REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.

- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.

- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE DOSIFICACIÓN POR PESO DE AGUA Y ACEITE PARA LA ELABORACIÓN DE SALSAS PARA LA EMPRESA MARCSEAL S.A.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

LUIS FELIPE ZAMBRANO MORALES

feli_zm06@hotmail.com

DIRECTOR: ING. VANESSA CAROLINA BENAVIDES LAGUAPILLO MSc.

vanessa.benavides@epn.edu.ec

CODIRECTOR: DR.-ING. PAUL MARCELO POZO PALMA

marcelo.pozo@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2018

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Zambrano Morales Luis Felipe, bajo nuestra supervisión.

_____

ING. VANESSA CAROLINA BENAVIDES LAGUAPILLO
MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

_____

DR.-ING. PAUL MARCELO POZO PALMA CO-DIRECTOR
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Zambrano Morales Luis Felipe, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Zambrano Morales Luis Felipe

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo de este proyecto a mi padre y mi madre, que han sido un apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi hermano y hermana, que han sido mi compañía en todo momento.

A Samy, la luz de mis ojos, mi fuente de motivación e inspiración.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre y madre, por su amor, dedicación y paciencia durante toda mi vida.

A mi hermano Gabriel, que ha sido un compañero de vida.

A mi hermana Verónica, que ha sido un apoyo en los momentos difíciles.

A Samantha, mi fuerza en todo momento y la que llena de alegría a mi hogar todos los días.

Agradezco también a la Ing. Vanessa Benavides, por su ayuda, guía y compromiso en el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Marcelo Pozo, por su conocimiento y observaciones que ayudaron a que este proyecto sea mejor.

A mis amigos, gracias a ellos este camino fue mucho más fácil.

A la Escuela Politécnica Nacional, por haberme aceptado a ser parte de ella y así poder formarme como profesional.

Al Ing. Rafael Díaz, por la apertura y apoyo brindados durante todo el proyecto.

Al Sr. Oswaldo Álvarez, por haberme brindado la oportunidad de realizar mi proyecto de titulación en la empresa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA II
DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTO IV
ÍNDICE DE CONTENIDO V
RESUMEN VII
ABSTRACT VIII
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Objetivos 1
1.2 Alcance 1
1.3 Descripción de la planta 2
Recepción, transferencia y almacenaje de aceite 4
Elaboración de salsas frías 5
1.4 Procesos de la planta 7
Recepción, Transferencia y Almacenaje de Aceite 7
Elaboración de salsas frías 9
1.5 Sistemas de control de peso en tanques 15
Celdas de Carga 15
Medidores de caudal másicos 18
2. METODOLOGÍA 21
2.1 Solución Planteada 22
Primera propuesta 22
Segunda propuesta 26
Selección de la propuesta 28
2.2 Diseño 30
Recepción, transferencia y almacenaje de aceite 30
Elaboración de salsas frías 67
Sistema de adquisición de datos 94
Diseño de la red industrial 100
2.3 Implementación y calibración de equipos 107
Celdas de carga 107
Dosificación de agua y aceite 109
Cálculo de peso de tanques de almacenamiento 111
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 114

3.1 Recepción, transferencia y almacenaje de aceite 114
Pruebas de funcionamiento del sistema 115
Contraste de medición de peso 119
Medición de tiempo de descarga y transferencia de aceite 120
Verificación de peso real de tanques de almacenamiento con peso calculado 121
3.2 Elaboración de salsas frías 121
Pruebas de funcionamiento del sistema 122
Repetibilidad de la dosificación de agua y aceite 127
Enlace con la base de datos del sistema ERP 129
3.3 Generación de reportes 131
3.4 Análisis de costos 132
4. CONCLUSIONES 134
4.1 Conclusiones 134
4.2 Recomendaciones 135
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 136
6. ANEXOS 138
ANEXO I 139
ANEXO II 140
ANEXO III 141
ANEXO IV 182
ANEXO V 187
ANEXO VI 205
ORDEN DE EMPASTADO 229

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema automatizado de dosificación por peso de agua y aceite para la elaboración de salsas a base de aceite para la empresa MARCSEAL S.A.

La empresa MARCSEAL S.A. está empeñada en el mejoramiento continuo interno por lo que se ha concentrado en los aspectos más importantes de sus procesos e instalaciones. Dentro de este enfoque, el control de inventario de aceite y la digitalización de los datos de producción que involucra este producto son críticos. Anualmente existe una desviación aproximada de 20 toneladas de aceite, lo que implica pérdidas económicas. Este desfase se debe principalmente a la no disponibilidad de herramientas adecuadas de monitoreo y control.

El proyecto por desarrollarse plantea minimizar las diferencias e irregularidades en el inventario de aceite al cierre de cada año. Asimismo, con la automatización de los procesos se mejorará la productividad y eficiencia, se optimizará el recurso humano y se obtendrán registros de consumo de materia prima fundamentales para el análisis estadístico y planificación.

La digitalización de datos de producción del nuevo sistema facilitará la actualización de los inventarios en línea, generará reportes de consumo y producto terminado.

Además, la implementación de interfaces gráficas y adquisición de datos permitirá llevar a cabo análisis de indicadores de rendimiento (KPI) para dar a conocer el estado del sistema, sus problemas y oportunidades de mejora.

PALABRAS CLAVE: dosificación por peso, digitalización, automatización, KPI industrial

ABSTRACT

The main goal of this Project is the design and the implementation of an automatic dosing system for weight of water and for edible oil used in the preparation of mayonnaises, sauces, and dressings for MARCSEAL S.A.

MARCSEAL S.A. company is committed to continuously improving, therefore they have focused on the most important aspects of their processes and facilities. With this approach, inventory control of edible oil and production data digitalization involving this product is critical. There is a deviation of 20 ton of edible oil per year, which implies economic losses. This is due to the lack of adequate tools to monitor and control the system.

This Project proposes to minimize the irregularities and differences of the edible oil inventory at the end of each year. In addition, the automation of the process will lead to an improvement of efficiency and productivity, the human resource will be optimized and fundamental consumption records for statistical analysis and planification will be obtained.

Production data digitalization will enable online inventory updates and will generate production reports.

Furthermore, implementation of graphical interfaces and data acquisition will allow analysis of key performance indicators to know the system status, its problems and improvement opportunities.

KEYWORDS: dosing weight system, process automation, data acquisition, industrial KPI

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo comprende la información básica necesaria para el entendimiento del proyecto desarrollado, dentro del cual se realiza una descripción general de la empresa y de las instalaciones, y análisis de los procesos productivos y las problemáticas existentes concernientes al presente trabajo.

1.1 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es:

- Diseñar e implementar un sistema automatizado de dosificación por peso de agua y aceite en la elaboración de salsas para la empresa MARCSEAL S.A.

Los objetivos específicos son:

- Realizar una síntesis acerca del procedimiento para la elaboración de salsas.
- Diseñar e implementar dos sistemas automáticos: uno para la recepción de aceite y otro para el proceso de elaboración de salsas.
- Diseñar e implementar interfaces de usuario en Touch Panels y PC para la supervisión del proceso, visualización de parámetros e introducción de recetas y mando del sistema.
- Implementar un sistema de adquisición de datos para integrar el proceso al sistema informático y administrativo de la planta.
- Realizar pruebas de elaboración de salsas para validar el funcionamiento del sistema.

1.2 Alcance

- Se realizará un estudio de secuencias de funcionamiento en la empresa para determinar los procedimientos para la elaboración de las distintas salsas y así definir el sistema automatizado más adecuado para el proceso.
- Se diseñarán e implementarán dos sistemas automáticos de control, uno para la recepción, transferencia y almacenaje de aceite y otro para el proceso de elaboración de salsas. La modificación de la recepción de aceite comprenderá montajes electromecánicos, reemplazo del tanque, instalación de celdas de pesaje, montaje de válvulas, montaje de tablero de control, cableado de control y comunicación, programación y puesta en marcha. La automatización del proceso de elaboración de salsas abarca la dosificación de agua y aceite, la cual comprenderá un levantamiento

de secuencias de funcionamiento y recetas manuales existentes, montaje de celdas de pesaje en los tanques mezcladores, montaje de válvulas, montaje de tablero de control, instalación de un variador de frecuencia, cableado de control y comunicación, programación y puesta en marcha. [6]

- Se diseñarán e implementarán interfaces de usuario en Touch Panels y PC para el mando y supervisión del proceso, visualización de parámetros e introducción de recetas. En el área de recepción de aceite se instalará un Touch Panel para el mando de la descarga y transferencia de aceite. En el área de elaboración de salsas se instalarán 2 Touch Panels, uno para el área de mayonesas y otro para el área de salsas especiales. Y finalmente, en la oficina de producción se instalará una interfaz en PC que servirá de enlace con la base de datos, importación de recetas y generación de reportes.

- Se implementará un sistema de digitalización que comprenderá la adquisición de datos obtenidos en el proceso, pruebas de comunicación y enlace con el servidor de datos para uso administrativo.

- Se realizarán pruebas de validación para el sistema de recepción de aceite y se comprobará el funcionamiento del sistema de control para la elaboración de salsas: calibración de los sistemas de pesaje, verificación del accionamiento de las válvulas correspondientes, verificación de secuencia de recetas, verificación de introducción de datos de recetas, comprobación de calidad del producto final en conjunto con el departamento de control de calidad de la empresa.

1.3 Descripción de la planta

“MARCSEAL S.A., es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de salsas siendo sus principales productos salsa de tomate y mayonesa, los mismos que son distribuidos a nivel nacional y regional.” [1]

Los productos elaborados en la empresa se dividen por áreas de manejo de acuerdo con el modo de preparación, en: salsas frías y salsas calientes. Para las salsas calientes, se requiere el uso de vapor para la cocción del producto. En las salsas frías se realiza una mezcla y agitación controlada de las distintas materias primas para obtener el producto.

Los principales productos de la empresa se mencionan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Productos Terminados MARCSEAL

Salsas Calientes	Salsas Frías	
Salsa de tomate	Mayonesa Marcellos	Salsa Mil Islas
Pasta de tomate	Salsa amarilla	Salsa Twister KFC
Salsa de Ají	Mayonesa Marcellos baja en calorías	Salsa de Ajo Papa John's
Salsa BBQ	Salsa Ranch	Salsa Pizza Quiznos

Dentro del proceso de elaboración de salsas frías, el aceite comestible es el ingrediente principal y además es la materia prima de mayor incidencia en los costos de toda la empresa. Se consumen aproximadamente 80 toneladas por mes, por lo que la empresa decide invertir en un proyecto que permita controlar el uso de este rubro.

Por lo que el enfoque principal del presente trabajo es el manejo del aceite comestible, el cual comprende dos etapas, cada una de las cuales tiene asignada un área de manejo específica en la planta. En la Figura 1.1 se muestran dichas etapas con sus respectivas áreas de manejo.

