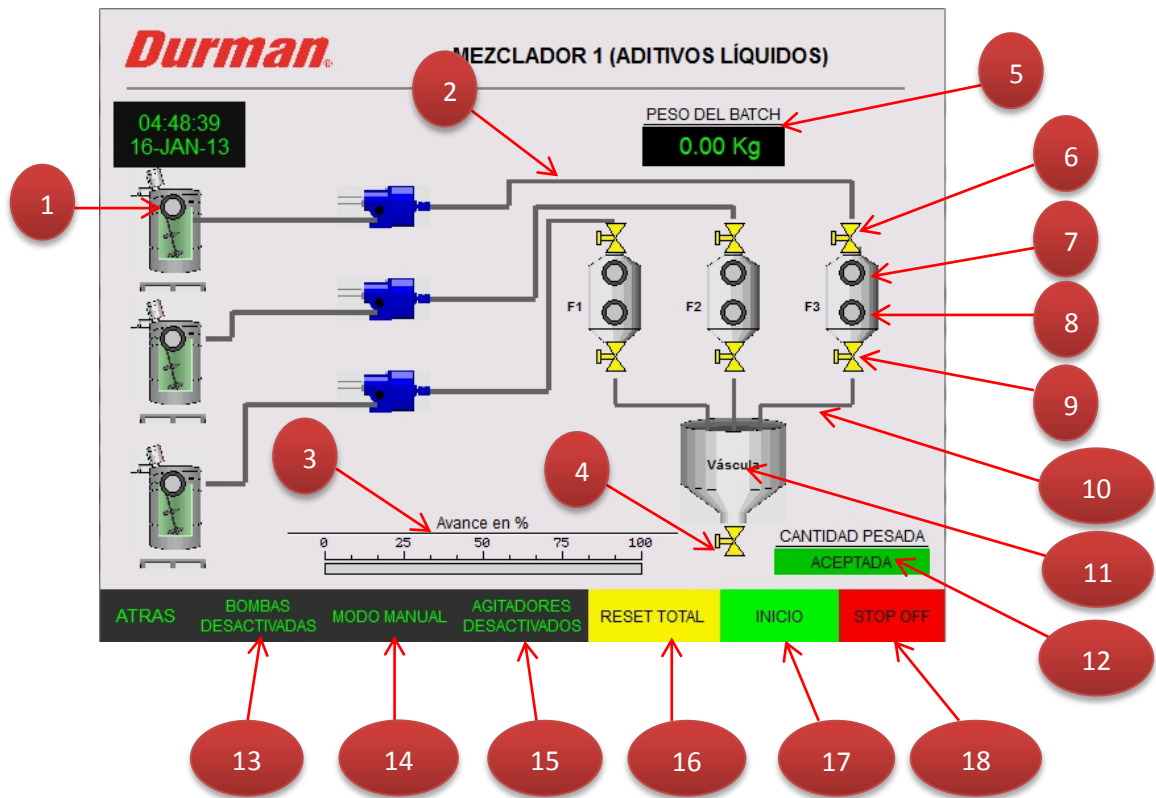
## MANTENIMIENTO

Para acceder a los parámetros de control del sistema, en el menú principal de la figura 7, se selecciona el mezclador, luego en la pantalla que aparecerá la cual se ilustra en la figura 8, se selecciona en la barra inferior el botón de MANTENIMIENTO y se introduce el código de seguridad solicitado tras oprimir el botón.

Una vez aprobada la seguridad, el sistema presenta la pantalla que se muestra en la figura 11, donde el usuario puede realizar los ajustes de calibración detallados anteriormente, digitar el valor de tolerancia requerido para cada uno de los tres aditivos, cambiar el tiempo de apagado y encendido de los agitadores, el tiempo de escaneo de la máquina de estados para ese mezclador, podrá visualizar el peso real en la tara en Kg, realizar el ajuste del cero en la tara a través del botón de TARA AUTOMÁTICA y forzar la apertura de la válvula de descarga de la báscula mediante el botón DESCARGA AUXILIAR OFF, para actividades de limpieza ó imprevistos en el sistema.

## PANTALLA DE MONITORIZACIÓN DEL PROCESO

Esta pantalla puede ser accesada por el usuario desde la pantalla de selección de los compuestos, mostrada en la figura 8, mediante el botón denominado como ADITIVOS LIQUIDOS, puede observar el avance del proceso así como las válvulas, motores, sensores y alarmas que están siendo utilizadas por el sistema en el momento, a continuación se detalla su funcionamiento.



Ítem	Descripción
1	Indicador de activación del motor del agitador 3
2	Tubería de carga hacia el alimentador 3
3	Avance del proceso, indica el porcentaje de la receta que está siendo cargado
4	Válvula de descarga de la báscula
5	Despliega el peso final del batch que ha sido cargado
6	Indicador de válvula de carga del alimentador 3
7	Indicador del sensor de nivel alto S1F3, del alimentador 3
8	Indicador del sensor de nivel bajo S2F3, del alimentador 3
9	Válvula de descarga del alimentador 3
10	Tubería de descarga del alimentador 3
11	Ilustración de la báscula
12	Indicador de alarma de cantidad en tara aprobada o superior a la tolerancia permitida
13	Botón de activación de bombas
14	Botón de activación del modo manual o automático
15	Botón de activación de agitadores
16	Botón de Reset total del sistema
17	Botón de inicio de la dosificación
18	Botón de Stop o paro total del sistema

La función de RESET, realiza una limpieza total de los registros de almacenamiento rápido del sistema y de los contadores de la máquina de estados, esto produce que el sistema vuelva a su estado inicial, como cuando se acaba de encender el sistema, este proceso no borra datos importantes como calibraciones, recetas, consumos y otros parámetros de control del sistema.

La función de INICIO, permite al sistema comenzar con la descarga de los aditivos almacenados en los alimentadores para proceder con la dosificación y posterior descarga hacia el mezclador, si durante un actual proceso de dosificación se presiona este botón el sistema no atenderá la instrucción y continuará normalmente con la dosificación en proceso.

La función de STOP, desactiva todas las funciones del sistema y detiene el proceso justo en el instante de activación del botón, en el momento que el botón es nuevamente accionado el sistema continua con el proceso a partir del instante en que fue detenido.

Alarma de sobrepeso, si durante el proceso de dosificación se carga una cantidad de aditivo superior a lo deseado más el valor de la tolerancia, se activa una alarma de sobrepeso o CANTIDAD PESADA, FUERA DE RANGO en el indicador denominado con el número 12 de la figura anterior. Cuando esta alarma está activada, el sistema de control paraliza el proceso en espera de que el sistema sea revisado y no permite que se descargue el contenido de la báscula en el mezclador dado que la cantidad de peso del batch no es la permitida y puede alterar la calidad del compuesto final, en el menú de la pantalla de mantenimiento que se muestra en la figura 11, se ha destinado el botón DESCARGA AUXILIAR OFF, que le permite al usuario abrir la válvula de la báscula para casos como este y descargar el contenido en un medio controlado, mientras se realiza la revisión del sistema.

## PANTALLA DE CONSUMO DE ADITIVOS

Durante la dosificación se consumen cantidades de aditivos que es necesario contabilizar, para contribuir con esta tarea se ha previsto al sistema con una tarea que almacena las cantidades reales de cada aditivo que han sido consumidas por el sistema. Para lograr esto, el sistema no realiza simplemente la suma de las cantidades de la reseta cargada, si no que realiza la separación de cada cantidad de aditivo real que ha sido pesada, para luego distribuirla según el tipo de aditivo y adiccionarla al consumo anterior.

Para acceder a esta información, el usuario debe presionar el botón en el menú de inicio denominado como CONSUMOS e introducir el código de seguridad solicitado por el sistema, una vez aprobado este paso se presenta la pantalla

que se muestra en la figura 16, donde se muestran los consumos de cada uno de los tres aditivos por mezclador y aparece en la parte inferior de la pantalla la fecha del último día en que fue revisado este consumo por el operario.

Cada vez que se realiza una revisión de consumo, se recomienda cambiar la fecha y poner los marcadores en cero, para cambiar la fecha presione sobre el dato que desea cambiar y aparecerá el teclado virtual para que digite el nuevo valor, luego presione Enter para que el sistema cargue el nuevo valor.

Para poner los marcadores de consumo en ceros, presione el botón denominado como Reset Consumo MX, donde x corresponde al mezclador que desea borrar.

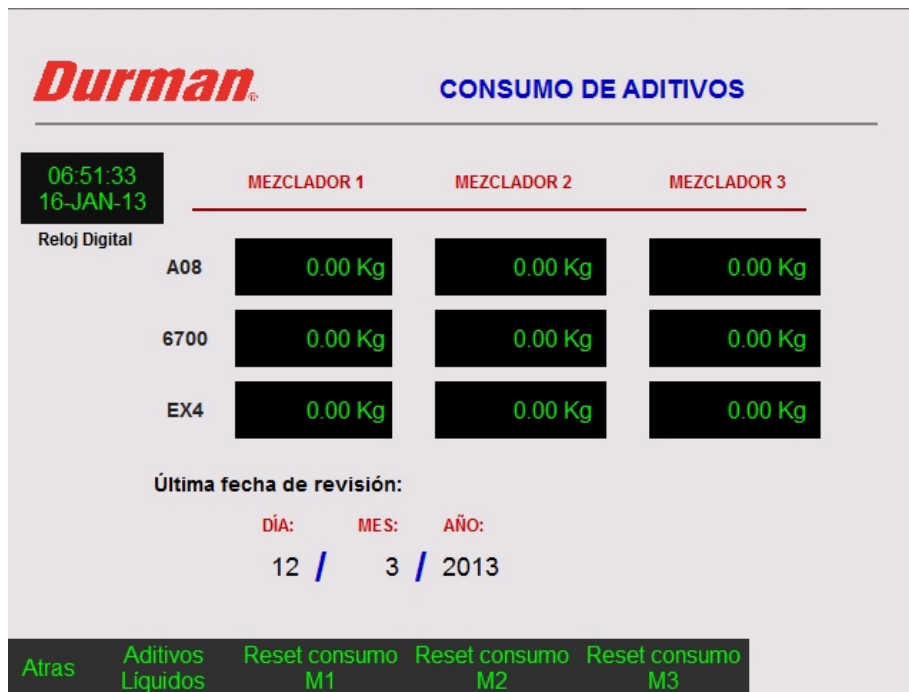


Figura 16. Pantalla de consumos

## CAPÍTULO 6

### POSIBLES FALLOS DEL SISTEMA

Durante la instalación o puesta en marcha del sistema, pueden ocurrir fallas mecánicas o eléctricas inesperadas que pueden producir el mal funcionamiento o la inactividad del sistema, a continuación se mencionan algunas de las fallas más comunes y su posible solución.

- *Al conectar las celdas de carga, a la tarjeta TLE y aplicar una pequeña fuerza sobre la celda, no se muestra ningún cambio de tensión en el LCD de la tarjeta TLE.*

Debe revisar la conexión de las celdas de carga a la tarjeta

Debe revisar la polaridad de alimentación de la tarjeta

Debe revisar el estado de las celdas de las celdas de carga

Debe revisar que la tarjeta TLE no muestre ningún mensaje, por ejemplo EOL

- Al aplicar presión sobre la tara, se muestra actividad en el LCD de la tarjeta TLE, pero en la pantalla táctil no se muestra ningún cambio.

Revise el cable de comunicación entre el PLC y la pantalla

Revise los hilos de comunicación entre la tarjeta TLE y el módulo de entradas analógicas del PLC

Revise la polaridad de la alimentación de la pantalla

Revise la alimentación del PLC

Revise la alimentación del módulo de entradas analógicas del PLC

Verifique que la señal de salida de la tarjeta TLE sea de tensión y oscile entre 0 y 10 VDC.

- Al encender el sistema, en la pantalla se visualiza un mensaje de tiempo de conexión agotado, (PLC Communication timeout).

Debe revisar el cable de comunicación entre el PLC y la pantalla táctil

Debe revisar que el PLC esté debidamente alimentado.

- Al dar inicio al sistema, no comienza la dosificación

Verifique que la fórmula que ha sido cargada contenga al menos un producto por cargar, ya que si todos los espacios en la receta están en ceros, el sistema no ejecuta ninguna carga.

El ciclo de dosificación anterior pudo haber tenido algún inconveniente, presione el botón de Reset e inténtelo de nuevo.

Revise que se encienda la luz de indicación de la salida respectiva en el módulo de salidas de relé en el PLC.

Revise que la tara esté completamente vacía.

- El valor de peso indicado en pantalla es diferente del valor del peso puesto en tara.

Revise que la tara esté completamente vacía antes de colocar el peso

Debe realizar un ajuste en la calibración del sistema de control de peso

Revise la calibración del sistema con un valor de peso conocido.

Verifique que la tara esté suspendida solo en las celdas de carga, esta no debe estar desbalanceada o inclinada.