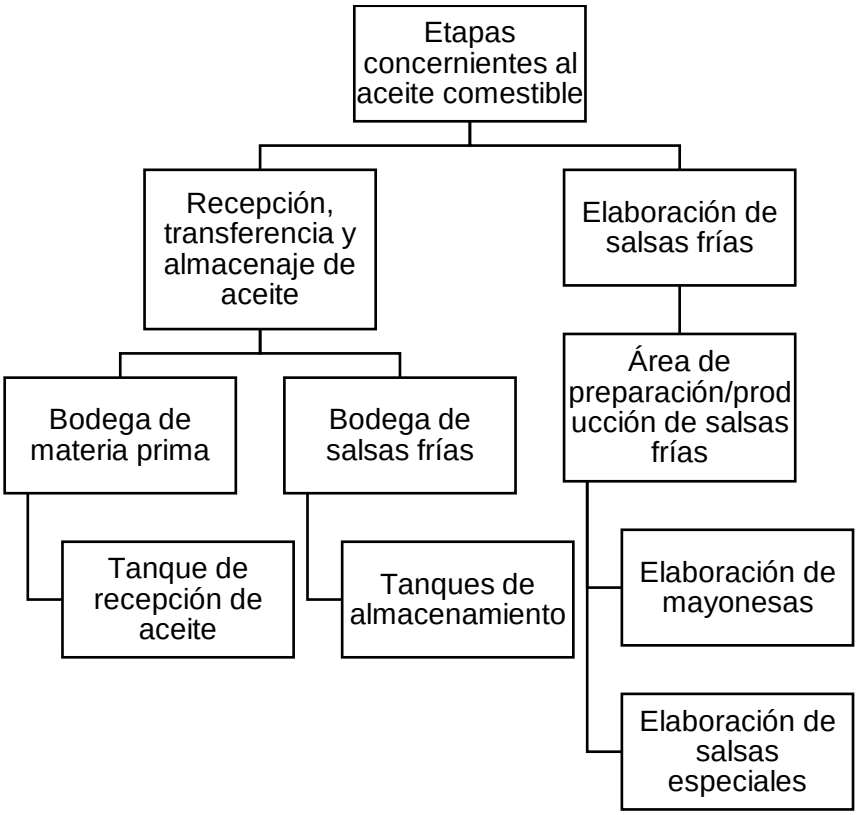


Figura 1.1. Etapas relacionadas con el aceite comestible y sus áreas de manejo

Recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Para la recepción de materia prima existe la bodega del mismo nombre ubicada en la planta baja de la empresa. Junto a esta bodega, se encuentra el tanque de recepción de aceite, visto en la Figura 1.2, cuya capacidad es 34 toneladas.

Figura 1.2. Tanque de recepción de aceite

La bodega de salsas frías se encuentra en el tercer piso de la planta, por lo que se debe realizar una transferencia, de la materia prima necesaria para producción, desde la bodega

de materia prima hacia la bodega de salsas frías. El aceite se transporta desde el tanque de recepción hacia dos tanques de almacenamiento, ubicados en la tercera planta, por medio de una bomba de 4 HP. La capacidad de cada tanque es de aproximadamente 4600 kilogramos.

El resto de materia prima, como almidón, azúcar, sal, huevos, etc., es transportada de una bodega a otra a través de un elevador.

Estas transferencias, son registradas en el sistema CANORUS ERP, que abarca todas las actividades de finanzas, logística y manufactura de la empresa.

Elaboración de salsas frías

En el área de preparación salsas frías, se ejecutan los procesos correspondientes a la elaboración de éstas, cuyo abastecimiento es la bodega descrita anteriormente.

Dicho proceso se resume en la Figura 1.3., mostrada a continuación.

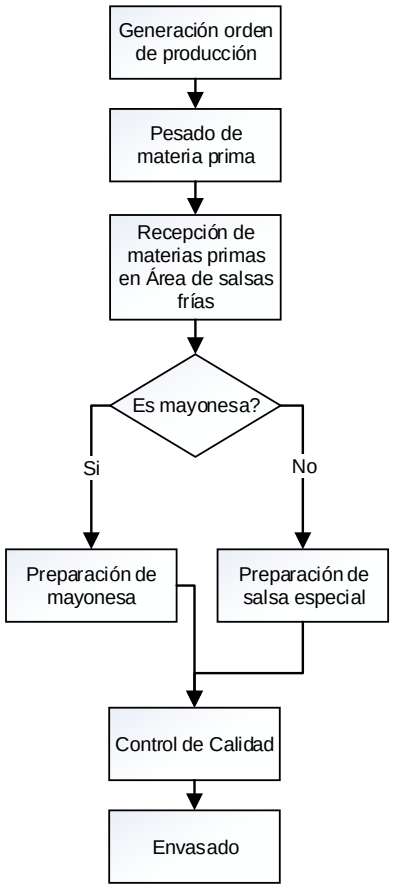


Figura 1.3. Proceso de elaboración de salsas frías

La elaboración de salsas frías inicia cuando se genera una orden de producción en la cual consta el producto a elaborarse, los ingredientes y las cantidades exactas para su preparación.

Luego se proceden a transferir las cantidades pesadas de materia prima de la bodega de planta baja hacia la bodega de salsas frías de acuerdo con la orden de producción, a excepción del aceite y el agua. La dosificación de aceite se realiza por medio de un flujómetro electromagnético y el accionamiento de válvulas manuales. La dosificación de agua se realiza de igual manera mediante la apertura de válvulas manuales, controlando visualmente el nivel de los tanques.

Una vez realizada la recepción de materia prima en la bodega de salsas frías, se procede a preparar las salsas en la sección correspondiente.

Después de culminar la preparación de salsas, una muestra es llevada para control de calidad, en donde se evalúan parámetros como PH, estabilidad, color y consistencia. Recibida la aprobación, continúa el proceso de envasado.

En esta etapa se ejecutan las recetas y procedimientos necesarios para la preparación de las distintas salsas frías. Esta área está subdivida en dos secciones.

Elaboración de mayonesas

En la sección de elaboración de mayonesas se preparan los diferentes tipos de estas salsas, que por su volumen de producción utiliza tanques de mayor capacidad.

Esta sección cuenta con cuatro tanques, tres tanques de premezcla y uno de mezcla: tanque de ingredientes solubles en aceite, tanque de ingredientes solubles en agua, tanque de cocción especial y tanque de mezcla de mayonesa respectivamente.

En cada tanque existen dos agitadores: uno de velocidad lenta y uno de velocidad rápida. El tiempo de encendido de los agitadores, la carga y la descarga de los distintos tanques dependen de la receta a elaborarse.

Elaboración de salsas especiales

En esta sección se preparan distintas salsas especiales que por su cualidad son producidas en menor cantidad. Este sitio cuenta con 3 tanques para la elaboración de las salsas, en cada tanque se puede preparar una salsa diferente. Su uso depende de la cantidad a preparar. Las capacidades de cada tanque son: 600 kg, 450 kg y 200 kg.

1.4 Procesos de la planta

Recepción, Transferencia y Almacenaje de Aceite

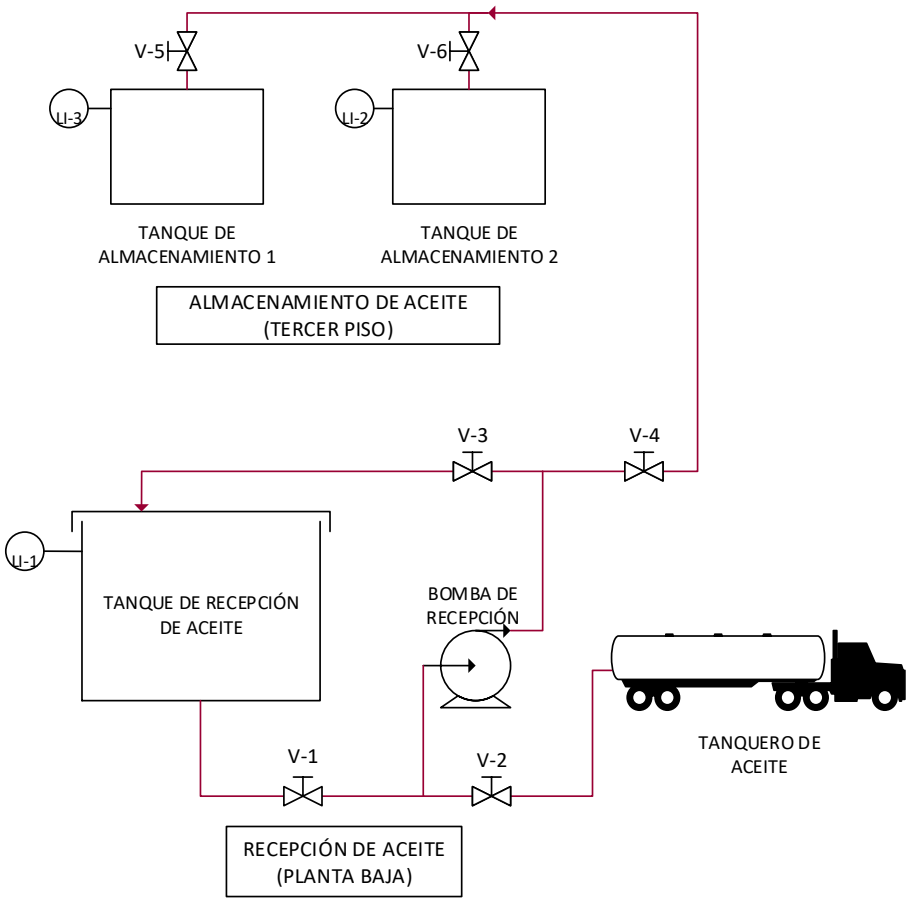


Figura 1.4. Diagrama P&ID de recepción, transferencia y almacenaje de aceite del estado anterior de la planta

De acuerdo con la planificación de producción mensual de la empresa, se generan órdenes de compra de aceite que dependen de la cantidad actual de aceite y del tiempo de respuesta del proveedor. El consumo aproximado de aceite es de 60 a 80 toneladas por mes. El proveedor despacha cada orden de compra en un tanquero de 20 a 30 toneladas de capacidad, por lo que un tanquero llega al menos dos veces por mes.

Una vez que el tanquero llega a la planta, se realiza un proceso de entrega y recepción de aceite, que consiste en:

- Pesar el tanquero en una empresa cercana que da este servicio.
- Descarga del tanquero hacia el tanque de recepción por medio de bombeo y apertura manual de las válvulas 2 y 3.

- Pesar el tanquero nuevamente para obtener la cantidad de aceite recibida.
- Contrastar la medida de peso determinada en la empresa de servicio de pesaje, con el valor de peso enviado en la guía del proveedor.