Verifique la conexión entre las celdas de carga y la tarjeta TLE

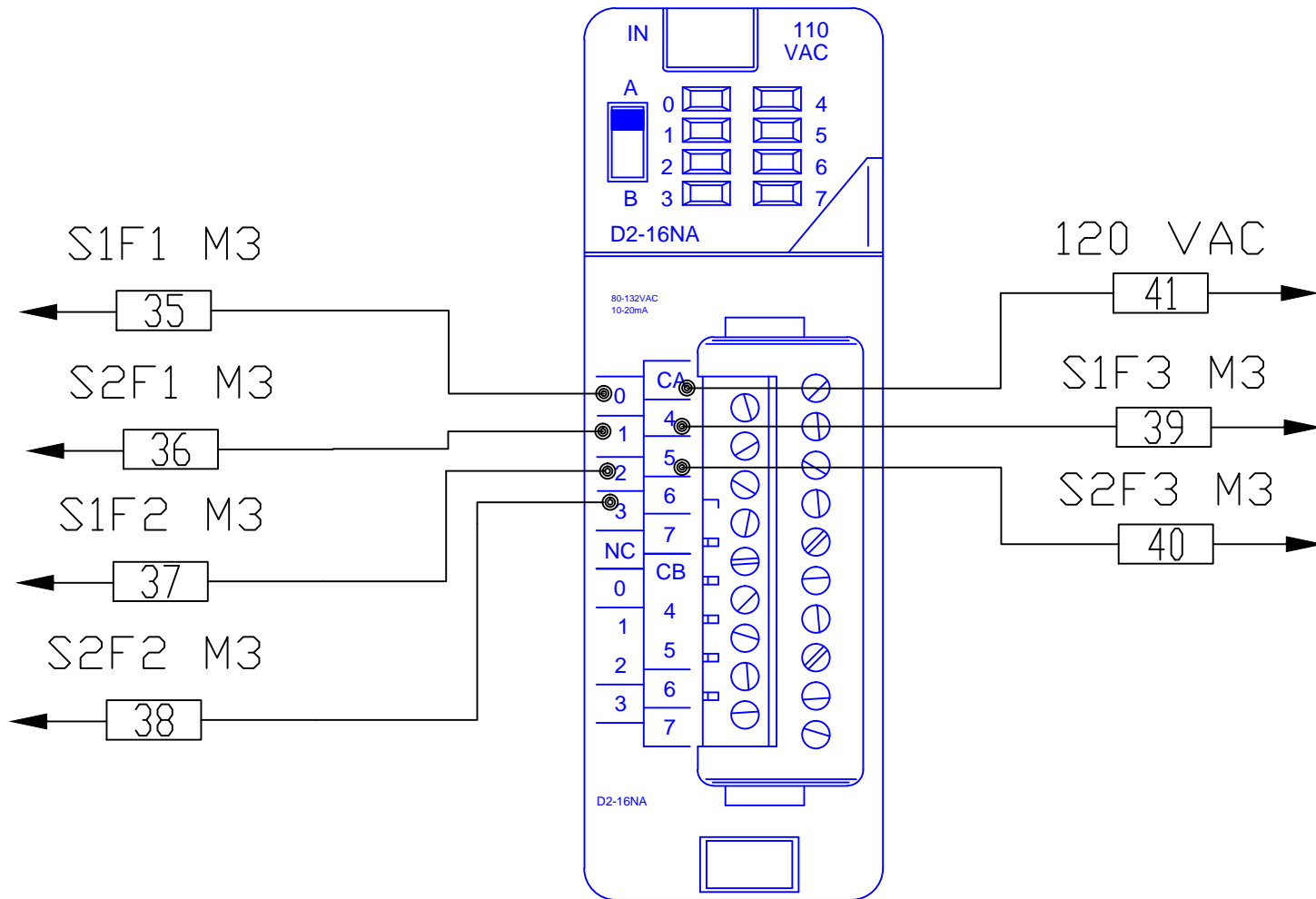
Verifique la conexión entre la tarjeta TLE y el PLC

- El sistema no logra finalizar la dosificación de forma estable y tarda mucho en finalizar para descargar la báscula

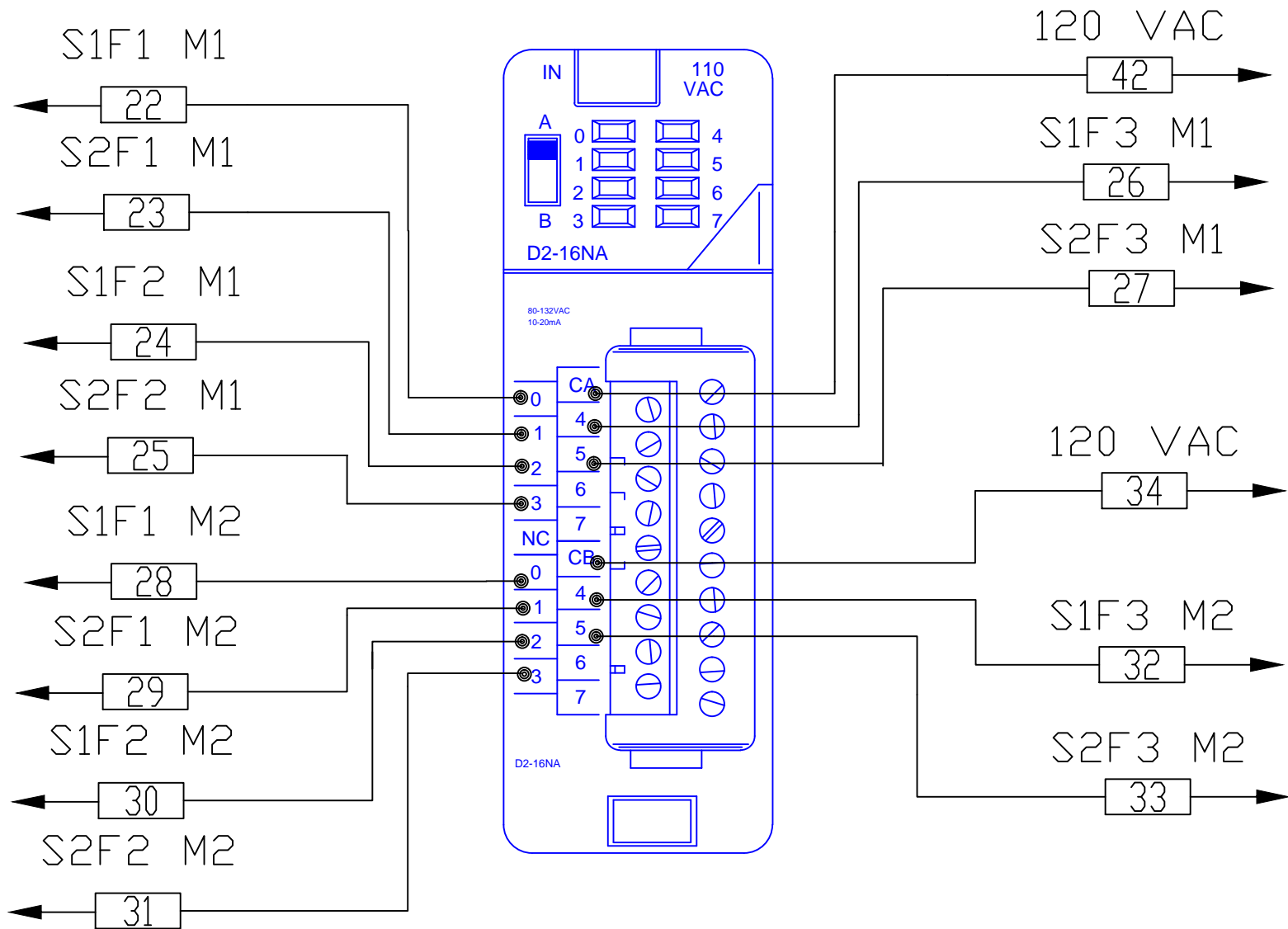
Debe realizar un ajuste en la tolerancia de los productos, a pesar de que la descarga de los aditivos es lenta, el utilizar porcentajes de tolerancia muy bajos en cantidades muy pequeñas, exige mayor precisión del sistema de descarga y ajuste de peso, en cantidades pequeñas se recomienda utilizar porcentajes superiores al 3%.

- Se activa la alarma de peso en tara superior a lo permitido, con mucha frecuencia  
Debe realizar un ajuste en la tolerancia, el sistema está dosificando cantidades muy pequeñas y la tolerancia debe ser superior o igual al 3%.

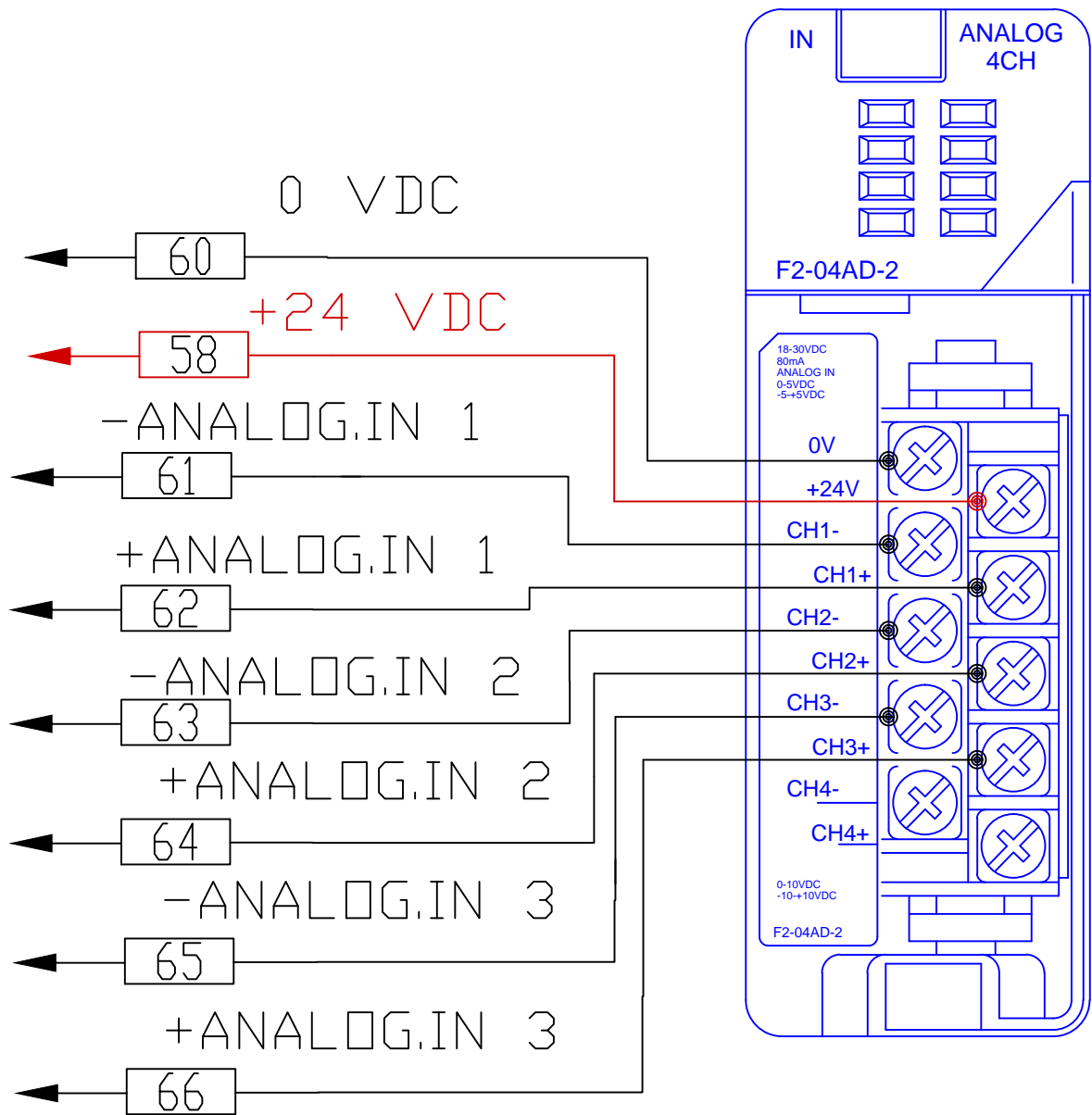
## **A.4 Planos Eléctricos**

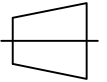



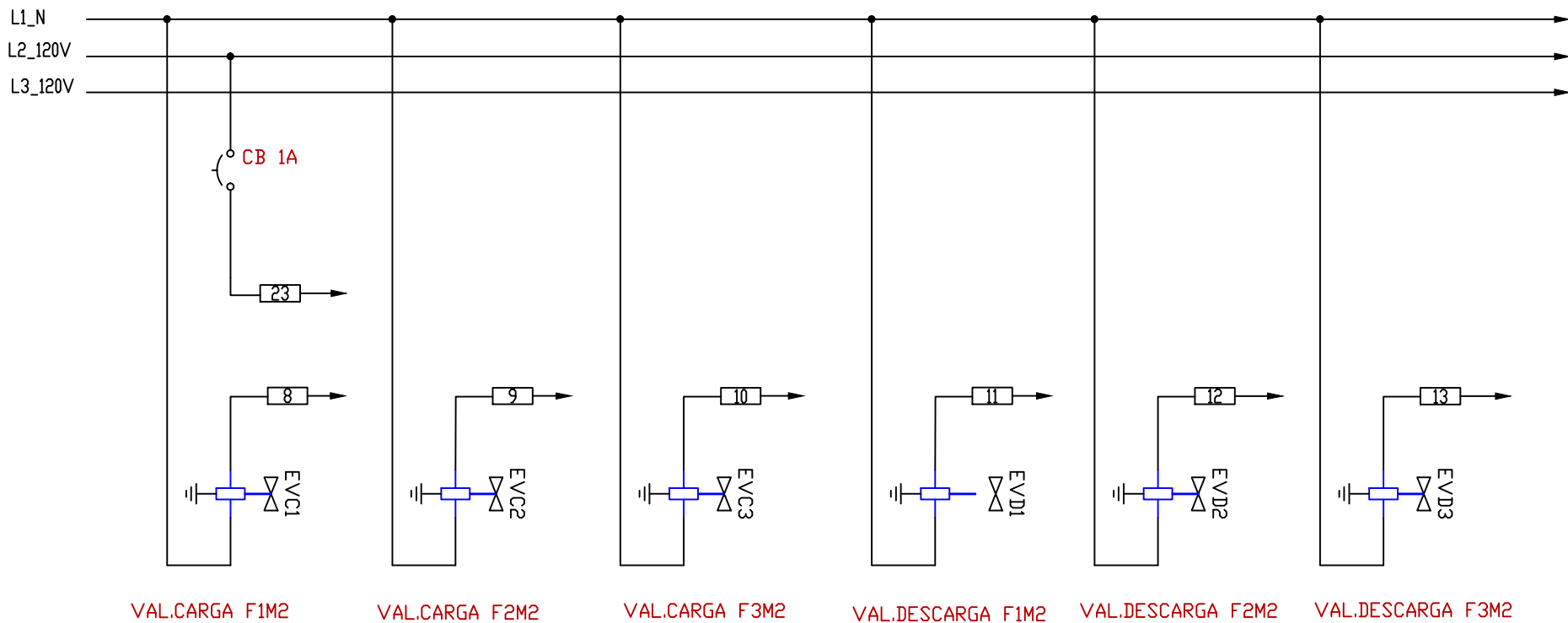
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión de módulo D2-16NA		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos		 	16 19



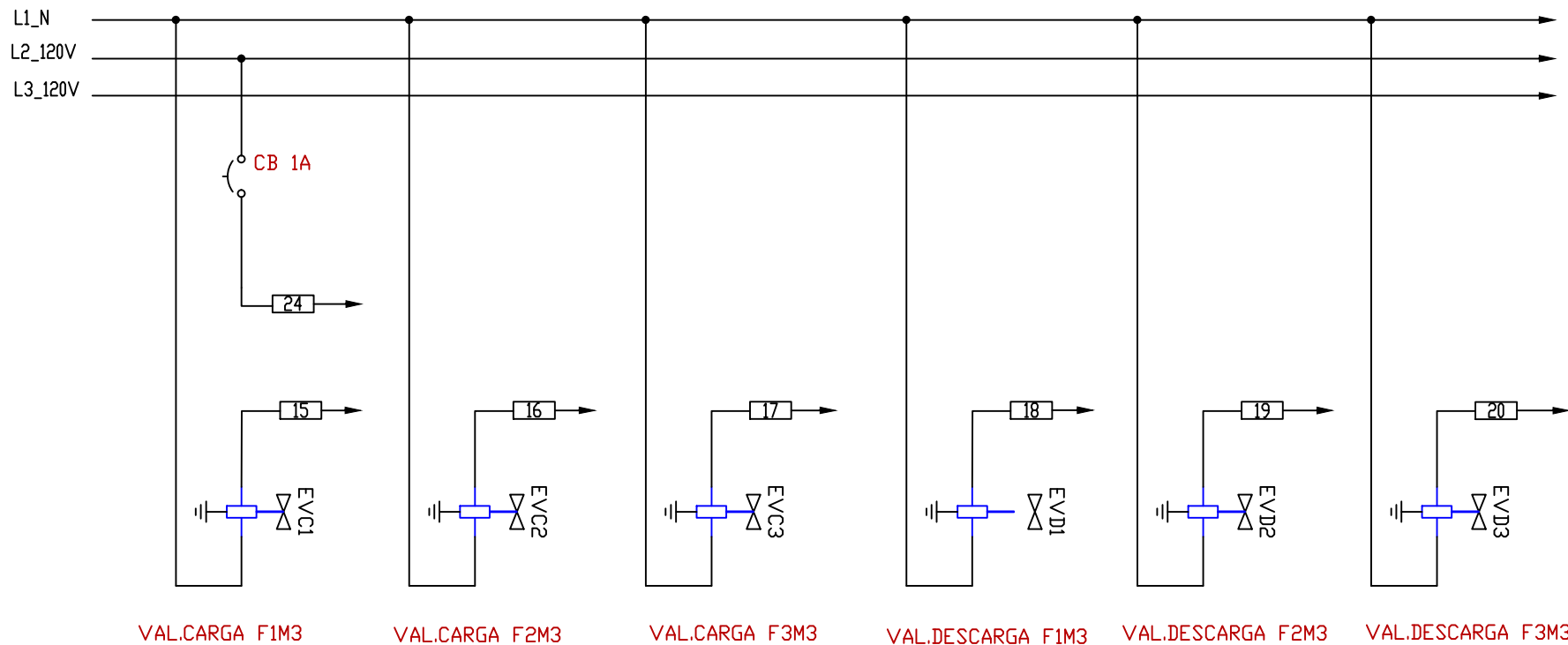
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión módulo D2-16NA		<b>SISTEMA</b>	<b>LÁMINA</b>
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			15 19



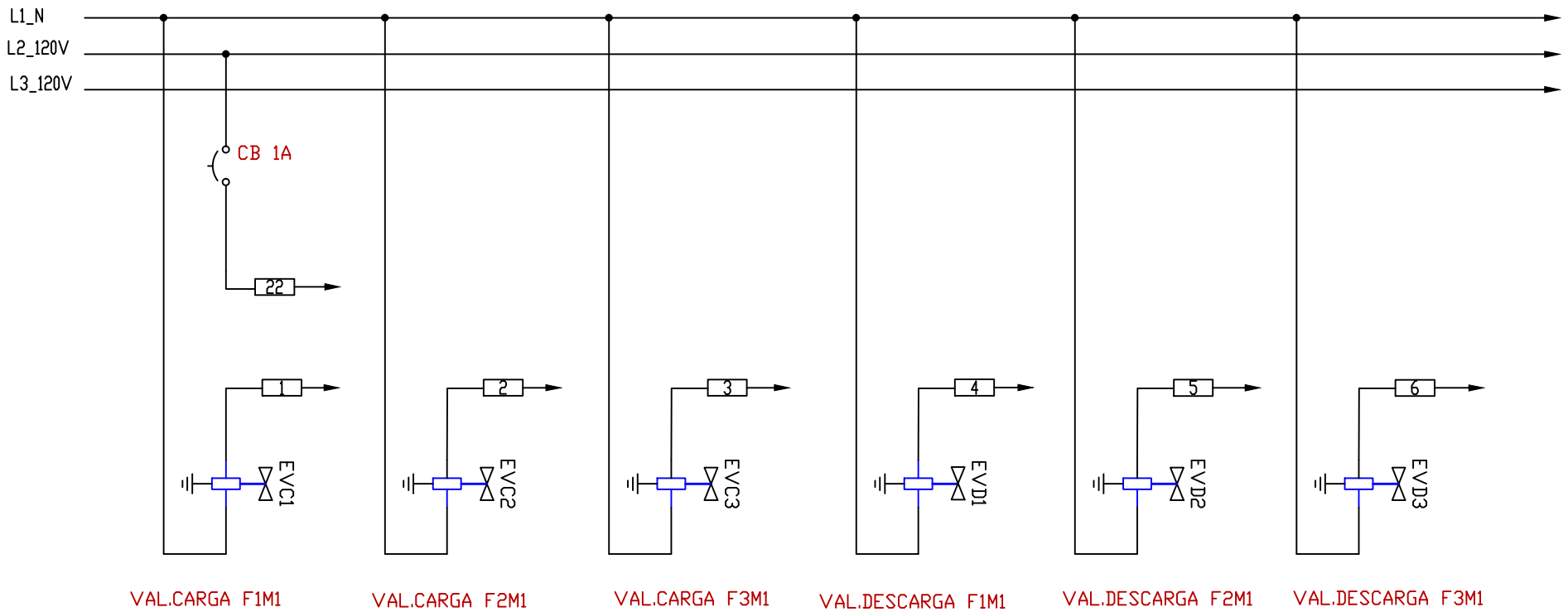
Propiedad:	<b>DURMAN</b> <sup>®</sup>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión módulo F2-04AD-2		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos		 	14 / 19



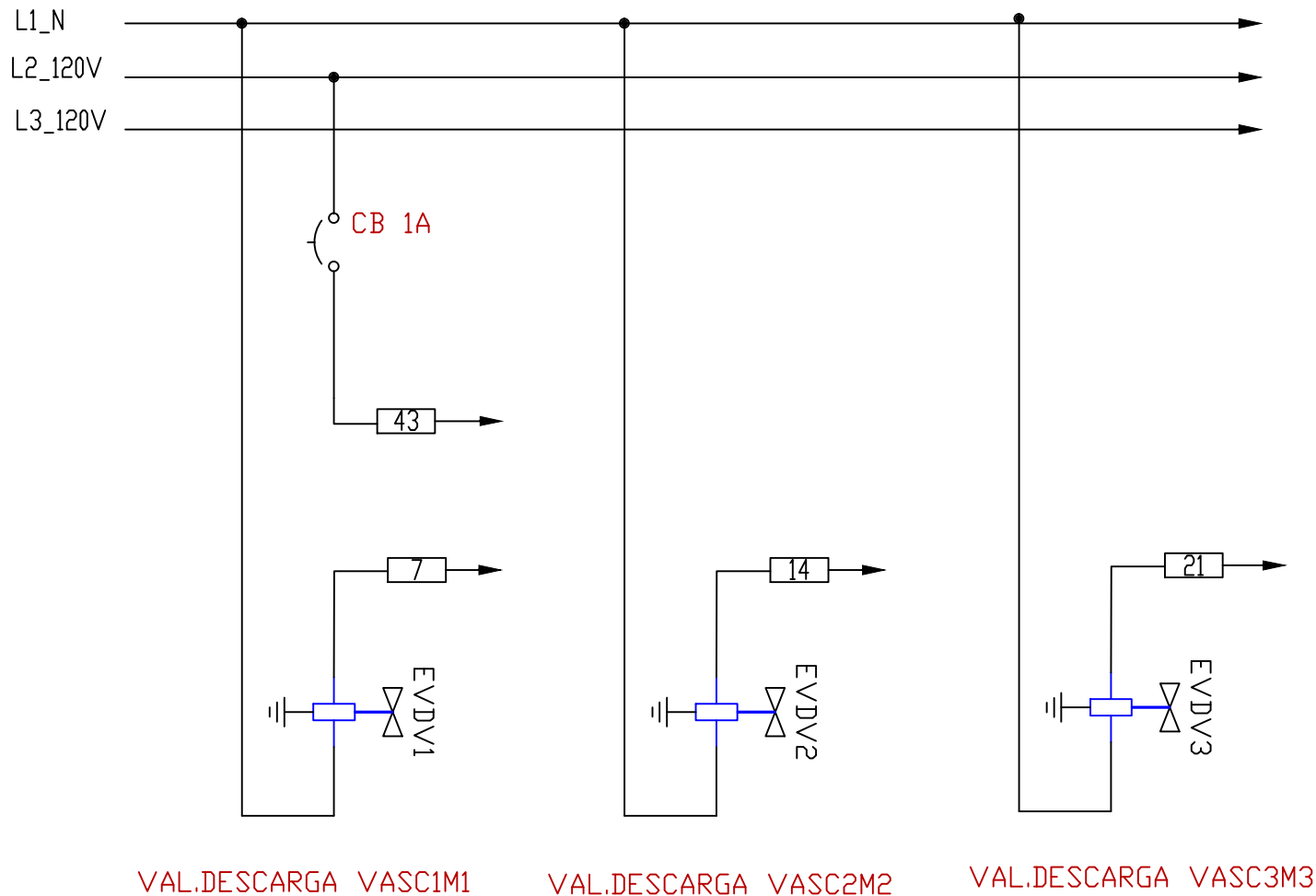
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión de Electroválvulas Brazil1	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			6 19

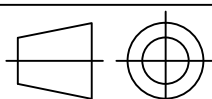


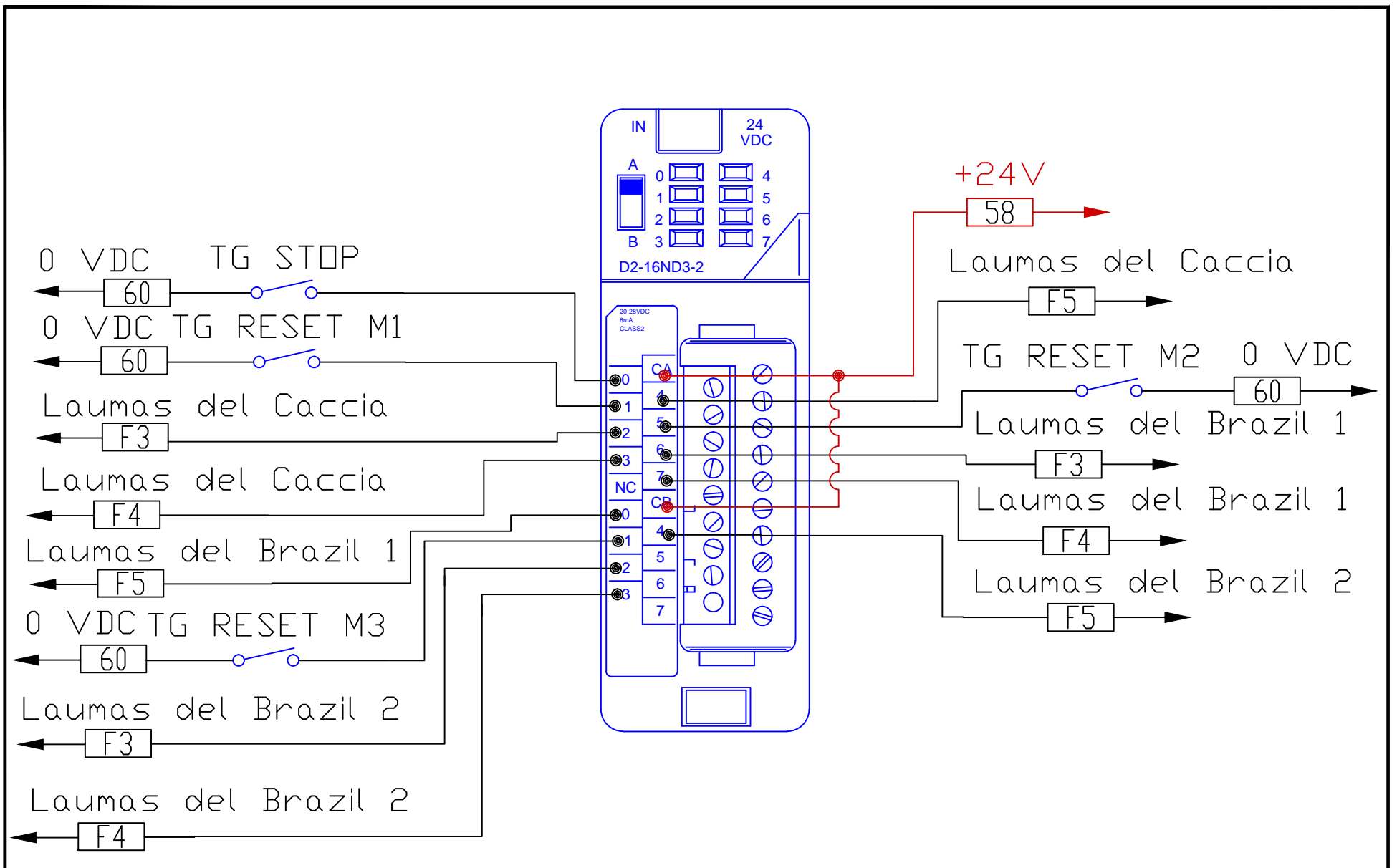
Propiedad:	<b>DURMAN</b> <sup>®</sup>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
PARTE: Conexión de Electroválvulas Brazil2		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	SISTEMA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			LÁMINA
			7



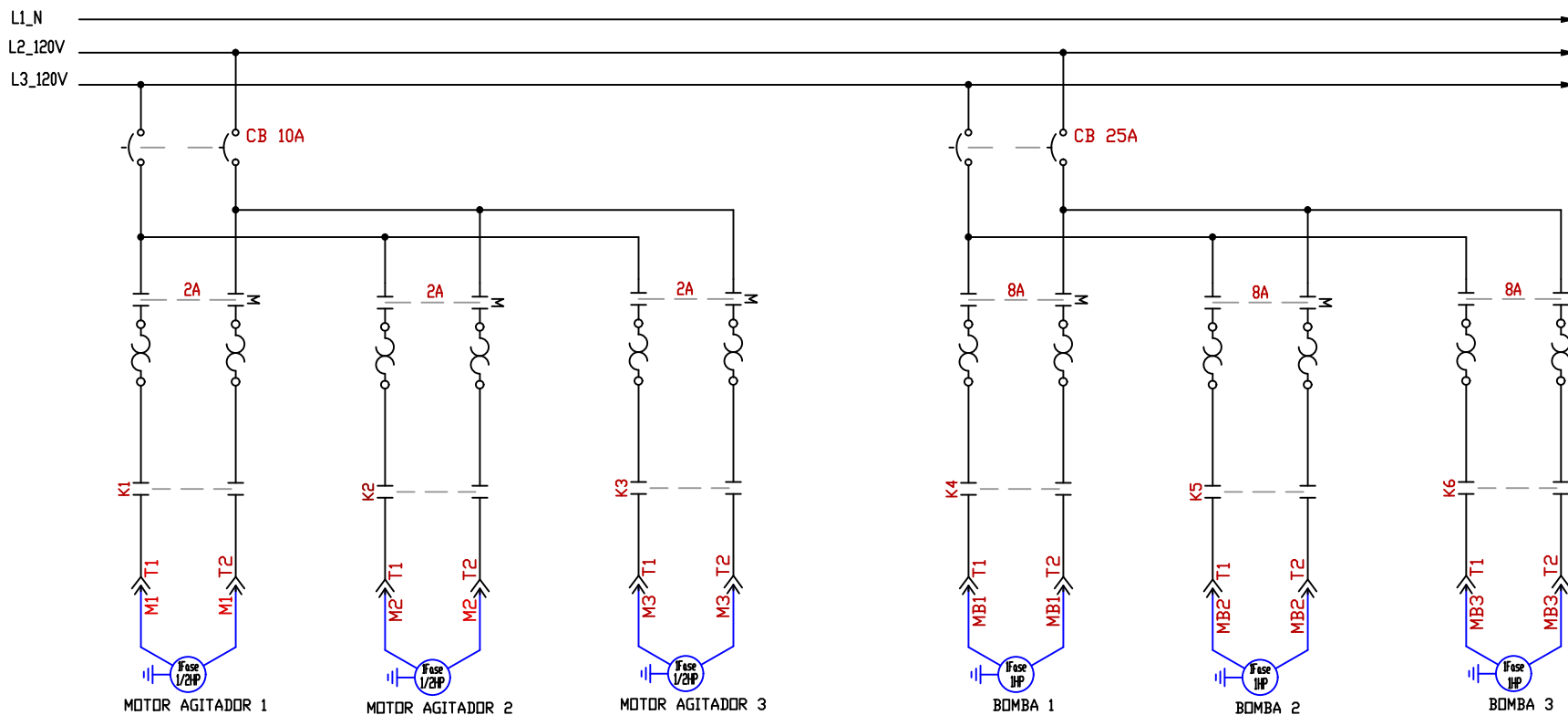
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Electroválvulas Caccia	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			5 / 19