Una vez realizado este proceso, se ingresa al inventario el valor marcado por la balanza de la empresa de servicio de pesaje.

Dicho sistema de recepción permite conocer el peso inicial de aceite con certeza. Sin embargo, a partir de que se consume, la cantidad restante es estimada únicamente con un nivel visual, y debido a la no uniformidad del tanque de almacenamiento no es posible determinar la cantidad de aceite real con la que se cuenta.

Para abastecer de aceite a los tanques de almacenamiento del área de producción de salsas frías, una persona del área de bodega de materia prima en conjunto con un operador del área de salsas frías, se encargan de verificar diariamente los niveles existentes en los tanques y según esta verificación se realizan transferencias. Este proceso abarca los siguientes pasos:

- Verificación de niveles de aceite en los tanques de almacenamiento del área de producción de salsas frías.
- De acuerdo con la información de la planificación diaria de producción se realiza la transferencia desde el tanque de recepción hacia los tanques de almacenamiento con la apertura de las válvulas 1, 4 y 5 o 6.
- La cantidad transferida es estimada mediante indicadores de nivel visuales ubicados en cada tanque, tal y como se observa en la Figura 1.5.
- Se registra en el sistema informático estas transferencias de bodegas con los datos estimados.

Este proceso carece de herramientas adecuadas para determinar exactamente las cantidades transferidas, por lo que al cierre de cada mes existen variaciones en el inventario de aceite.

Debido a que la bomba se encuentra en la planta baja, junto al tanque de recepción, y los tanques de almacenamiento en la tercera planta, es necesario que en este proceso intervengan por lo menos dos personas porque el control es visual y manual.

Figura 1.5. Indicadores de nivel visuales en tanques de almacenamiento

Elaboración de salsas frías

Se inicia cuando el departamento de planificación de producción genera una orden de trabajo en la cual constan los siguientes elementos:

- Número de orden de producción
- Producto para elaborar
- Cantidad de producto en kg
- Número de lotes
- Listado de componentes con cantidades requeridas

Una vez que se emite la orden de producción, la bodega de materia prima procede a pesar, contar y llevar las cantidades requeridas en la orden hacia el área de producción. Este proceso se efectúa para todos los componentes con excepción del agua y del aceite.

Según lo descrito anteriormente, el área de elaboración de salsas frías se divide en dos subsecciones: elaboración de mayonesas y elaboración de salsas especiales. Dependiendo de la cantidad y el tipo de producto, se asigna la sección de preparación correspondiente.

En la Figura 1.6 se observa el diagrama de tuberías e instrumentación de las secciones del área de preparación de salsas frías

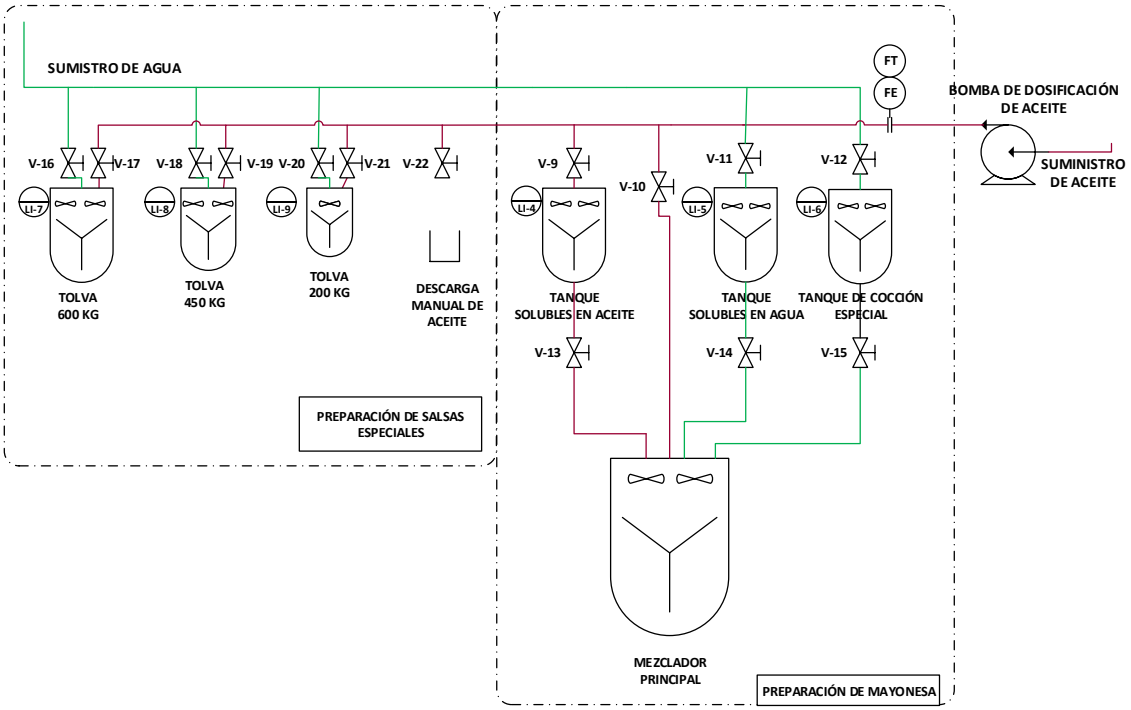
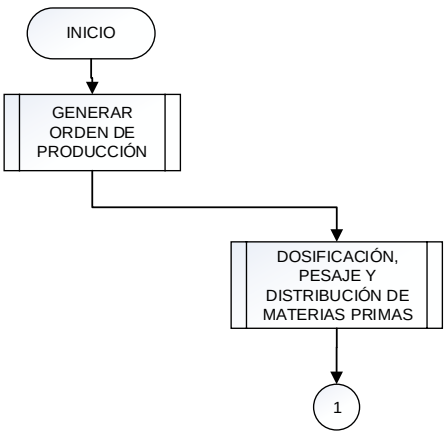


Figura 1.6. Diagrama P&ID del área de preparación de salsas frías del estado anterior de la planta

Tanto en el área de elaboración de mayonesas, como en el área de elaboración de salsas especiales, se sigue un proceso de preparación definido.

Dentro de la sección de preparación de mayonesas, a cada premezcla le corresponde una tolva. En cambio, en la sección de preparación de salsas especiales, dado que su requerimiento de producción es menor, las premezclas no se realizan en tolvas sino en bidones, y después estas premezclas junto con los ingredientes restantes como huevos ingresan en los tanques mezcladores, que tienen menor capacidad.

En la Figura 1.7. se presenta un esquema detallado del proceso de preparación de mayonesa.



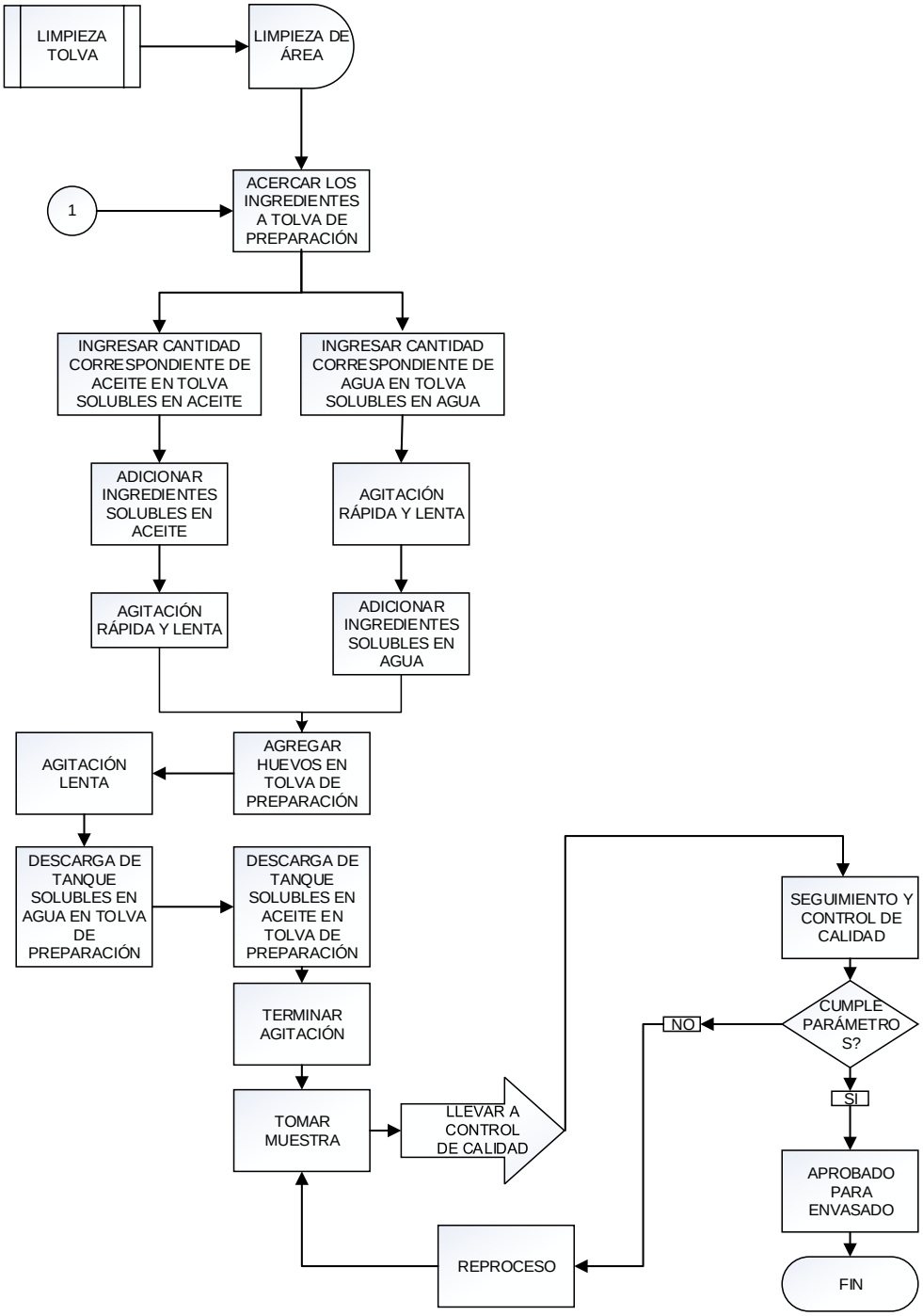


Figura 1.7. Proceso de preparación de mayonesas

Tal como se observa en el proceso, existen componentes que deben ser añadidos en etapas específicas. Los componentes se dividen en:

- Solubles en Agua
- Solubles en Aceite
- Otros

Los componentes solubles en agua se mezclan en la tolva del mismo nombre junto con el agua requerida. Y en forma similar se procede con los componentes solubles en aceite en la tolva correspondiente. Una vez elaboradas estas premezclas, se adicionan el resto de los ingredientes dentro del tanque mezclador principal y se procede a descargar las premezclas.