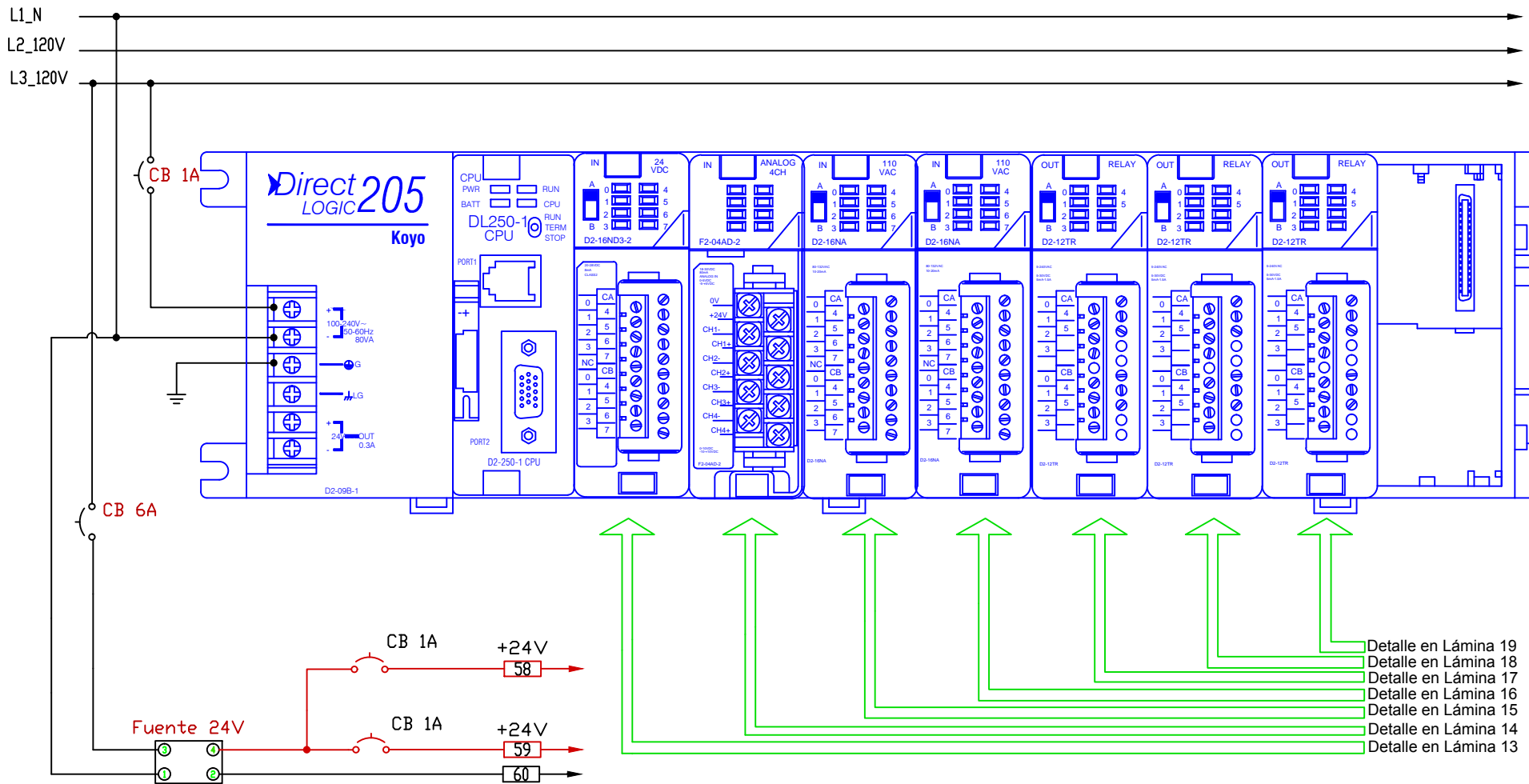
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldal Rodríguez B	
PARTE: Electroválvulas de las vâsculas	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			8 19



Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión módulo D2-16ND3-2	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			13 19

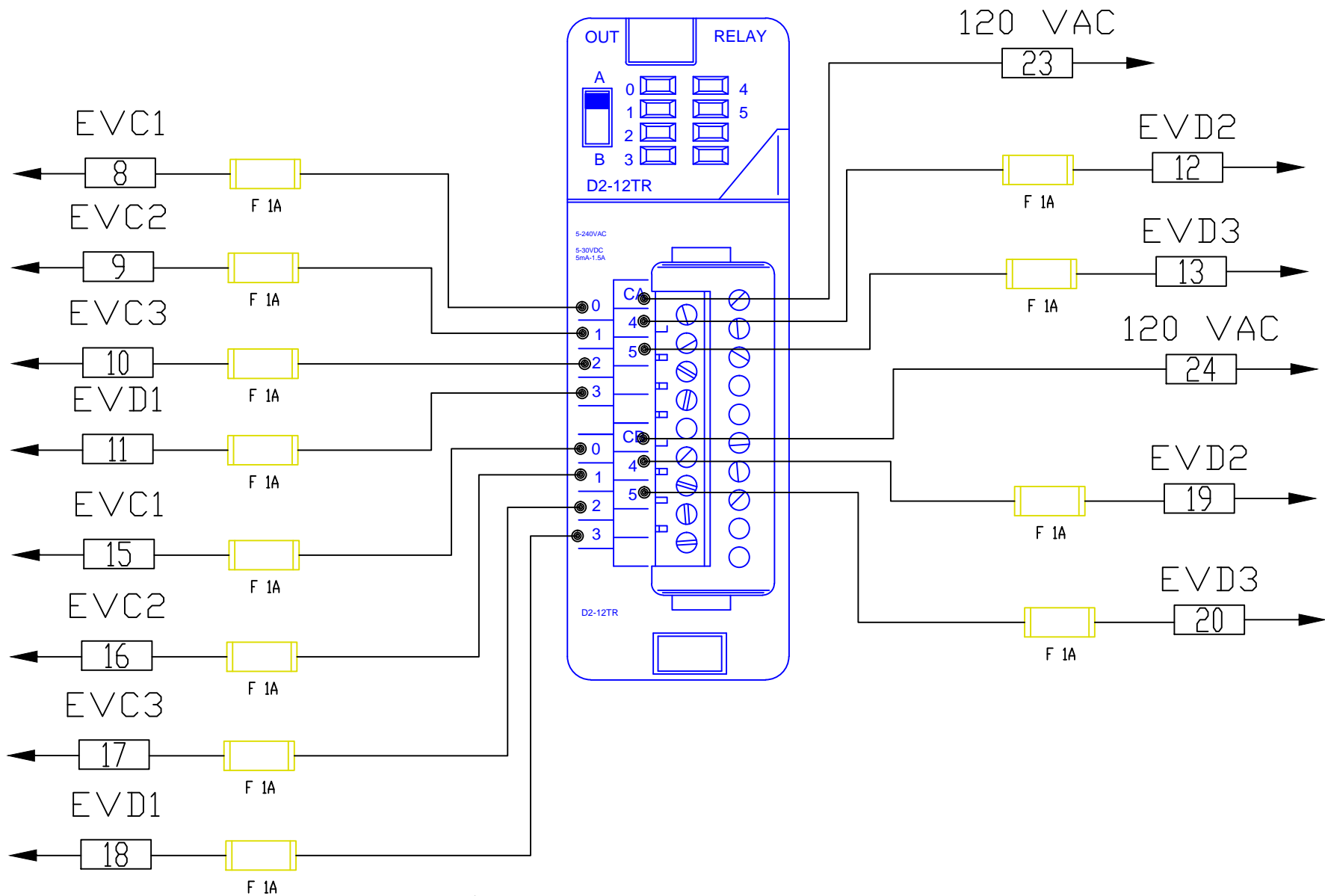


Propiedad:	<b>DURMAN</b> <sup>®</sup>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldal Rodríguez B	
PARTE: Motores de agitadores y bombas	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			1 19

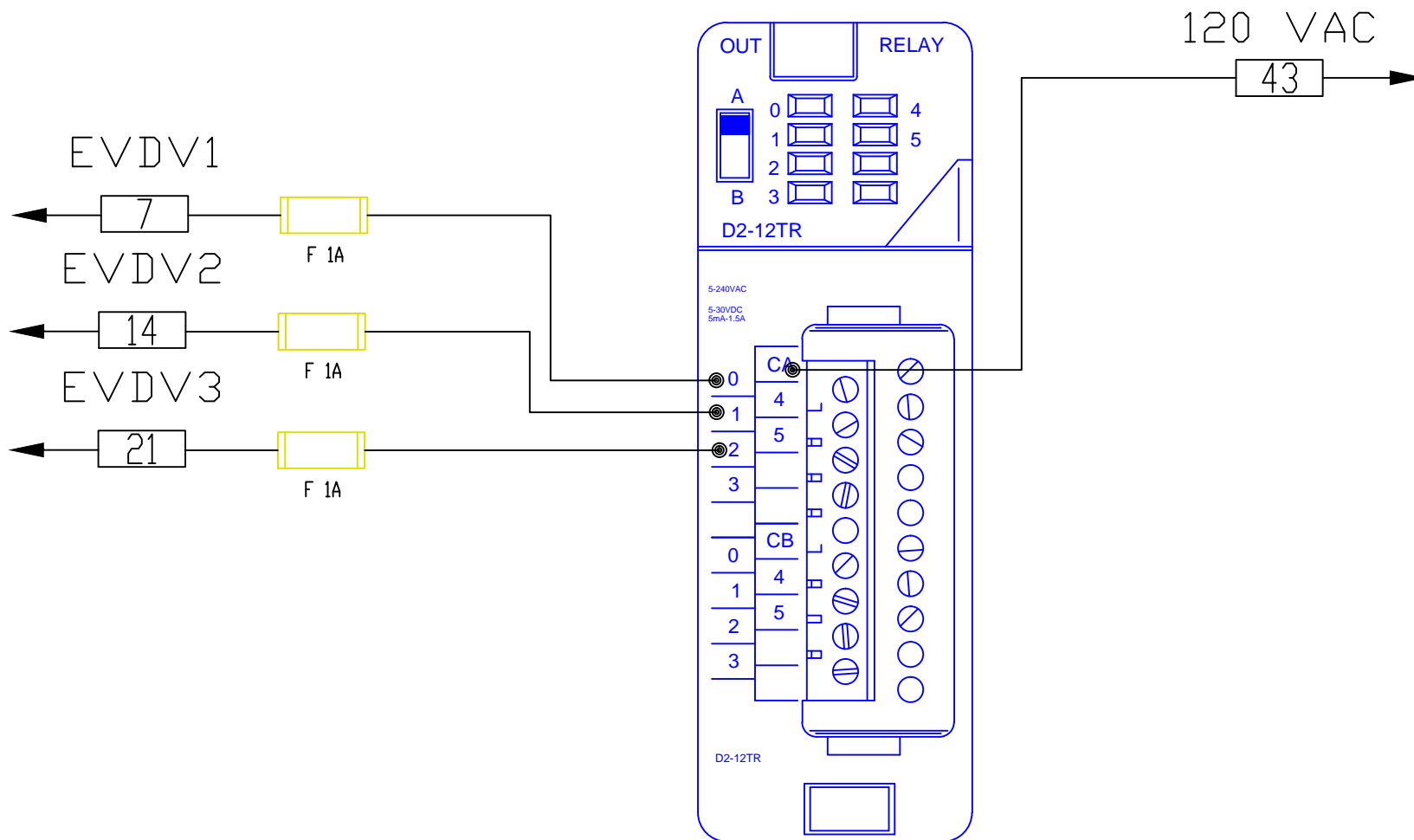


- Detalle en Lámina 19
- Detalle en Lámina 18
- Detalle en Lámina 17
- Detalle en Lámina 16
- Detalle en Lámina 15
- Detalle en Lámina 14
- Detalle en Lámina 13