En la Figura 1.8. se presenta un esquema detallado de la elaboración de salsas especiales.

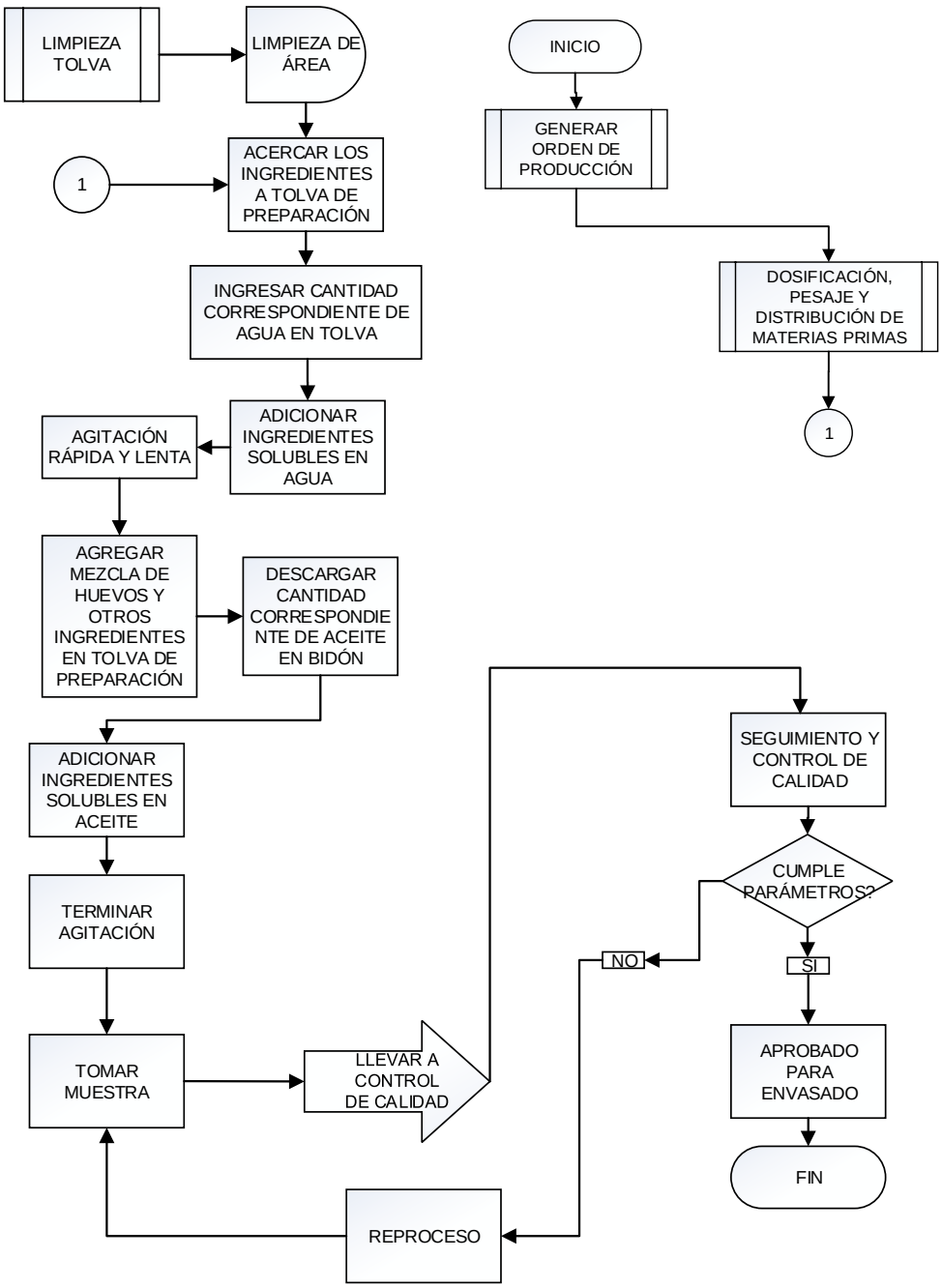


Figura 1.8. Proceso de preparación de salsas especiales

De acuerdo con los procesos descritos anteriormente, se establece que la forma de dosificación tanto del agua como del aceite es diferente a la del resto de componentes. Esto se debe a que los componentes llamados ingredientes minoritarios (huevos, almidón, sal, azúcar) de la receta llegan al área de producción en cantidades definidas y pre-pesadas en la bodega de materia prima, lo cual no es viable para el agua y el aceite por las cantidades requeridas en cada orden de producción.

Dosificación de Agua y Aceite

Para el abastecimiento de agua, la planta dispone de una cisterna en la planta baja y un banco de bombas, las cuales se encargan de mantener la presión dentro de un rango entre 30 y 60 PSI. Para el área de producción de salsas frías el agua sube a través de una red de tuberías que llegan a cada una de las tolvas de preparación.

En la elaboración de las salsas, la cantidad definida de agua es dosificada mediante la apertura de válvulas accionadas manualmente y el control de la cantidad es estimada por medio de indicadores visuales de nivel presentes en cada tolva.

Debido a esta estimación, se presentan errores de apreciación que pueden afectar a la calidad del producto.

Esta forma de dosificación requiere de la presencia permanente del operador. Lo que representa una subutilización de recurso humano.

La dosificación de aceite, en cambio, se realiza de acuerdo con siguiente procedimiento:

- Apertura manual de válvula de tanque de almacenamiento de origen
- Apertura manual de válvula de tolva de preparación de destino
- Ingreso del valor a dosificar en el flujómetro

Una vez completado este procedimiento, el flujómetro envía una señal a un relé que enciende la bomba de dosificación de arranque directo. Y se apaga automáticamente cuando se ha cumplido con la cantidad correspondiente.

Sin embargo, los valores ajustados en el flujómetro no corresponden a las cantidades dosificadas. Por lo que las tolvas de destino también poseen indicadores visuales de nivel para verificar dicha dosificación.

Dado a que este sistema es de carácter semi-automático, una vez concluida la dosificación existe la probabilidad de que el operador no cierre la válvula de la tolva utilizada. Y cuando

se requiera aceite en otra tolva, se bombeará aceite a dos tolvas al mismo tiempo. Esto puede generar desperdicios o afectación en la calidad del producto.

Dosificación de Ingredientes Minoritarios

Al realizar un análisis superficial, la dosificación de ingredientes minoritarios no representa un problema en sí, porque los ingredientes vienen pre-pesados de la bodega de materia prima. Sin embargo, la realidad de la situación es que los ingredientes necesitan ser clasificados de acuerdo con la solubilidad para ingresarlos en la mezcla.

Esta cualidad no está indicada en la orden de producción, y por lo tanto para poder discernir si un ingrediente es soluble en agua o aceite el operador tiene que ser capacitado previamente para evitar errores.

Además, existe la posibilidad de que uno o varios ingredientes sean omitidos al momento de elaborar una salsa.

Liquidación de producto terminado

Una vez concluido el proceso de elaboración de las salsas, el supervisor se encarga de realizar la liquidación de producto terminado de la siguiente manera:

- Se ingresa al sistema CANORUS ERP y se busca la orden de producción correspondiente.
- Para cada componente de la orden, se realiza el registro de consumo, que consiste en escribir la cantidad asignada y seleccionar el lote de origen.
- La cantidad asignada que se registra es igual a la cantidad requerida en la orden de producción.
- Se registra además el tiempo de producción y la cantidad de producto terminado obtenido.

Este proceso presenta varios inconvenientes:

- El tiempo utilizado por el supervisor para el proceso es de aproximadamente una hora-hombre diaria.
- Las cantidades que se registran de los componentes son iguales a las cantidades requeridas en la orden de producción. Esto implica que, alguna desviación en el consumo no quede registrada. Y por lo tanto se generan variaciones en el inventario.
- La cantidad registrada de producto terminado es igual a la cantidad planificada. De igual manera las variaciones no se registran, y en el proceso de envasado se podrían

presentar inconsistencias, como, por ejemplo: se planifica producir 1300 kg de mayonesa, pero la producción real fue de 1280 kg. La diferencia de 20 kg de producto representa aproximadamente 2800 sachets de 7g, los cuales no podrán ser justificados.

1.5 Sistemas de control de peso en tanques

Celdas de Carga

En los procesos industriales automatizados, es común ver tanques, silos y tolvas convertidos en balanzas. Basta con instalar celdas de carga con los accesorios adecuados en los soportes de los tanques, para convertirlos en sistemas de pesaje y de esta manera poder controlar los procesos productivos por lotes, determinar el peso para operaciones de inventario y para realizar dosificaciones de materias primas.

Las celdas que se utilizan para estas aplicaciones son celdas de carga a base de galgas extensiométricas. Una celda de carga es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible.

La compresión o la tensión a la que se somete la galga extensiométrica hace que ésta se deforme, y por lo tanto que varíe su resistencia eléctrica. Mediante un puente de Wheatstone se puede traducir esta variación en una variación de voltaje que está por lo general en el orden de los mV, como se observa en la Figura 1.9.

Las celdas de carga a base de galgas extensiométricas son los sensores de peso más comunes del mercado. Existen varias configuraciones del puente de Wheatstone para obtener la señal de la celda. En la mayoría de los casos, se utiliza una galga en cada brazo del puente, para obtener la máxima sensibilidad y minimizar el efecto de la temperatura. [2]

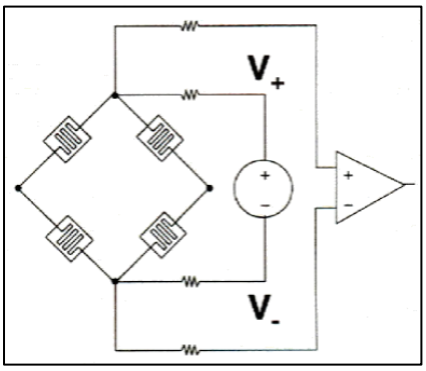


Figura 1.9. Circuito de puente de Wheatstone de galgas extensiométricas [3]

En la Tabla 1.2. se describe un cuadro comparativo de los tipos de celdas de carga de galgas extensiométricas y sus características principales.