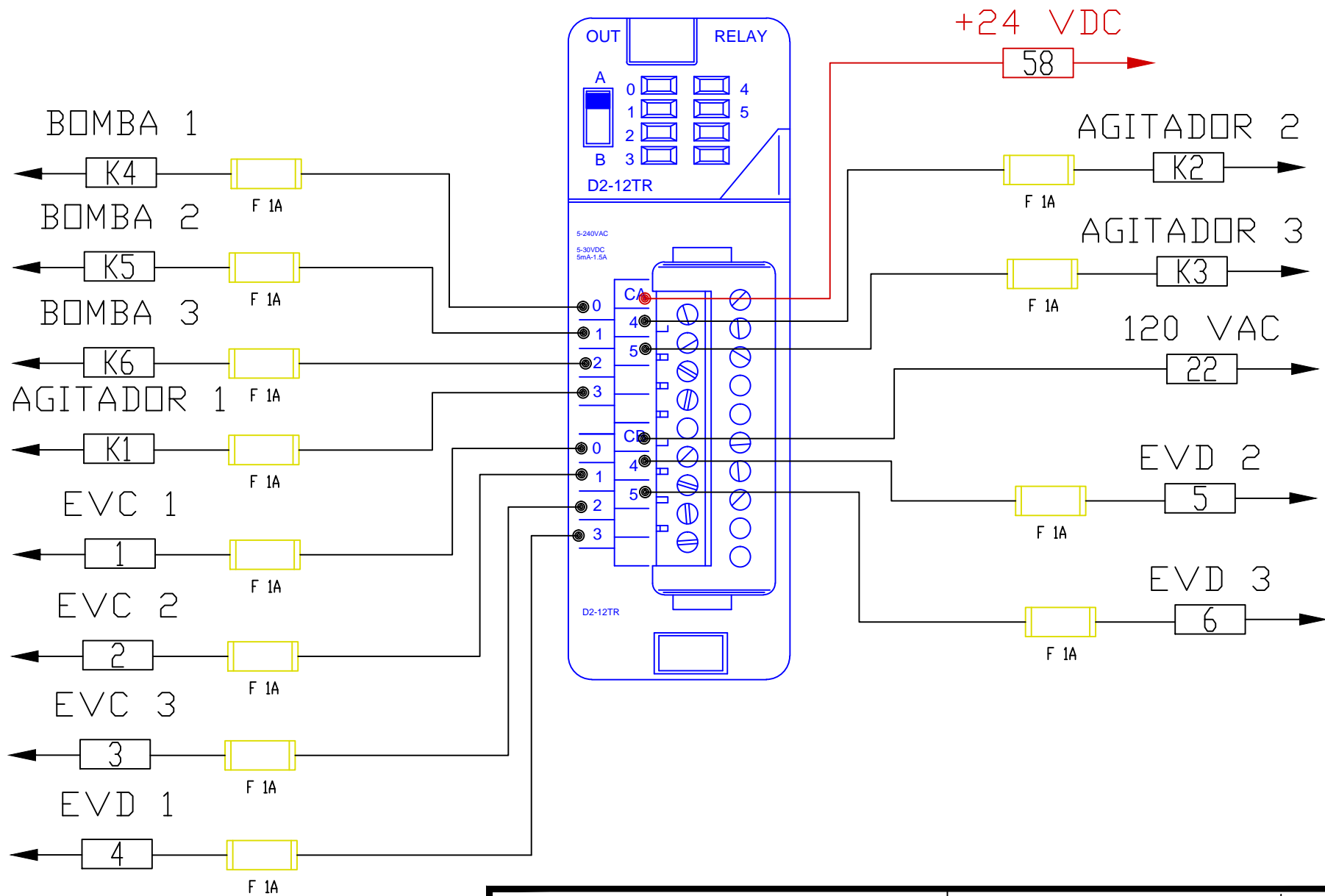
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión del PLC DL205	<b>SISTEMA</b>		<b>LÁMINA</b>
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			
		9	19



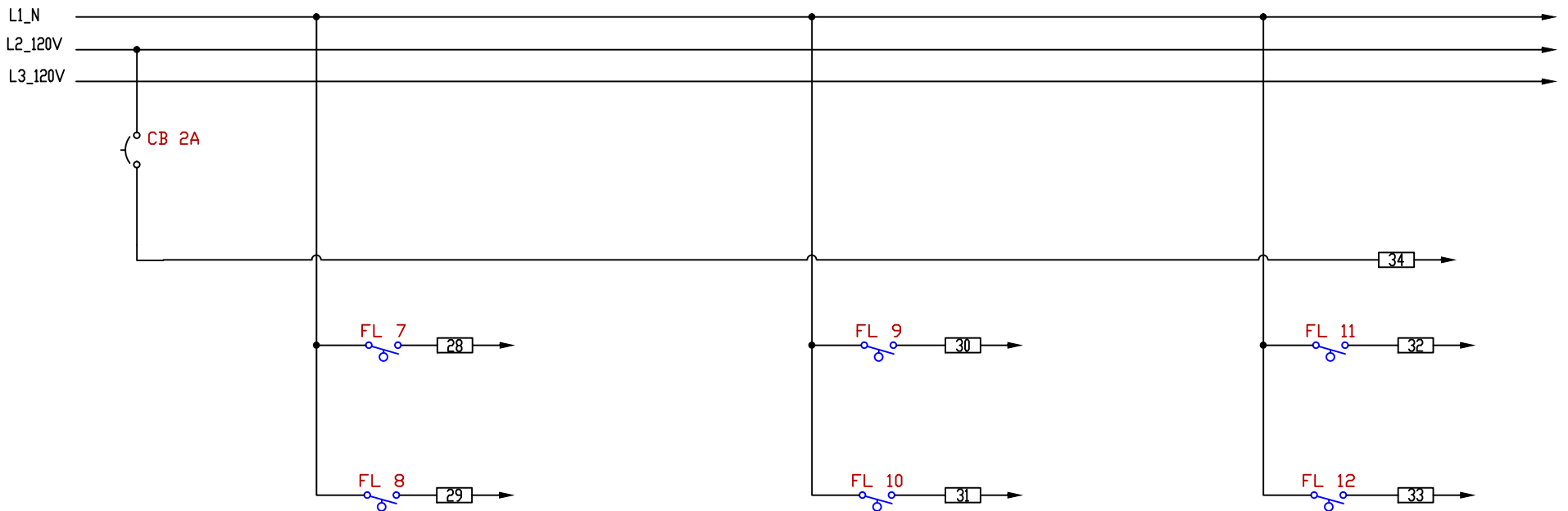
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión de módulo D2-12TR	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			18 / 19



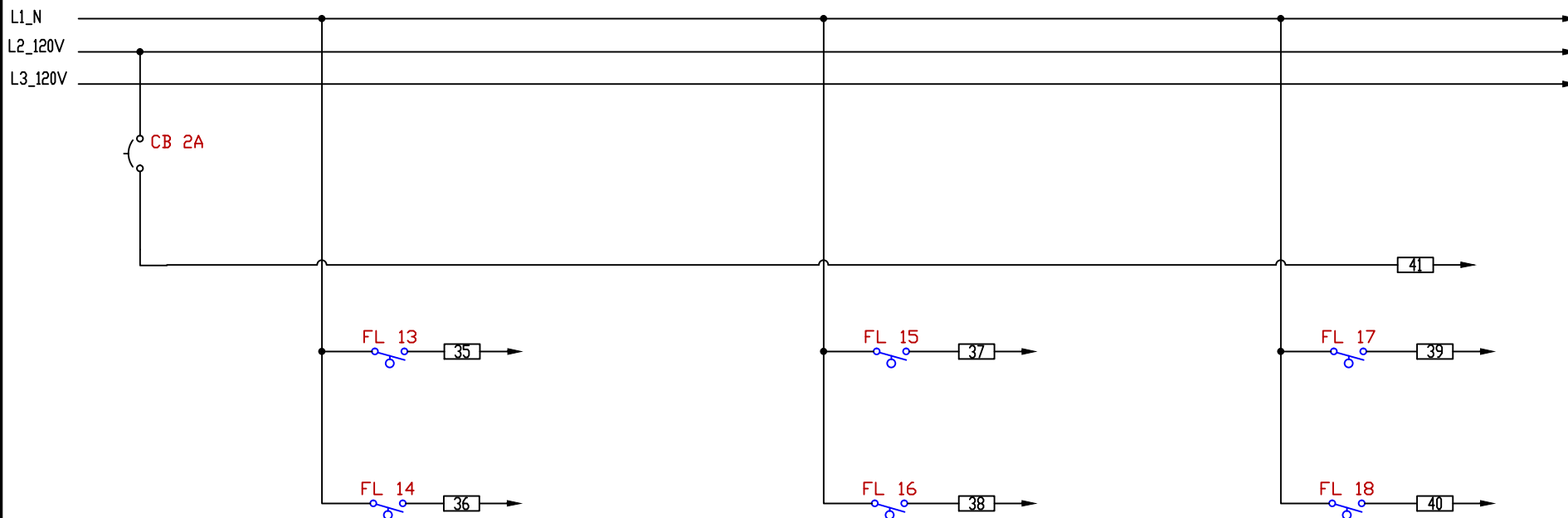
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión de módulo D2-12TR		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos		 	19 19



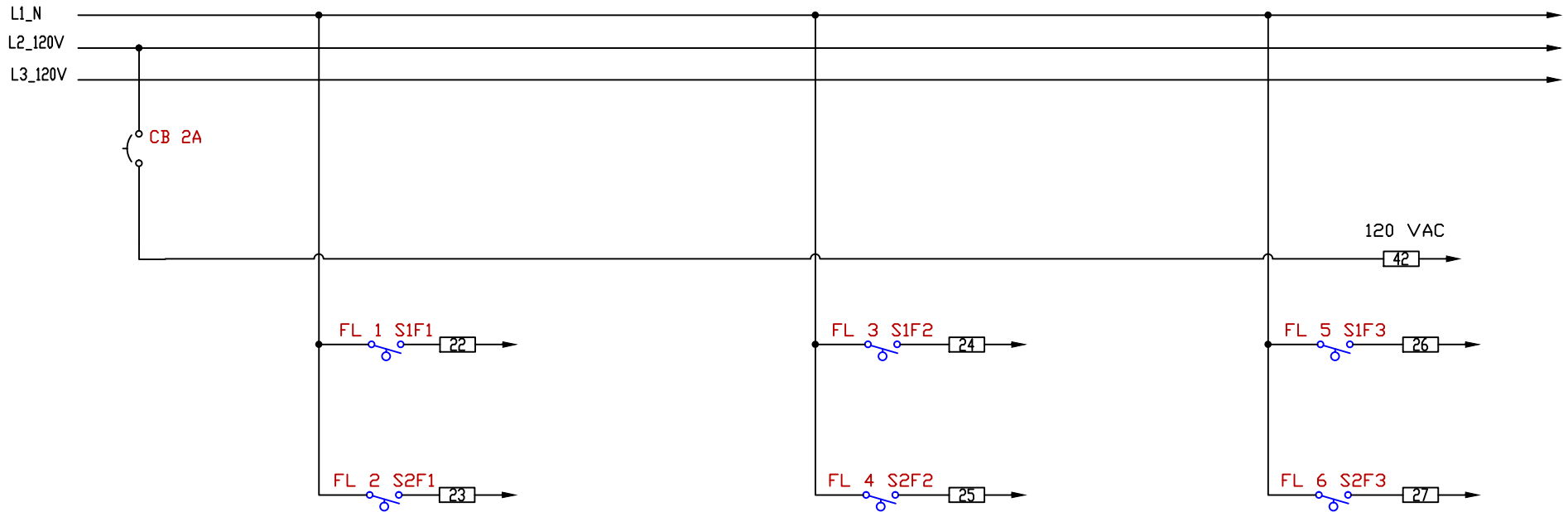
Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Conexión de módulo D2-12TR	SISTEMA		LÁMINA
PROYECTO: Automatización Aditivos Líquidos			17 19



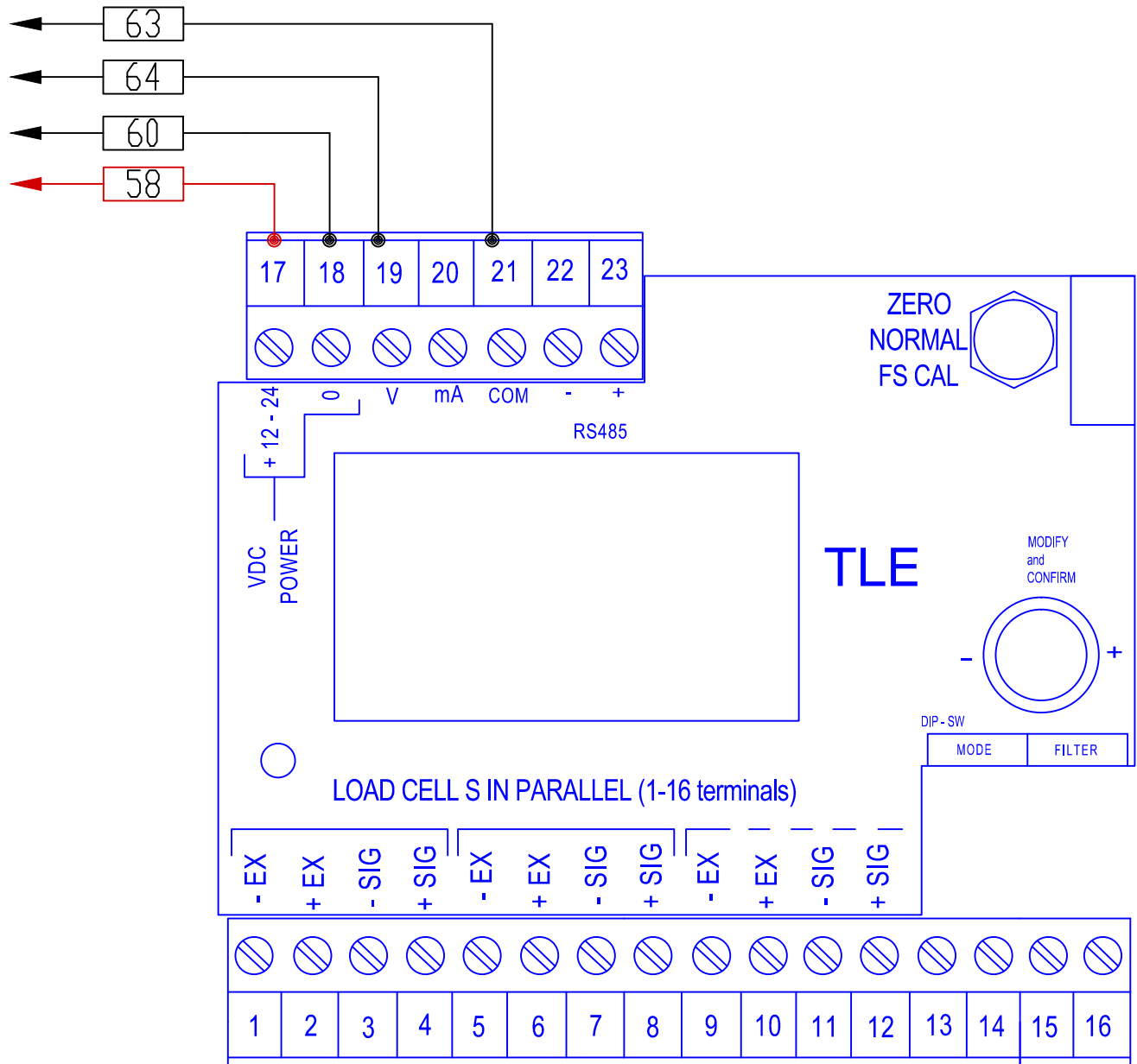
Propiedad:	<b>DURMAN</b> <sup>®</sup>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
PARTE: Sensores de Nivel Brazil 1		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	SISTEMA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			LÁMINA
			3



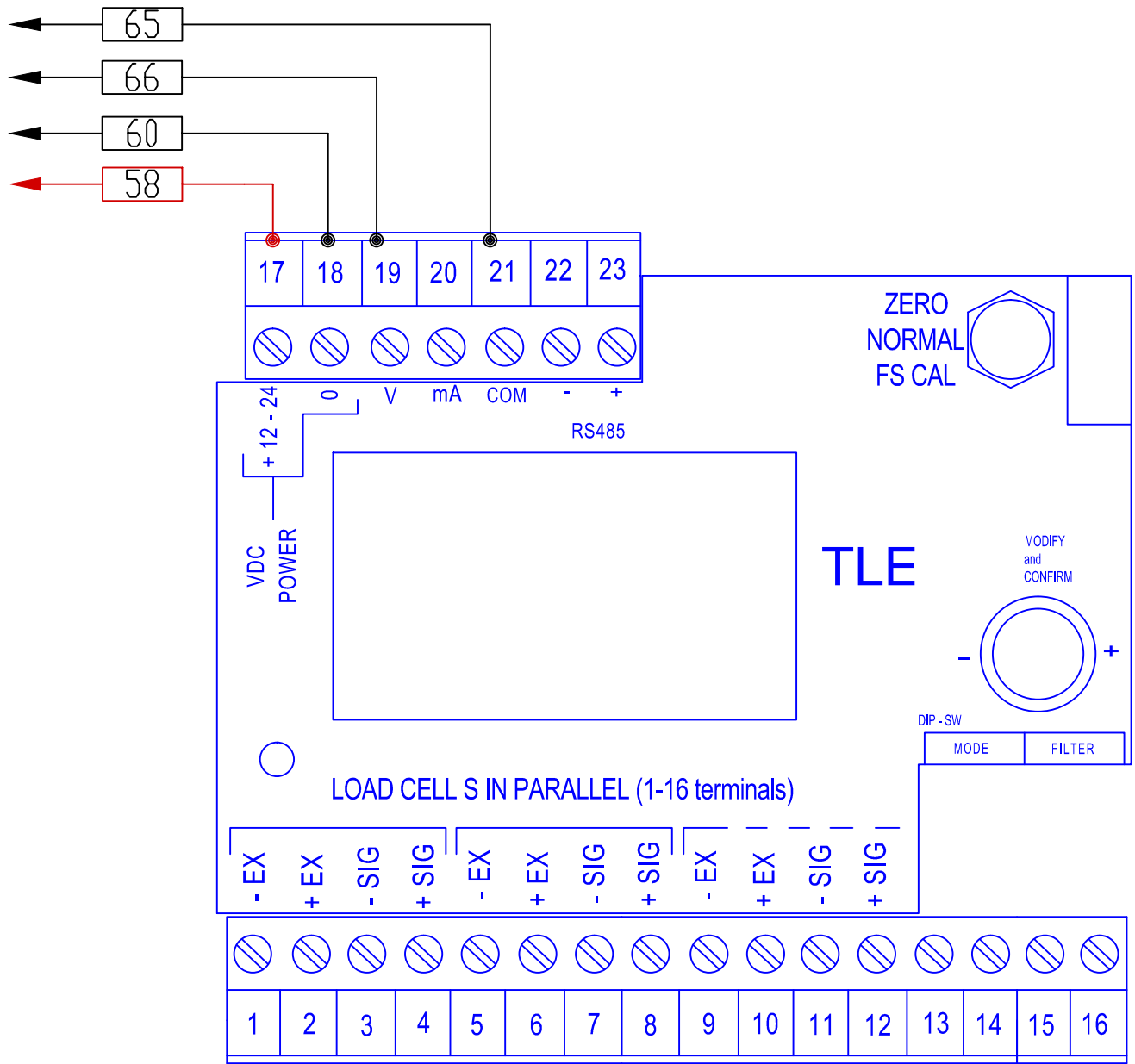
Propiedad: <b>DURMAN</b> <sup>®</sup>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
	DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
	SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Sensores de Nivel Brazil 2	SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos		4 19



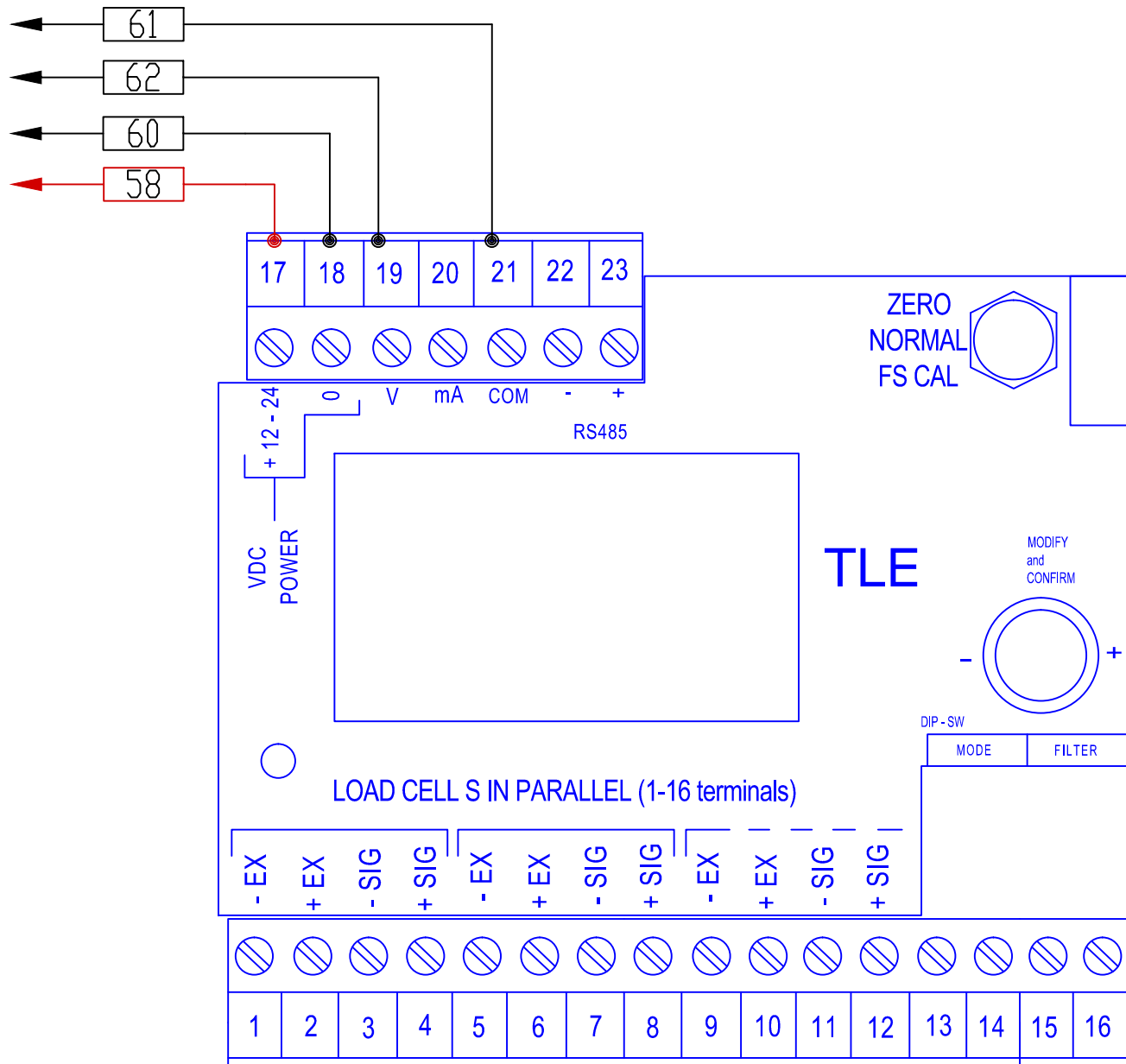
Propiedad:	<b>DURMAN<sup>®</sup></b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Sensores de Nivel Caccia		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			2 19



Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Transmisor de peso del Brazil 1		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			11 19





Propiedad: 	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
	DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
	SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Transmisor de peso del Brazil 2	SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos		12 / 19

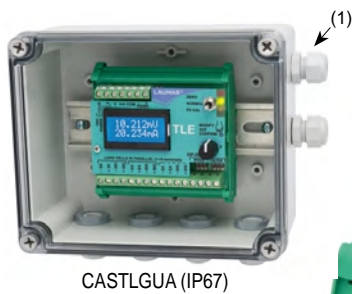


Propiedad:	<b>DURMAN®</b>	DISEÑO: Michael Espinoza R	FECHA:
		DIBUJO: Michael Espinoza R	04/01/2012
		SUPERVISOR: Raldall Rodríguez B	
PARTE: Transmisor de peso del Caccia		SISTEMA	LÁMINA
PROYECTO: Automatizacion Aditivos Liquidos			10 19

## **Anexos**

### **B1. Hoja de datos de la tarjeta Laumas TLE**

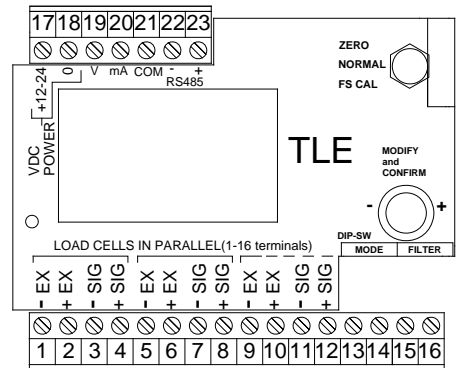
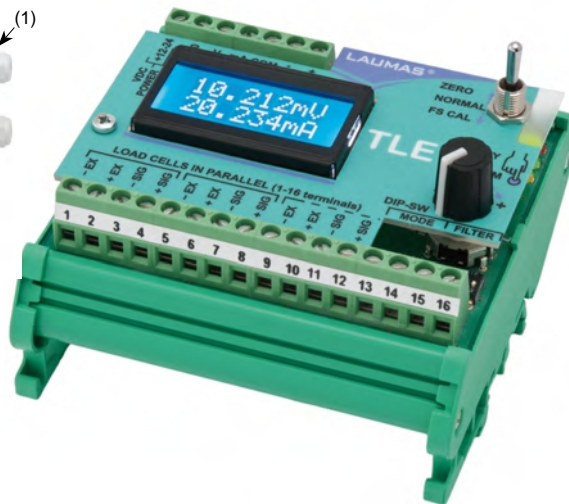
<b>TLE</b>	0-20 mA; 4-20 mA; 0-10 V; 0-5 V; $\pm 10$ V; $\pm 5$ V .....	<b>€ 130,00</b>
<b>OPZIONI A RICHIESTA :</b>	<b>OPTIONS ON REQUEST :</b>	
- CASTL Versione in custodia IP67 con pannello trasparente.....	- CASTL IP67 box version with transparent cover.....	<b>€ 50,00</b>
- CASTLPG9 Vers. IP67 pannello trasparente con 6 pressacavi PG9	- CASTLPG9 transparent version with 6 PG9 cable glands .....	<b>€ 70,00</b>
(1) - CASTLGUA Vers. IP67 pannello traspar. con 6 raccordi per guaina	(1) - CASTLGUA transparent version with 6 PVC fittings.....	<b>€ 70,00</b>
- Versione IP67 ATEX  II 3GD (zona 2-22).....	- IP67 ATEX version  II 3GD (zone 2-22) .....	<b>€ 150,00</b>



CASTLGUA (IP67)

Nelle versioni IP67, posto vicino alle celle, sostituisce la scheda di parallelo.

*If mounted in IP67 box near load cells, it replaces the parallel board.*



Trasmettitore di peso adatto per montaggio su barra Omega/DIN a retro quadro oppure in cassetta stagna. Dimensioni: 90 x 95 x 60 mm. Display alfanumerico LCD retroilluminato, due righe da 8 cifre (altezza 5 mm). Controllo digitale rotativo (Encoder) con pulsante integrato.

Versione in cassetta stagna IP67 (170x140x95 mm). Quattro fori di fissaggio diametro 4 mm (interasse fori 122 x 152 mm).

Semplice taratura di zero e fondo scala, senza l'impiego di multimetro, mediante controllo rotativo digitale (Encoder). Display per visualizzazione mV celle di carico e valore uscita analogica (V o mA). Nessuna limitazione su soppressione di tara e guadagno. Possibilità di effettuare calibrazione teorica o calibrazione con pesi campione. Filtro digitale.

Lo strumento dispone di una porta seriale RS485 (trasmissione delle divisioni) per collegamento a PC/PLC sino a 32 strumenti (max 99 con ripetitori di linea) mediante protocollo ModBus R.T.U. Protocolli opzionali: Profibus DP, Ethernet/ModbusTCP, USB e Radio tramite apposito convertitore.

In monodirezionale la porta RS485 può essere connessa direttamente alla porta RS232 del PC.

Uscita analogica 16 bit optoisolata e velocizzata (tempo di aggiornamento = 3 ms) selezionabile mediante mini interruttori: 0-20mA; 4-20mA; 0-10V; 0-5V;  $\pm 10$ V;  $\pm 5$ V.

*Weight transmitter and indicator for Omega/DIN rail mounting suitable for back panel or junction box. Dimensions: 90 x 95 x 60 mm. Eight-digit alphanumeric LCD two-line display (5 mm high). Digital rotary control (Encoder) with integrated button.*

*IP67 box version, dimensions 170x140x95 mm. Four fixing holes diameter 4mm (centre distance 122x152 mm).*

*Simple zero setting and full scale, without using multimeter, through digital rotary control (Encoder). Display mV displaying, load cells and analog output value (V or mA). No restriction on suppression tare and gain. Possibility to perform calibration or theoretical calibration with sample weights. Digital filter.*

*The instrument is equipped with a RS485 serial port (transmission of divisions) for connection to PC/PLC up to 32 instruments (max 99 with line repeaters) by ModBus R.T.U. protocol. Optional protocols: Profibus DP, Ethernet/ModbusTCP, USB and Radio by appropriate converter.*

*In monodirectional mode the RS485 port can be directly connected to PC's RS232 port.*

*16-bit optoisolated analog output, speeded (update time = 3 ms) selectable via dip-switches: 0-20mA; 4-20mA; 0-10V; 0-5V;  $\pm 10$ V;  $\pm 5$ V.*

### CARATTERISTICHE TECNICHE

### TECHNICAL FEATURES

ALIMENTAZIONE e POTENZA ASSORBITA  
N° CELLE DI CARICO IN PARALLELO E ALIM.  
LINEARITÀ / LINEARITÀ USCITA ANALOGICA  
DERIVA TERMICA / DERIVA TERM. ANALOGICA  
CONVERTITORE A/D  
DIVISIONI MAX (con campo di misura +/- 10mV = sens. 2mV/V)  
CAMPO DI MISURA MAX  
MAX SENSIBILITÀ CELLE DI CARICO IMPIEGABILI  
MAX CONVERSIONI AL SECONDO  
FILTRO DIGITALE / LETTURE AL SEC.  
PORTA SERIALE  
BAUD RATE  
UMIDITÀ (non condensante)  
TEMPERATURA DI STOCCAGGIO  
TEMPERATURA DI LAVORO

12 - 24 VDC +/- 10% ; 3 W  
max 8 ( 350 ohm ) ; 5VDC/120mA  
< 0.01% Full Scale / < 0.01% F.S.  
< 0.0005 % F.S. /°C < 0.003 % F.S. /°C  
24 bit (16000000 points) 4.8kHz  
 $\pm 999999$   
 $\pm 39$  mV  
 $\pm 7$  mV/V  
300 conversions/sec.  
0.003 - 7 s / 5 - 300 Hz  
RS485  
2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 115200  
85 %  
- 30°C + 80°C  
- 20°C + 60°C

POWER SUPPLY and CONSUMPTION  
No LOAD CELLS IN PARALLEL and SUPPLY  
LINEARITY / LINEARITY OF THE ANALOG OUTPUT  
THERMAL DRIFT / THERMAL DRIFT OF THE ANALOG OUT.  
A/D CONVERTER  
MAX DIVISIONS (with measure range: +/- 10mV =2mV/V)  
MEASURE RANGE  
MAX LOAD CELL'S SENSITIVITY  
MAX CONVERSIONS PER SECOND  
DIGITAL FILTER / CONVERSION RATE  
SERIAL PORT  
BAUD RATE  
HUMIDITY (condensate free)  
STORAGE TEMPERATURE  
WORKING TEMPERATURE

## **B2. Configuración del módulo de entradas analógicas F2-04AD-2**

## Writing the Control Program

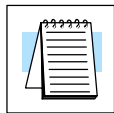
### Reading Values: Pointer Method and Multiplexing

There are two methods of reading values:

- The pointer method
- Multiplexing

You *must* use the multiplexing method when using a DL230 CPU. You must also use the multiplexing method with remote I/O modules (the pointer method will not work). You can use either method when using DL240, DL250-1 and DL260 CPUs, but for ease of programming it is strongly recommended that you use the pointer method.