Tabla 1.2. Cuadro comparativo de celdas de carga [3]

Tipo	Rango de peso	Precisión (Fondo de escala)	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Celdas de carga de viga flexión	5 a 2500 Kg	0.03%	Tanques, básculas de plataforma	Bajo costo, construcción sencilla	Extensómetros están expuestos, requieren una protección
Celdas de carga de compresión	250 kg a 15000 kg	0.02%	Pesaje de silos, tolvas, mezcladores y reactores incluso de grandes dimensiones y capacidad	Robustas y de fácil instalación. Diseño compacto con mediciones exactas.	Solo para cargas fijas en superficies planas.
Celdas de carga de cizallamiento	5 a 2500 Kg	0.03%	Tanques, básculas de plataforma, cargas descentradas	Rechazo de altas cargas, mejor sellado y protección	Alto costo
Celdas de carga de depósitos	hasta 250 toneladas	0.05%	Camiones, tanques	Sirven para movimientos de carga	Ninguna protección de carga horizontal
Celdas de carga de anillo	hasta 250 toneladas		Tanques, recipientes, básculas	Todo en acero inoxidable	Ningún movimiento permitido
Celdas de carga de botón y arandela	0 a 25 toneladas / 0 a 100 Kg típico	1%	Básculas pequeñas	Pequeñas, económicas	Cargas deben centrarse, ningún movimiento de carga permitido

Los tipos de celda más utilizados para aplicaciones de pesaje industriales son las celdas de viga de flexión, de viga de cizallamiento y de compresión.

De viga de flexión

En el sensor de viga de flexión, que se muestra en la Figura 1.10., las galgas extensiométricas están adheridas a las secciones planas superiores e inferiores de la celda de carga en los puntos de máxima tensión. Este tipo de celda de carga se desempeña con buena linealidad. Su desventaja es que debe ser dispuesta correctamente para obtener resultados consistentes.

Estos sensores ofrecen altos niveles de tensión con fuerzas relativamente pequeñas, lo que los hace ideales para celdas de carga de baja capacidad.

Debido a la disposición de las galgas, en la parte inferior y superior de la viga, siempre hay dos superficies que están expuestas a tensiones iguales, pero de signo diferente. Esto facilita la implementación de un puente completo de Wheatstone para mayor sensibilidad y compensación de temperatura.

Figura 1.10. Celda de carga de viga de flexión [4]

De viga de cizallamiento

A diferencia de la celda de carga de viga de flexión, las galgas extensiométricas están ubicadas en una parte reducida de la sección transversal de la viga para maximizar el efecto de las fuerzas de cizallamiento.

Las galgas están pegadas a 45° en ambos lados de la viga para medir los esfuerzos de cizallamiento.

Son usadas para capacidades medianas y grandes, la celda de carga tiene buena linealidad y no es susceptible a cargas ajenas como vibraciones.

Una ventaja considerable de las celdas de viga cizallamiento con respecto a las celdas de viga de flexión, es que justamente por la disposición de las galgas, existe un mejor manejo de cargas laterales y fuerzas dinámicas, y por lo tanto se tiene un retorno a cero más rápido.

En la Figura 1.11. se observa una celda de carga de viga de cizallamiento.

Fig. 1.11. Celda de carga de viga de cizallamiento [4]

De Compresión

A diferencia de las celdas de carga de viga, este tipo de celda no está expuesta a deformaciones mecánicas constantes, sino que están en permanente compresión. Esto posibilita que a largo plazo sean sumamente estables.

Debido a su geometría es fundamental que sean instaladas en superficies completamente planas.

Su construcción es muy robusta, y su instalación es sencilla. Lo que la hace ideal para entornos industriales.

En la Figura 1.12. se observa una celda de carga de compresión provisto de un botón de carga que concentra el peso para su medición.

Figura 1.12. Celda de carga de compresión [4]

Medidores de caudal másicos

En los procesos industriales es primordial la medición de caudales de líquidos y gases. Existen dos tipos de medidores de caudal, los volumétricos y los másicos.

En situaciones en las cuales la temperatura, presión y densidad del fluido son estables, el flujómetro volumétrico representa una solución confiable y de bajo costo.

Los flujómetros másicos en cambio se han destinado para las aplicaciones en donde la exactitud de la medida es sumamente importante.

Por lo tanto, no es recomendable el uso del flujómetro volumétrico para determinar consumos y suministros cuando se trata de controlar inventarios y facturación. Por lo que se analizarán únicamente los flujómetros másicos. [2]

Medidor de Coriolis

El medidor de Coriolis consiste en un tubo vibrante por el cual se hace fluir una masa. Una bobina conductora hace vibrar al tubo y se produce una oscilación sinusoidal, y con el paso del fluido, se generan pequeñas deformaciones en el tubo que producen un desfase en la

onda que es medido por dos sensores colocados antes y después de la bobina respectivamente. El cambio de fase es directamente proporcional al flujo másico. Este principio de medida funciona independientemente de las propiedades físicas del fluido. [4]

Además de la medida de caudal másico, muchos flujómetros disponibles, ofrecen también medidas de densidad y temperatura. En la Figura 1.13. se observa el funcionamiento y disposición de los elementos del medidor.

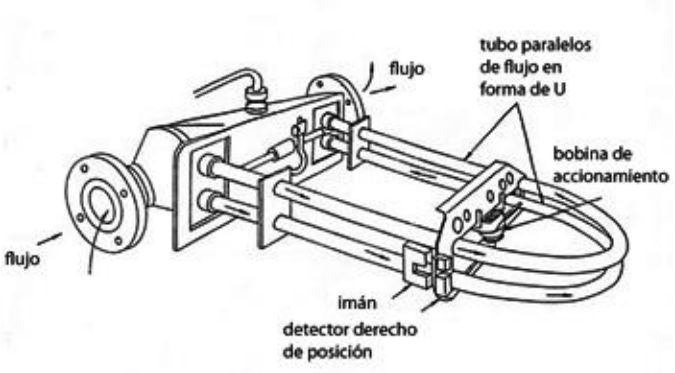


Figura 1.13. Flujómetro másico de Coriolis [5]

Medidor por dispersión térmica

El flujómetro másico por dispersión térmica consiste en el paso de un fluido a través de un tubo recto el cual es calentado en su punto medio. Dispuestos simétricamente a la fuente de calor, se encuentran dos sensores de temperatura. Cuando no existe paso de fluido, las temperaturas son iguales, pero a medida que el caudal aumenta, se genera una diferencia de temperatura entre las dos sondas. [2] Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo, como se observa en la Figura 1.14.

Este medidor es más adecuado para medir caudal másico en gases. Puede ser usado también para líquidos, pero con caudales demasiado bajos, del orden de los 20 kg/h.

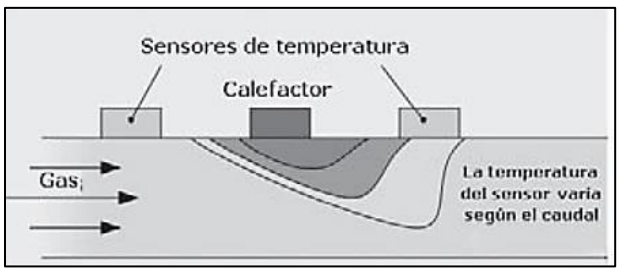


Figura 1.14. Flujómetro másico de dispersión térmica [2]

En la Tabla 1.3 se presenta una comparación de los flujómetros másicos descritos.

Tabla 1.3. Cuadro comparativo medidores de flujo de masa

Método/característica	Coriolis	Dispersión térmica
Tipo de fluido	Gases y líquidos	Gases puros y limpios, líquidos de muy bajo caudal
Rangeabilidad	10:1	100:1
Exactitud	0.1-0.3%	1-2%
Temperatura usual °C	-50 a 250	-10 a 100
Magnitud de medida	Flujo másico	Flujo másico
Tipo de lectura	Directa	Directa
Dimensiones	Hasta 6 “	Independiente del tamaño

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la explicación del proyecto, su diseño y las actividades que posibilitan su desarrollo. El tipo de investigación del proyecto es aplicado, ya que soluciona la problemática de la dosificación por peso en la elaboración de salsas, además del monitoreo del inventario de aceite en línea.

Las técnicas para recolectar información incluyen observación en campo del proceso de elaboración de salsas y consulta acerca de los métodos de dosificación por peso óptimos.

Las fases metodológicas que permiten el desarrollo del proyecto son las siguientes:

A. Fase teórica

- Se realizará un estudio de sistemas de pesaje en tanques para determinar el tipo más adecuado de celdas de carga a utilizarse.
- Se realizará un análisis técnico para establecer el sistema de comunicación adecuado entre los distintos dispositivos a instalarse en el proyecto.
- Se analizará la secuencia de funcionamiento correspondiente a la elaboración de salsas y la preparación de recetas.

B. Fase de diseño

- Se establecerán exigencias de sustitución de elementos e implementación de nuevos equipos con el fin de automatizar el proceso.
- Se diseñará un sistema de control basado en controladores lógicos programables (PLCs) los cuales deberán estar equipados con los módulos necesarios para las soluciones planteadas.
- Se diseñarán las interfaces de usuario mediante Touch Panels para la supervisión del proceso e introducción de recetas.
- Se diseñarán los tableros de control y consolas de mando.
- Se diseñará una interfaz mediante un computador para visualización del sistema, la adquisición de los datos y su integración a la red administrativa.

C. Fase de implementación

- Se realizará la fabricación y/o sustitución e implementación de equipos.

- Se implementará el sistema de control basado en PLCs para el funcionamiento automático y manual.
- Se implementarán interfaces de usuario HMI los cuales permitirán la visualización y control del proceso.
- Se implementará una interfaz mediante un computador para visualización del sistema y obtención de datos para su integración a la red administrativa.
- Se realizarán las calibraciones correspondientes previas a las pruebas de funcionamiento del sistema

D. Fase de validación / análisis de resultados/ pruebas de funcionamiento

- Se realizarán las pruebas de secuencias necesarias para validar el funcionamiento del sistema.
- Se realizará un análisis en donde se contrastarán los datos obtenidos del sistema de recepción de aceite con los suministrados por el proveedor.
- Se realizará una generación de reportes en base a los datos obtenidos del sistema implementado.

2.1 Solución Planteada

Una vez realizado el análisis de la problemática, y el estudio bibliográfico de los sistemas de control de peso en tanques, se han desarrollado dos propuestas de solución para cada etapa: recepción, Transferencia y almacenaje de aceite y Elaboración de salsas frías.

Primera propuesta

Recepción, transferencia y almacenaje de aceite

De acuerdo con la descripción de los procesos de la planta, para la recepción, transferencia y almacenaje de aceite se obtuvo que:

- Es posible determinar el peso inicial de aceite, pero no la cantidad existente en todo momento.
- La bomba no es de grado alimenticio.
- No se pueden determinar exactamente las cantidades transferidas de aceite.
- Se necesitan dos personas para realizar las transferencias.

A fin de determinar el ingreso y el consumo de aceite, esta propuesta considera la instalación de un flujómetro, debido a que el inventario y dosificación de aceite se mide en kilogramos, el tipo de flujómetro propuesto a utilizarse debe ser másico y no volumétrico.

Los objetivos que deberá cumplir el flujómetro serán:

- Medición de la cantidad de ingreso de aceite desde el tanquero hacia el tanque de recepción.
- Medición del consumo de aceite desde el tanque de recepción hasta los tanques de almacenamiento.