### Pointer Method

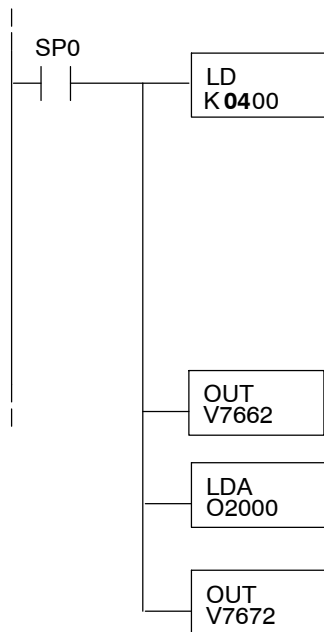


DL240, DL250-1 and DL260 CPUs have special V-memory locations assigned to each base slot that greatly simplify the programming requirements. These V-memory locations:

- specify the data format
- specify the number of channels to scan
- specify the storage locations

**NOTE:** DL250 CPUs with firmware release version 1.06 or later support this method. If you must use the DL230 example, module placement in the base is very important. Review the section earlier in this chapter for guidelines.

The example program shows how to setup these locations. Place this rung anywhere in the ladder program or in the Initial Stage if you are using RLL<sup>PLUS</sup> instructions. This is all that is required to read the data into V-memory locations. Once the data is in V-memory, you can perform math on the data, compare the data against preset values, and so forth. V2000 is used in the example but you can use any user V-memory location. In this example the module is installed in slot 2. You should use the V-memory locations for your module placement. The pointer method automatically converts values to BCD.



- or -

Loads a constant that specifies the number of channels to scan and the data format. The upper byte, most significant nibble (MSN) selects the data format (i.e. 0=BCD, 8=Binary), the LSN selects the number of channels (i.e. 1, 2, 3, or 4).

The binary format is used for displaying data on some operator interfaces. The DL230/240 CPUs do not support binary math functions, whereas the DL250 does.

Special V-memory location assigned to slot 2 that contains the number of channels to scan.

This loads an octal value for the first V-memory location that will be used to store the incoming data. For example, the O2000 entered here would designate the following addresses.  
Ch1 - V2000, Ch2 - V2001, Ch3 - V2002, Ch 4 - V2003

The octal address (O2000) is stored here. V7672 is assigned to slot 2 and acts as a pointer, which means the CPU will use the octal value in this location to determine exactly where to store the incoming data.

The tables below show the special V-memory locations used by the DL240, DL250-1 and DL260 for the CPU base and local expansion base I/O slots. Slot 0 (zero) is the module next to the CPU or D2-CM module. Slot 1 is the module two places from the CPU or D2-CM, and so on. Remember, the CPU only examines the pointer values at these locations after a mode transition. Also, if you use the DL230 (multiplexing) method, verify that these addresses in the CPU are zero.

The Table below applies to the DL240, DL250-1 and DL260 CPU base.

<b>CPU Base: Analog Input Module Slot-Dependent V-memory Locations</b>								
Slot	0	1	2	3	4	5	6	7
No. of Channels	V7660	V7661	V7662	V7663	V7664	V7665	V7666	V7667
Storage Pointer	V7670	V7671	V7672	V7673	V7674	V7675	V7676	V7677

The Table below applies to the DL250-1 or DL260 expansion base 1.

<b>Expansion Base D2-CM #1: Analog Input Module Slot-Dependent V-memory Locations</b>								
Slot	0	1	2	3	4	5	6	7
No. of Channels	V36000	V36001	V36002	V36003	V36004	V36005	V36006	V36007
Storage Pointer	V36010	V36011	V36012	V36013	V36014	V36015	V36016	V36017

The Table below applies to the DL250-1 or DL260 expansion base 2.

<b>Expansion Base D2-CM #2: Analog Input Module Slot-Dependent V-memory Locations</b>								
Slot	0	1	2	3	4	5	6	7
No. of Channels	V36100	V36101	V36102	V36103	V36104	V36105	V36106	V36107
Storage Pointer	V36110	V36111	V36112	V36113	V36114	V36115	V36116	V36117

The Table below applies to the DL260 CPU expansion base 3.

<b>Expansion Base D2-CM #3: Analog Input Module Slot-Dependent V-memory Locations</b>								
Slot	0	1	2	3	4	5	6	7
No. of Channels	V36200	V36201	V36202	V36203	V36204	V36205	V36206	V36207
Storage Pointer	V36210	V36211	V36212	V36213	V36214	V36215	V36216	V36217

The Table below applies to the DL260 CPU expansion base 4.

<b>Expansion Base D2-CM #4: Analog Input Module Slot-Dependent V-memory Locations</b>								
Slot	0	1	2	3	4	5	6	7
No. of Channels	V36300	V36301	V36302	V36303	V36304	V36305	V36306	V36307
Storage Pointer	V36310	V36311	V36312	V36313	V36314	V36315	V36316	V36317

### Using Bipolar Ranges (Pointer Method)

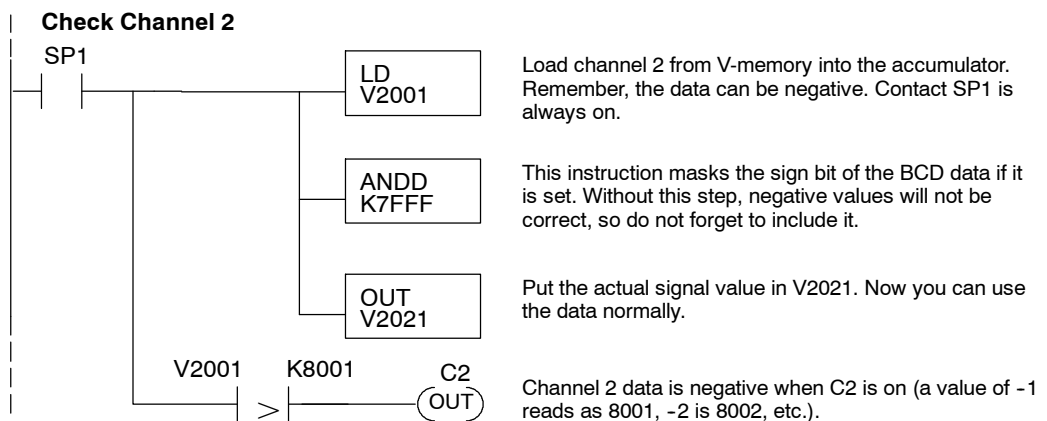
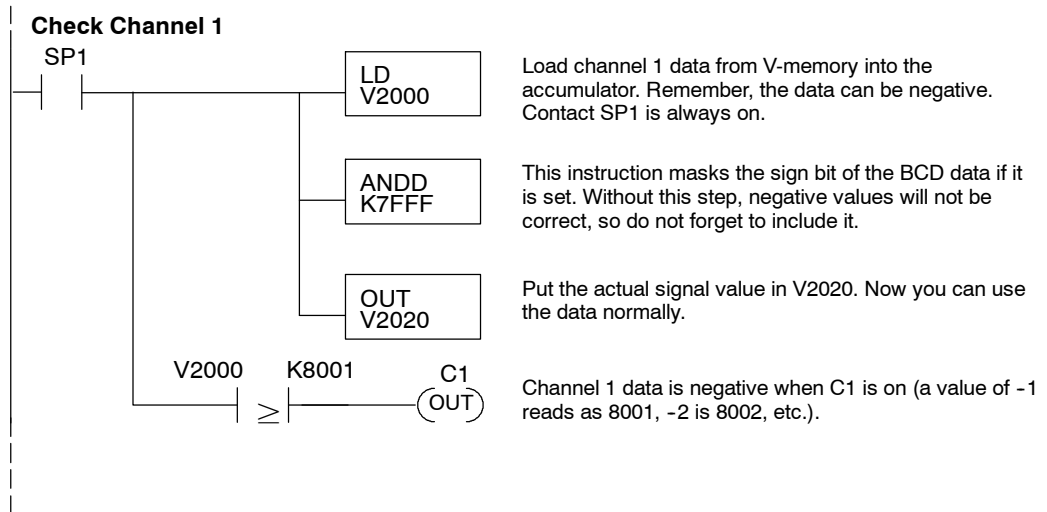
X	✓	✓	✓
230	240	250-1	260

With bipolar ranges, you need some additional logic to determine whether the value being returned represents a positive voltage or a negative voltage. For example, you may need to know the direction for a motor. With the DL240/250 CPU, you *cannot* use the last input (X37 in the previous examples) to show the sign for each channel. This is because the DL240/250-1/260 reads all four channels in one scan. Therefore, if you tried to use X37 you would only be monitoring the last channel that was read. You would not be able to determine the sign for the previous three channels. There is a simple solution:

- If you get a value greater than or equal to 8001, the value is negative.

The sign bit is the most significant bit, which combines 8000 to the data value. If the value is greater than or equal to 8001, you only have to mask the most significant bit and the active channel bits to determine the actual data value.

The following program shows how you can accomplish this. Since you always want to know when a value is negative, these rungs should be placed *before* any other operations that use the data, such as math instructions, scaling operations, and so forth. Also, if you are using stage programming instructions, these rungs should be in a stage that is always active. Please note, you only need this logic for each channel that is using bipolar input signals. The example only shows two channels.



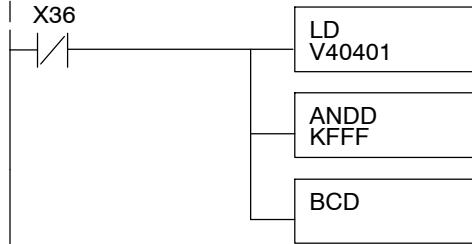
**Reading Values (Multiplexing)**



The DL230 CPU *does not* have the special V-memory locations that allow you to automatically enable the data transfer. Since all channels are multiplexed from a single data word, the control program must be setup to determine which channel is being read. Since the module appears as 16 X input points to the CPU, it is very easy to use the active channel status bits to determine which channel is being monitored.

Note, this example is for a module installed as shown in the previous examples. The addresses used would be different if the module was used in a different I/O configuration. You can place these rungs anywhere in the program, or if you are using stage programming place them in a stage that is always active.

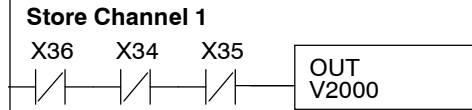
**Load data when module is not busy.**



Loads the complete data word into the accumulator. The V-memory location depends on the I/O configuration. See Appendix A for the memory map.

This instruction masks the channel identification bits. Without this, the values used will not be correct, so do not forget to include it.

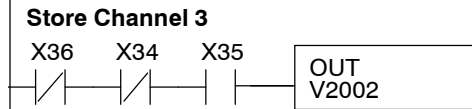
It is usually easier to perform math operations in BCD. So it is best to convert the data to BCD immediately. You can leave out this instruction if your application does not require it.



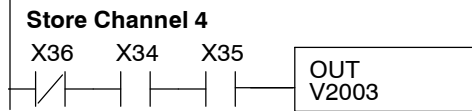
When the module is not busy and X34 and X35 are off, channel 1 data is stored in V2000.



When X34 is on and X35 is off, channel 2 data is stored in V2001.



When X34 is off and X35 is on, channel 3 data is stored in V2002.



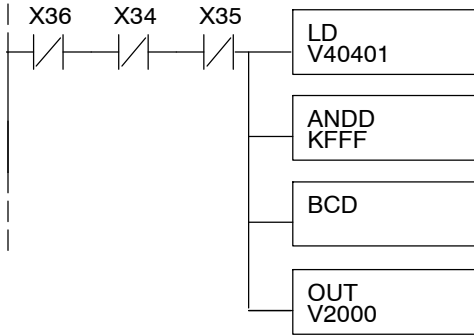
When both X34 and X35 are on, channel 4 data is stored in V2003.

F2-04AD-2, (L)  
4-Ch. Voltage Input

### Single Channel Selected

Since you do not have to determine which channel is selected, the single channel program is even simpler.

#### Store channel 1 when module is not busy.



Loads the complete data word into the accumulator. The V-memory location depends on the I/O configuration. See Appendix A for the memory map.

This instruction masks the channel identification bits. Without this, the values used will not be correct, so do not forget to include it.

It is usually easier to perform math operations in BCD, so it is best to convert the data to BCD immediately. You can leave out this instruction if your application does not require it.

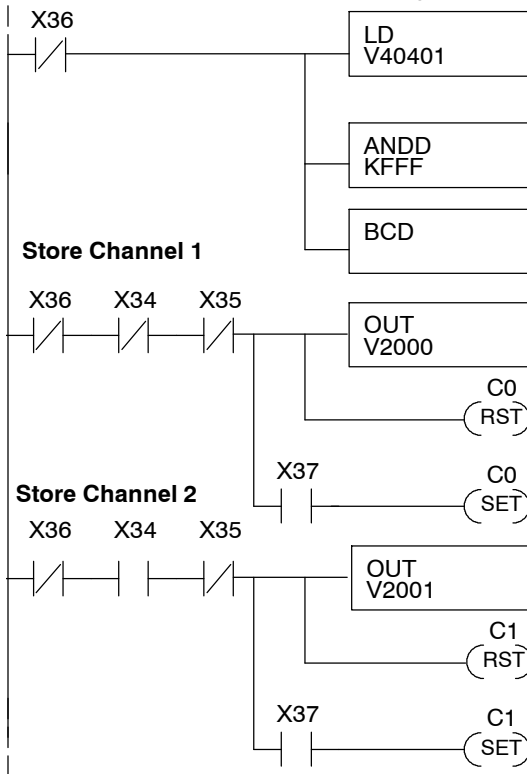
When the module is not busy and X34 and X35 are off, channel 1 data is stored in V2000.

### Using Bipolar Ranges (Multiplexing)

With bipolar ranges, you need some additional logic because you need to know if the value being returned represents a positive voltage or a negative voltage. For example, you may need to know the direction for a motor. Since the DL230 only reads one channel per scan, you can use the last input (X37 in the examples) to show the sign.