Se plantea reemplazar la bomba de recepción por una de grado alimenticio. Esto permitirá a la empresa cumplir estándares de calidad exigidos en la fabricación de alimentos.

Además, se reemplazarán las válvulas de acción manual por válvulas con actuadores neumáticos y electroválvulas para la acción de los actuadores.

Se considera también construir un tablero que incluirá:

- PLC, encargado de recibir los datos del flujómetro, apertura de electroválvulas, encendido de la bomba.
- HMI, para mando del sistema, selección del modo de trabajo, y visualización de la cantidad de aceite en el tanque.
- Guardamotor y contactor, debidamente dimensionados para la protección y maniobra de la bomba.

Por último, la propuesta incluye el diseño de una interfaz en un computador para visualización del sistema y obtención de datos para su integración a la red administrativa.

En la Figura 2.1. se observa el P&ID de la propuesta.

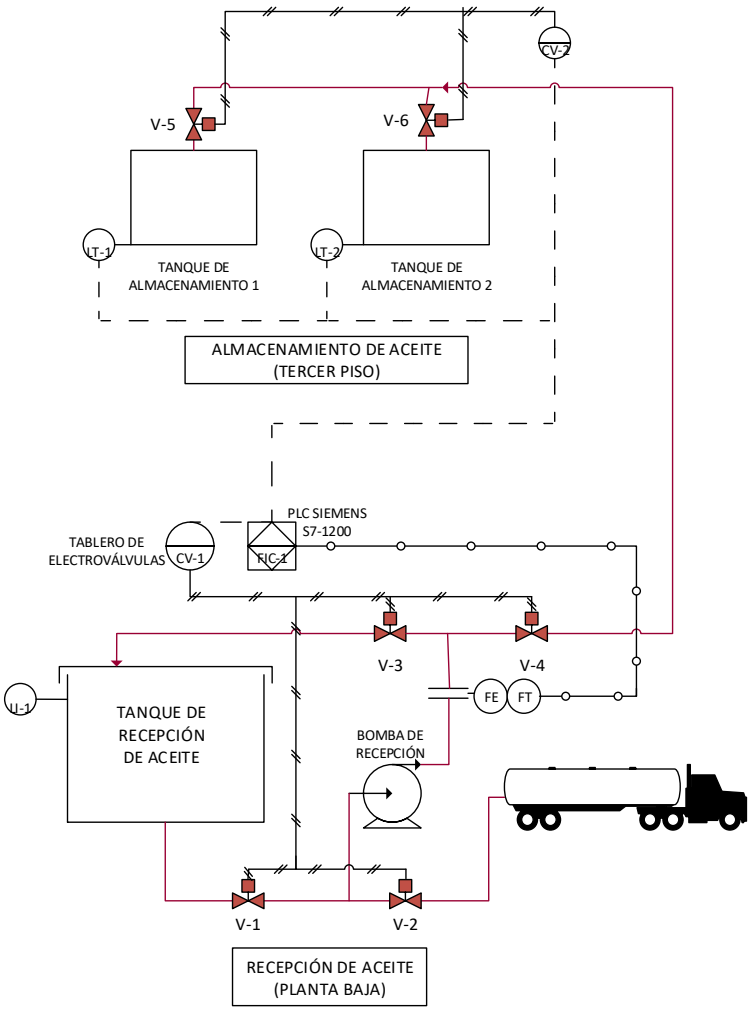


Figura 2.1. P&ID de la propuesta con flujómetro para recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Elaboración de salsas frías

Tomando en cuenta la descripción del proceso de elaboración de salsas frías, los principales inconvenientes son:

- Errores de apreciación que pueden afectar la calidad del producto.
- Subutilización de recurso humano.
- Capacitaciones adicionales a los operadores para evitar errores.

Para solucionar esta problemática, se plantea la automatización del proceso. Al igual que en la etapa de recepción, transferencia y almacenaje de aceite, se propone la instalación de flujómetros para la dosificación tanto de agua como de aceite.

- Para la dosificación de agua se plantea el uso de un flujómetro electromagnético instalado en la entrada de suministro de agua del área de elaboración de salsas frías.
- Para la dosificación de aceite se plantea reemplazar el flujómetro existente por uno de mayor precisión.

Con el reemplazo de las válvulas, la implementación del sistema de control del PLC, la instalación de los flujómetros y la implementación del HMI, el sistema está en capacidad de dosificar automáticamente las cantidades correspondientes de agua y aceite para cada receta. Además, se contempla la fabricación e instalación de un tablero de control.

Por último, este PLC estará enlazado al PLC de recepción y la interfaz diseñada en la PC.

En la Figura 2.2. se muestra el esquema de la primera propuesta para el proceso de elaboración de salsas frías.

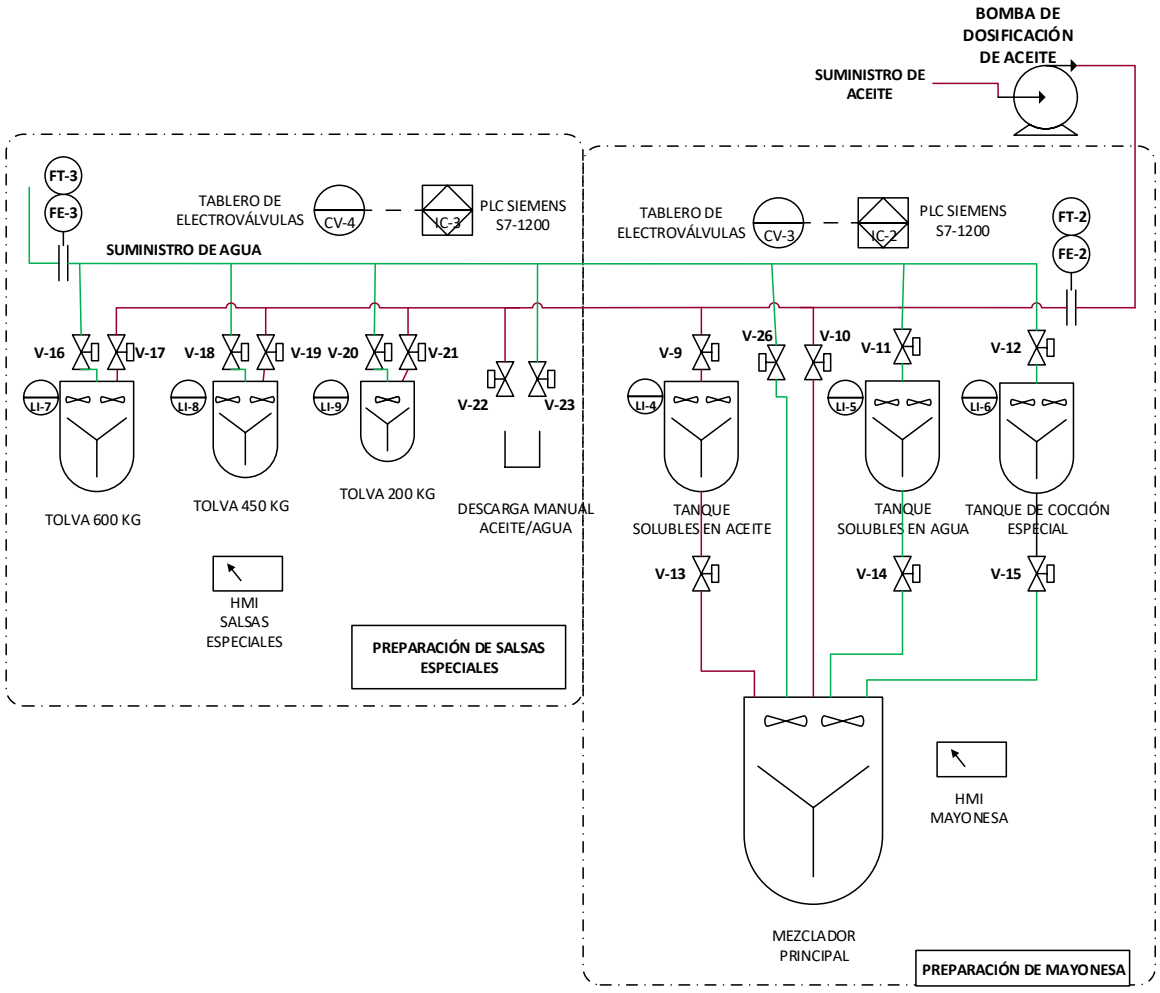


Figura 2.2. Esquema de la primera propuesta para el proceso de elaboración de salsas frías

Segunda propuesta

Recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Esta propuesta considera la instalación de celdas de carga para determinar el peso de aceite disponible, pero, debido a que el tanque de recepción existente se encuentra empotrado en el suelo, es imposible el montaje de las celdas en el mismo.

Por lo cual se construirá un nuevo tanque diseñado para el montaje de las celdas de carga. Para la adquisición del valor del peso, se instalará un transmisor de las siguientes características.

- Integración de por lo menos 4 canales de celdas de carga.
- Grado de protección IP67 o superior.
- Protocolo de comunicación industrial.

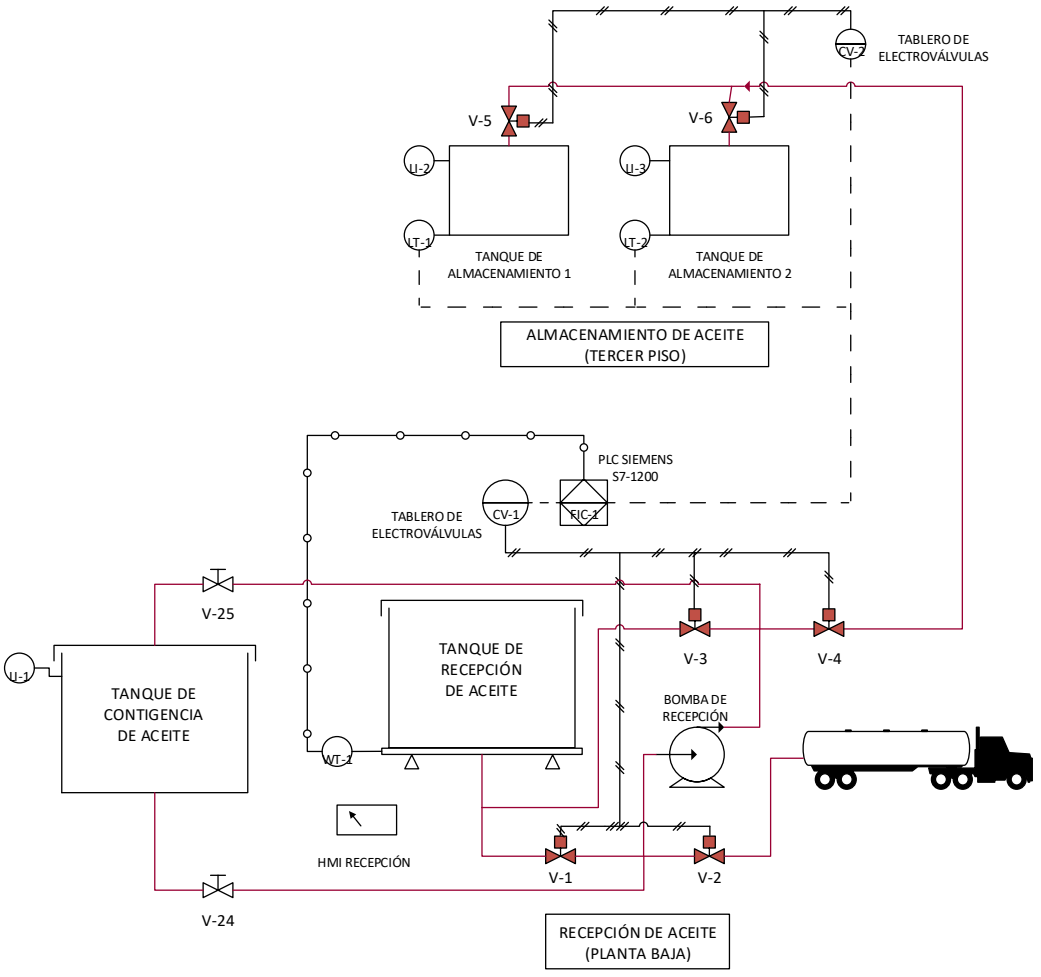


Figura 2.3. P&ID de la segunda propuesta para el proceso de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Al igual que la primera propuesta, se contempla el reemplazo de la bomba, cambio de válvulas, fabricación e instalación de un tablero de control, instalación de sensores de nivel en los tanques de almacenamiento y una interfaz diseñada en una PC.

Además, se instalarán válvulas manuales en el tanque de recepción antiguo, el cual servirá como tanque de contingencia. En la Figura 2.3. se observa el P&ID de la propuesta.

Proceso de elaboración de salsas frías

Se considera la instalación de celdas de carga para determinar el peso de agua y aceite en cada tanque de preparación. Se instalará un transmisor de peso en cada tanque de características similares al transmisor del tanque de recepción.

Se instalará además un variador de velocidad para optimizar el control de la bomba de dosificación de aceite. Al igual que la primera propuesta, se instalará un tablero de control que incluye un PLC, HMI y los elementos necesarios para el sistema de control. En la Figura 2.4. se muestra un esquema de la segunda propuesta.

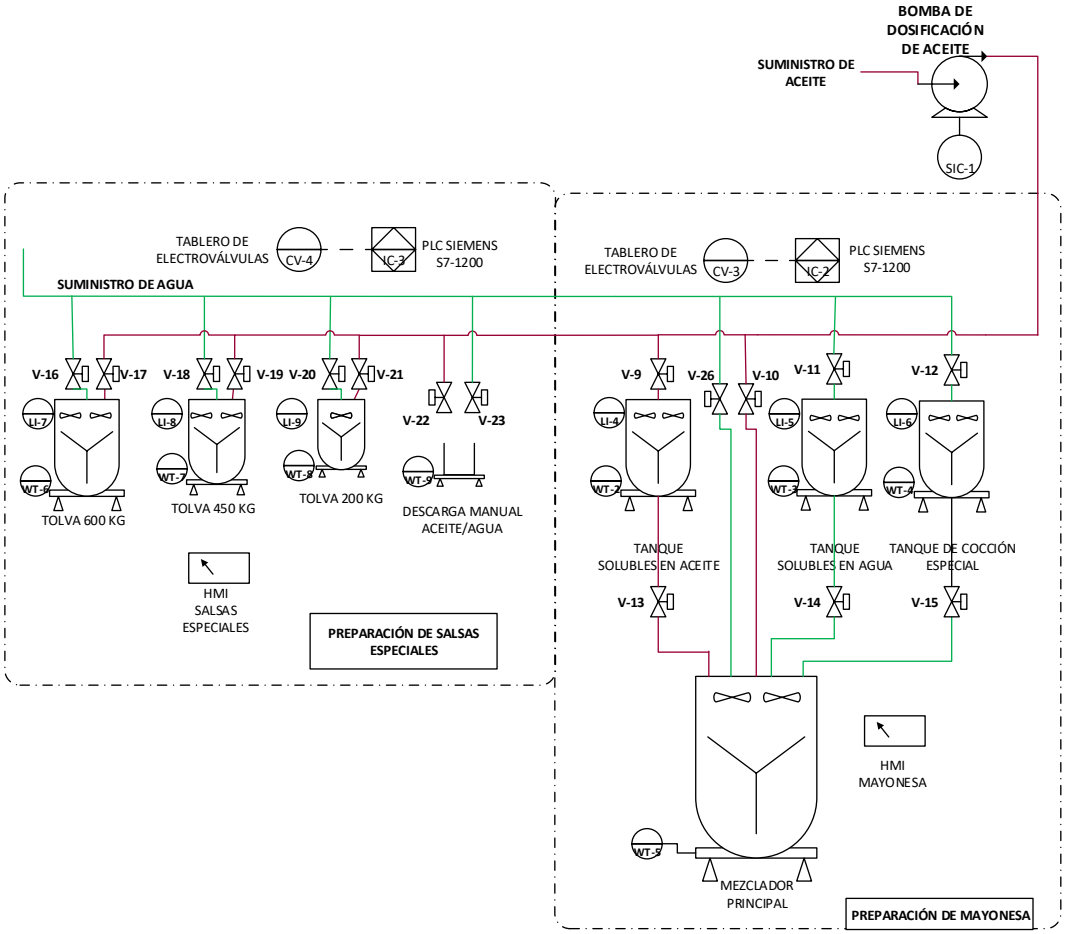


Figura 2.4. Esquema de la propuesta con celdas de carga para elaboración de salsas frías

Selección de la propuesta

Se plantearon dos soluciones para resolver la problemática del consumo de aceite en la empresa. La primera solución contempla la instalación de flujómetros tanto para la etapa de recepción, transferencia y almacenamiento de aceite como para la elaboración de salsas frías. En la segunda en cambio, se propone la utilización de celdas de carga para el tanque de recepción y para todas las tolvas de preparación de salsas frías.

De acuerdo con requerimiento de la empresa, se establece que la solución escogida sea la que aporte más prestaciones y entregue la mayor precisión y confiabilidad en la medida de inventario y consumo de aceite, independientemente del costo inicial.

La Tabla 2.1. muestra un cuadro comparativo de características del flujómetro másico de Coriolis *Elite* de *Emerson* con las celdas de carga *CBL10000* de *LAUMAS.* Cabe destacar que el flujómetro escogido para la comparación es el mejor del mercado internacional.

Tabla 2.1. Cuadro comparativo de características flujómetro másico Emerson – celdas de carga LAUMAS

Características	Flujómetro Emerson	Celdas LAUMAS	Evaluación de prestaciones
Precisión	±0.05%	±0.03%	La precisión de los dos dispositivos es sumamente alta.
Variable de medida	Caudal Másico	Peso	La ventaja de una u otra medida depende de la aplicación a la cual será destinado el equipo.
Dificultad de la instalación	Baja	Alta	Un flujómetro másico se puede instalar en cualquier punto de la tubería y en cualquier posición, pero para instalar celdas de carga en un depósito es necesario realizar acondicionamientos mecánicos.
Costo inicial	Alto (USD 35,000 sólo el flujómetro)	Alto (USD 50,000 celdas + nuevo tanque de recepción)	Las celdas de carga y su instalación representan un costo inicial alto. Así mismo, el flujómetro másico es un dispositivo de alto costo.

En base al marco teórico investigado acerca de los sistemas de control de peso en tanques, se concluye que tanto el flujómetro másico como las celdas de carga tienen características similares, y por lo tanto sus prestaciones y funcionalidad son las que definirán la selección de la propuesta más adecuada.

Como se revisó en el Capítulo 1, el abastecimiento de aceite de la empresa se realiza mediante bombeo desde un tanquero hacia el tanque de recepción.

Con el uso del flujómetro másico, se determina la cantidad exacta de aceite descargado. Por lo que inicialmente el peso de aceite en el tanque es conocido. Al realizar transferencias del tanque recepción hacia los tanques de almacenamiento del área de salsas frías, el aceite restante es determinado por la diferencia entre el valor inicial y el dato de consumo proporcionado por el flujómetro. Esto representa una desventaja importante ya que cualquier consumo que no pase por el flujómetro no quedará registrado, y por lo tanto la medida de la cantidad de aceite en el tanque de recepción no es confiable. Al instalar celdas de carga en el tanque de recepción, este inconveniente es solucionado.

En la elaboración de salsas frías, las tolvas de mezcla y premezcla requieren dosificación de aceite y agua. Así pues, para tener dosificación simultánea será necesario instalar un flujómetro para cada tolva. Además del elevado costo que implica esta solución, no se puede determinar el peso final del producto, que tiene compontes adicionales al aceite y agua.

La solución con celdas de carga también implica instalación en cada tolva. Pero con la ventaja de que se puede determinar el peso del producto final.

En conclusión, las prestaciones y ventajas que ofrece la solución con celdas de carga son mejores que la solución con flujómetros másicos, por lo que se selecciona la segunda propuesta como el sistema a implementar.

En el ANEXO I se muestra el diagrama de la solución escogida.

Adicionalmente a la problemática descrita, se presentan otros inconvenientes, los cuales son solucionados a continuación.

Los ingredientes minoritarios, a pesar de llegar pre-pesados al área de preparación de salsas frías, presentan los siguientes problemas:

- Los ingredientes necesitan ser clasificados por solubilidad.
- Algunos ingredientes pueden ser omitidos durante la elaboración de una salsa.

La propuesta planteada incluye un HMI y una interfaz en PC, que facilitará la supervisión del proceso cuyo diseño abarcará:

- Importación de recetas desde la base de datos del sistema administrativo.
- Visualización del listado de ingredientes clasificados por solubilidad.

- Confirmación de añadido de ingredientes.

Otro inconveniente se presenta en el proceso de liquidación de producto terminado:

- No se registran desviaciones en las cantidades de consumo y producción.
- Subutilización de recurso humano al ingresar los datos de producción al sistema informático.

A fin de corregir lo anteriormente expuesto, se diseñará una interfaz en PC que realice:

- Adquisición de datos de consumo obtenidos del PLC.
- Escritura automática de los consumos y producción reales en el sistema informático.
- Generación de reportes diarios, semanales y mensuales

2.2 Diseño

Tal y como se realizó en el análisis de la problemática, el diseño se dividirá en:

- Recepción, transferencia y almacenaje de aceite
- Elaboración de salsas frías

Recepción, transferencia y almacenaje de aceite

En el numeral 2.1.2.1. se mencionó que para la instalación de celdas de carga se debe fabricar un nuevo tanque de recepción para el montaje de estas. Su diseño y fabricación quedan fuera del análisis del presente documento. Sin embargo, los planos constructivos se incluyen en el ANEXO II.