The following program shows how you can accomplish this. Since you always want to know when a value is negative, these rungs should be placed *before* any operations that use the data, such as math instructions, scaling operations, and so forth. Also, if you are using stage programming instructions these rungs should be in a stage that is always active. Please note, you only need the additional logic for those channels that are using bipolar input signals. The example shows two channels but you can repeat these steps for all four channels if necessary.

#### Load data when module is not busy.



Loads the complete data word into the accumulator. The V-memory location depends on the I/O configuration. See Appendix A for the memory map.

This instruction masks the channel identification bits. Without this, the values used will not be correct, so do not forget to include it.

It is usually easier to perform math operations in BCD, so it is best to convert the data to BCD immediately. You can leave out this instruction if your application does not require it.

When the module is not busy and X34 and X35 are off, channel 1 data is stored in V2000. C0 is reset to indicate channel one's value is positive.

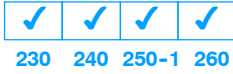
If X37 is on, then the data value represents a negative voltage. C0 is set to indicate channel 1's value is negative.

When the module is not busy, and X34 is on and X35 is off, channel 2 data is stored in V2001. C1 is reset to indicate that channel 2's value is positive.

If X37 is on, then the data value represents a negative voltage. C1 is set to indicate that channel 2's value is negative.

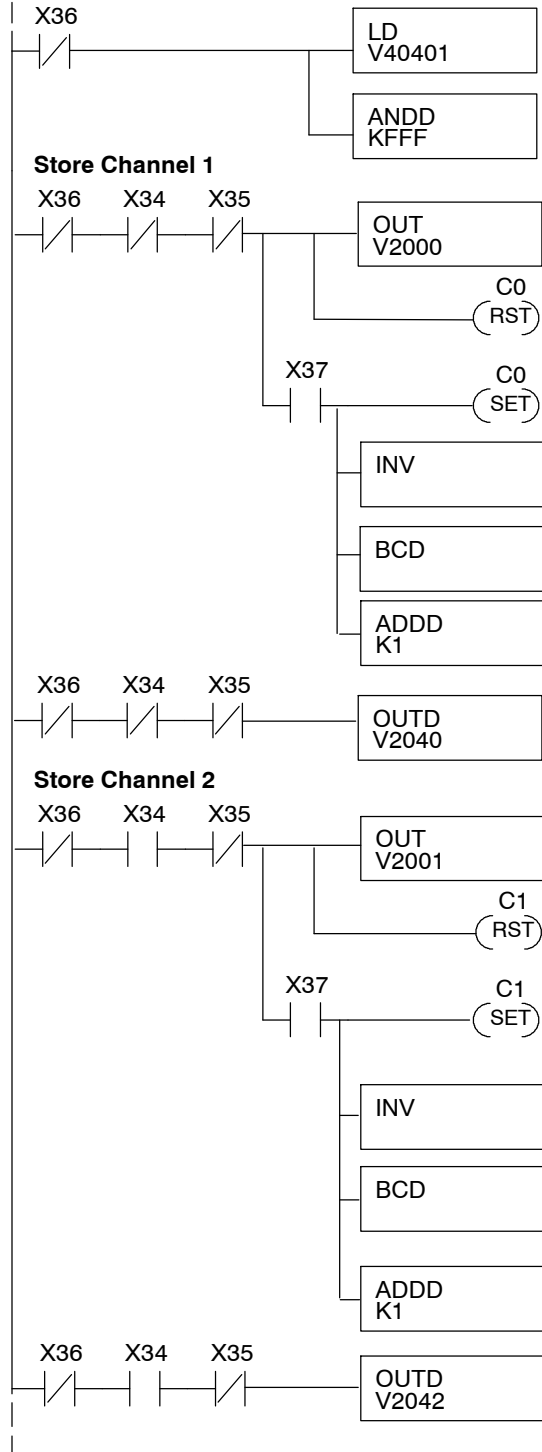
**Using 2's Complement (Multiplexing)**

The 2's complement data format may be required to display negative values on some operator interface devices. It could also be used to simplify data averaging on bipolar signals.



The example shows two channels, but you can repeat these steps for all four channels if necessary.

**Load data when module is not busy.**



Loads the complete data word into the accumulator. The V-memory location depends on the I/O configuration. See Appendix A for the memory map.

This instruction masks the channel identification bits. Without this, the values used will not be correct, so do not forget to include it.

When the module is not busy and X34 and X35 are off, channel 1 data is stored in V2000. C0 is reset to indicate that channel 1's value is positive.

If X37 is on, then the data value represents a negative voltage. C0 is set to indicate that channel 1's value is negative.

Invert the bit pattern in the accumulator.

Channel 1 data is in double word starting at V2040.

When the module is not busy and X34 is on and X35 is off, channel 2 data is stored in V2001. C1 is reset to indicate channel 2's value is positive.

If X37 is on, then the data value represents a negative voltage. C1 is set to indicate that channel 2's value is negative.

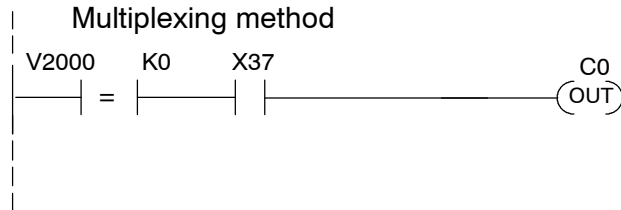
Invert the bit pattern in the accumulator.

Channel 2 data is in double word starting at V2042.

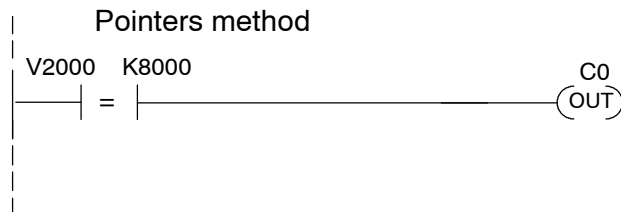
F2-04AD-2, (L)  
4-Ch. Voltage Input

### Analog Power Failure Detection

The analog module has a microcontroller that can diagnose analog input circuit problems. You can easily create a simple ladder rung to detect these problems. This rung shows an input point that would be assigned if the module was used as shown in the previous examples. A different point would be used if the module was installed in a different I/O configuration.



V-memory location V2000 holds channel 1 data. When a data value of zero is returned and input X37 is on, then the analog circuitry is not operating properly.



V-memory location V2000 holds channel 1 data. When a data value of 8000 is returned, then the analog circuitry is not operating properly.

### Scaling the Input Data

Most applications usually require measurements in engineering units, which provide more meaningful data. This is accomplished by using the conversion formula shown.

You may have to make adjustments to the formula depending on the scale you choose for the engineering units.

$$\text{Units} = A \frac{H - L}{4095}$$

H = high limit of the engineering unit range

L = low limit of the engineering unit range

A = Analog value (0 - 4095)

For example, if you wanted to measure pressure (PSI) from 0.0 to 99.9 then you would have to multiply the analog value by 10 in order to imply a decimal place when you view the value with the programming software or a handheld programmer. Notice how the calculations differ when you use the multiplier.

Analog Value of 2024, slightly less than half scale, should yield 49.4 PSI

Example without multiplier

$$\text{Units} = A \frac{H - L}{4095}$$

$$\text{Units} = 2024 \frac{100 - 0}{4095}$$

$$\text{Units} = 49$$

Handheld Display

V 2001	V 2000
0000	0049

Example with multiplier

$$\text{Units} = 10 A \frac{H - L}{4095}$$

$$\text{Units} = 20240 \frac{100 - 0}{4095}$$

$$\text{Units} = 494$$

Handheld Display

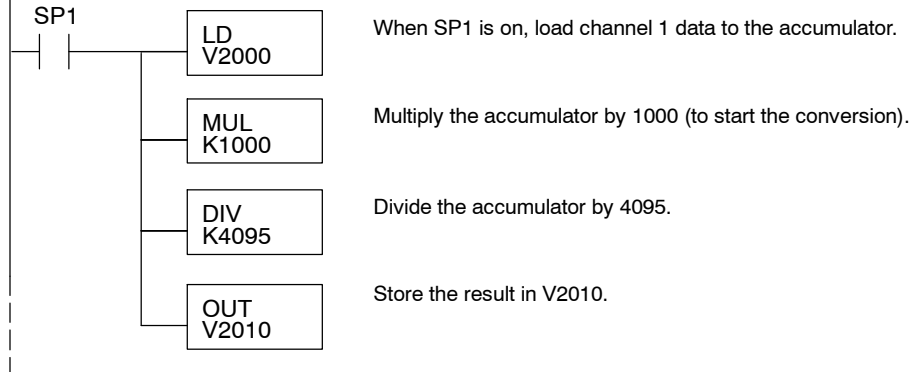
V 2001	V 2000
0000	0494

This value is more accurate.

Here is how you would write the program to perform the engineering unit conversion. This example assumes you have BCD data loaded into the appropriate V-memory locations using instructions that apply for the model of CPU you are using.



**NOTE:** This example uses SP1, which is always on. You could also use an X, C, etc. permissive contact.



**Analog and Digital Value Conversions**

Sometimes it is useful to be able to quickly convert between the signal levels and the digital values. This is especially helpful during machine startup or troubleshooting. Remember, this module *does not* operate like other versions of analog input modules that you may be familiar with. The bipolar ranges use 0-4095 for both positive and negative voltages. The sign bit allows this, which actually provides better resolution than those modules that do not offer a sign bit. The following table provides formulas to make this conversion easier.

Range	If you know the digital value ...	If you know the signal level ...
0 to 5V -5V to +5V	$A = \frac{5D}{4095}$	$D = \frac{4095}{5} (A)$
0 to 10V -10V to +10V	$A = \frac{-10D}{4095}$	$D = \frac{4095}{10} \text{ABS}(A)$

For example, if you are using the -10 to +10V range and you have measured the signal at 6V, use the following formula to determine the digital value that is stored in the V-memory location that contains the data.

$$D = \frac{4095}{10} (A)$$

$$D = \frac{4095}{10} (6V)$$

$$D = (409.5) (6)$$

$$D = 2457$$

### Filtering Input Noise (DL250-1, DL260 CPUs Only)

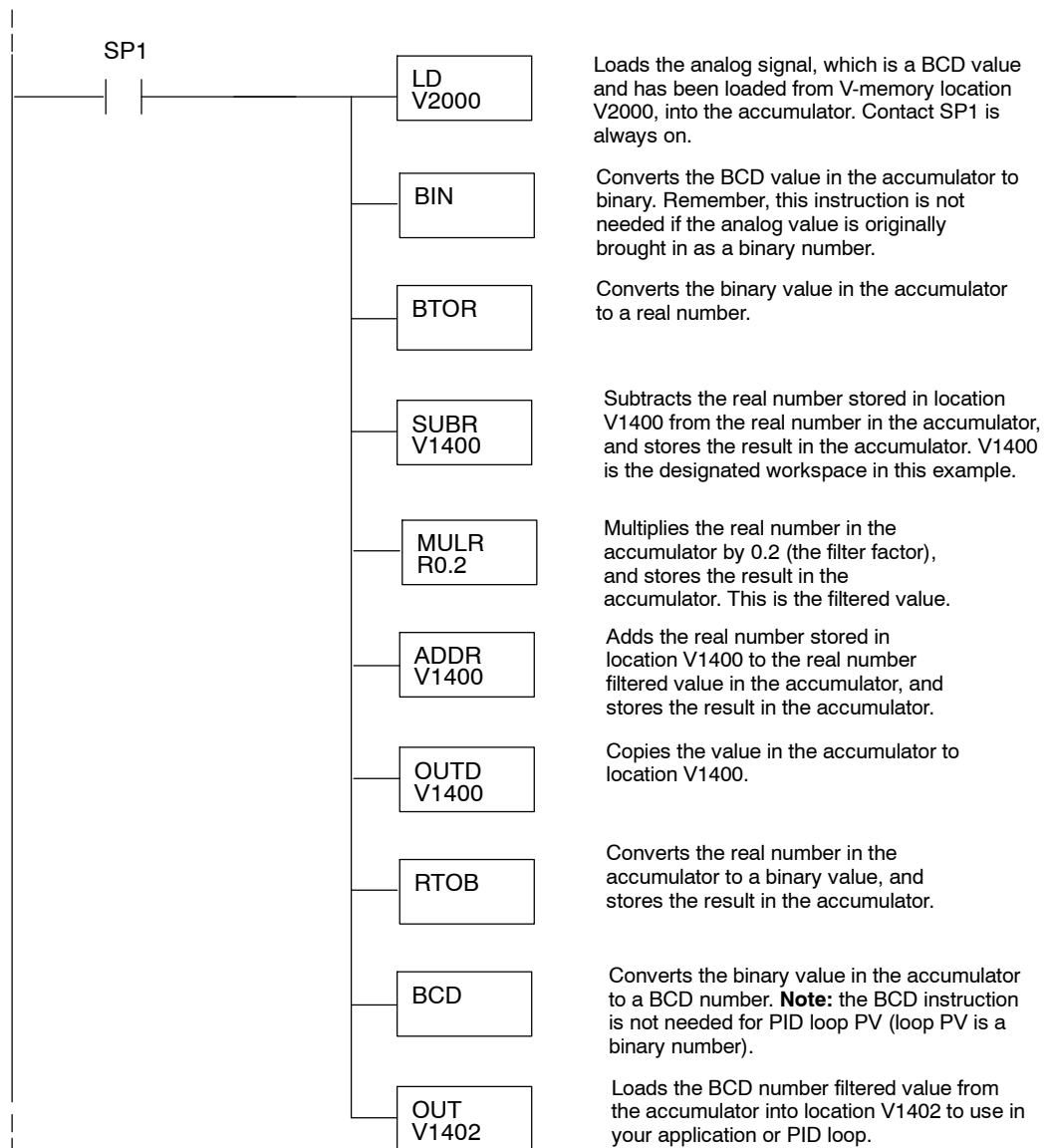
✗	✗	✓	✓
230	240	250-1	260



Add the following logic to filter and smooth analog input noise in DL250-1/DL260 CPUs. This is especially useful when using PID loops. Noise can be generated by the field device and/or induced by field wiring.

The analog value in BCD is first converted to a binary number because there is not a BCD-to-real conversion instruction. Memory location V1400 is the designated workspace in this example. The MULR instruction is the filter factor, which can be from 0.1 to 0.9. The example uses 0.2. A smaller filter factor increases filtering. You can use a higher precision value, but it is not generally needed. The filtered value is then converted back to binary and then to BCD. The filtered value is stored in location V1402 for use in your application or PID loop.

**NOTE:** Be careful not to do a multiple number conversion on a value. For example, if you are using the pointer method to get the analog value, it is in BCD and must be converted to binary. However, if you are using the conventional method of reading analog and are masking the first twelve bits, then it is already in binary and no conversion using the BIN instruction is needed.



F2-04AD-2, (L)  
4-Ch. Voltage Input