La solución con celdas de carga para la recepción, transferencia y almacenaje de aceite, mostrada en la Figura 2.5., implica el dimensionamiento de los siguientes elementos:

- Selección de celdas de carga.
- Selección de transmisor de peso.
- Dimensionamiento de la bomba.
- Selección de válvulas.
- Selección de sensores de nivel.
- Dimensionamiento de PLC.
- Selección del panel de operador.

Adicionalmente, es necesario el diseño del diagrama y el tablero de control.

El diseño del sistema de control y la elaboración de imágenes del panel de operador se realizará detalladamente en los siguientes numerales.

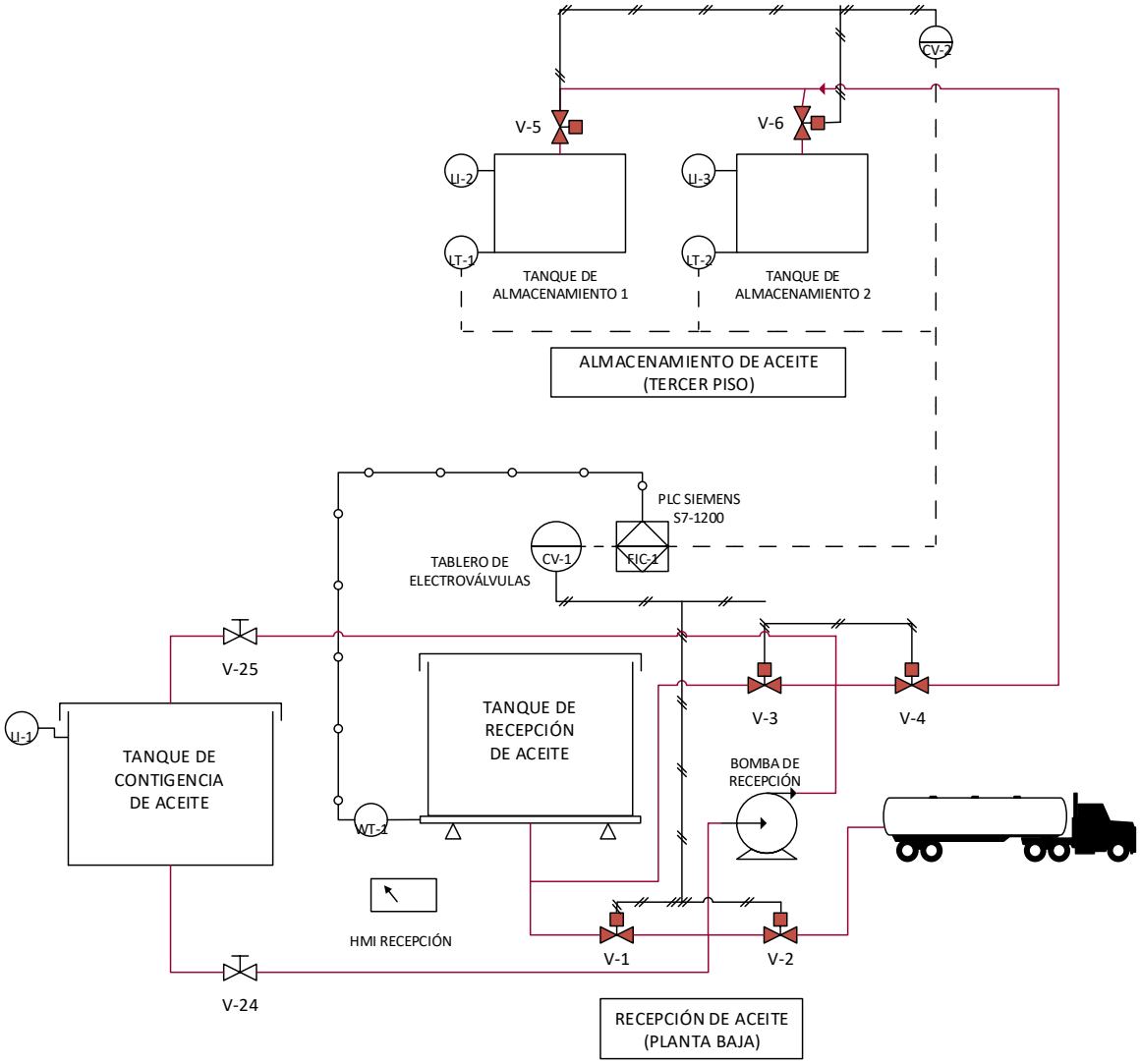


Figura 2.5. P&ID de la solución para el proceso de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Selección de celdas de carga para tanque de recepción

Para calcular la capacidad y el número de celdas de carga se hará uso de la Ecuación 2.1. y 2.2.

$$Cap.TotalCelda = (Cap.Tanque + Peso\ Muerto) * FactorSeguridad$$

Ecuación 2.1. Capacidad total de celdas de carga [6]

$$Cap.IndividualCelda = Cap.\frac{TotalCelda}{NúmeroCeldas}$$

Ecuación 2.2. Capacidad individual de celdas de carga [6]

Donde:

- La capacidad del tanque según los requerimientos del cliente es de 32000 kg.
- El peso muerto es igual al peso del tanque y sus accesorios, que es aproximadamente 3500 kg.
- Se considera un factor de seguridad de 1.1.

De esta manera:

$$Cap.Total = (32000 + 3500) * 1.1 = \mathbf{39050\ kg}$$

El tanque tiene cuatro soportes, entonces el número de celdas de carga será igual. Por lo que la capacidad de cada celda es igual a:

$$Cap.IndividualCelda = \frac{39050}{4} = \mathbf{9762.5\ kg}$$

Además, se deben considerar las siguientes características de la aplicación:

- El tanque de recepción será instalado en una superficie totalmente plana.
- El tanque no se encuentra expuesto a carga de viento ni a vibración significativa del suelo.
- El peso se encuentra vertical a los soportes.
- La carga es fija.
- Se requiere estabilidad a largo plazo.

Con estas consideraciones, la celda seleccionada es la CBL10000 de LAUMAS que tiene las siguientes características:

- Tipo de celda: de compresión.
- Capacidad: 10000 kg.
- Clase II.
- Grado de protección IP 68.

Transmisor de peso

Un transmisor es un elemento que trasforma una señal de proceso y la convierte en una señal que pueda ser transmitida a distancia. La señal transmitida puede ser electrónica, neumática, digital, óptica, hidráulica, entre otras. El transmisor es un dispositivo de suma importancia en el control de procesos porque es el que adecua una magnitud física en una señal útil para un controlador.

El uso de transmisores en la industria ha llevado a un notorio aumento de calidad en los procesos productivos, además de una mejora considerable en la confiabilidad y seguridad de los sistemas. En la Tabla 2.2. se presenta un cuadro comparativo de transmisores.

Tabla 2.2. Tabla comparativa de transmisores [2]

Tipo de transmisor	Señal	Exactitud	Ventajas	Desventajas
Neumático	3-15 psi, 0.2-1 bar	± 0.5%	Rapidez	Aire limpio, sencillo, no guarda información, distancias limitadas, mantenimiento caro, sensible a vibraciones
Electrónico convencional	4-20 mA c.c.	± 0.5% - ± 0.1%	Rapidez	Sensible a vibraciones y ruidos eléctricos. Variaciones térmicas
Electrónico Inteligente	4-20 mA c.c.	± 0.2%	Mayor exactitud. Intercambiable. Estable, fiable. Bajo costo de mantenimiento.	Lento (para variables rápidas puede dar problemas)
Digital	Digital (binaria)	± 0.01%	Comunicaciones bidireccionales. Guarda información. Inmunidad a ruidos eléctricos. Fiable, autodiagnóstico.	Costo elevado.

Selección de transmisor de peso

El transmisor de peso debe cumplir con las siguientes características:

- Alta exactitud.

- 1 canal independiente para cada celda de carga.
- Puerto de comunicación con protocolo industrial abierto.
- Grado de protección IP 67 o superior.
- Carcasa Inoxidable

El equipo seleccionado es el CLM8 INOX de LAUMAS que se muestra en la Figura 2.6.

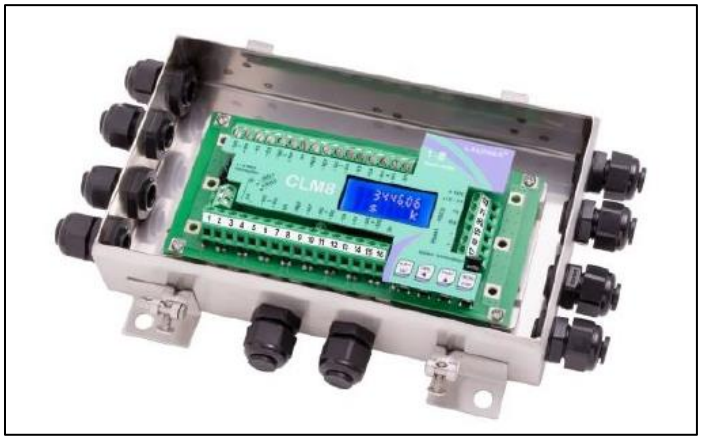


Figura 2.6. Transmisor de peso CLM8 INOX [6]

Este equipo presenta las siguientes características y funciones:

- Exactitud: ±0.01%.
- 8 canales independientes: detección automática de celdas de carga conectadas.
- Dos puertos serie (RS485 y RS232) mediante protocolo ASCII Laumas o MODBUS RTU.
- Grado de protección IP67 en acero inoxidable AISI 304.

Bomba de Recepción

"La bomba es uno de los artefactos más antiguos conocidos por la humanidad y es el segundo más usado después del motor de jaula de ardilla." [7]
La bomba es una máquina que transforma la energía mecánica en energía cinética que es transferida al fluido, lo que permite que éste sea transportado de un lugar a otro.

Por su funcionamiento las bombas se dividen en dinámicas y de desplazamiento positivo. Las dinámicas son aquellas en las que se añade energía constantemente para incrementar la velocidad del fluido. Cuentan con un impulsor o turbina que es el encargado de transferir la energía.

Las de desplazamiento positivo son las que trasladan al fluido con un elemento móvil. A diferencia de las dinámicas, no se añade energía constantemente sino por pulsos. En la Tabla 2.3. se muestra un cuadro descriptivo de los diferentes tipos de bombas.

Tabla 2.3. Cuadro descriptivo de bombas

Tipo de Bomba		Descripción
Dinámicas	Bombas centrífugas	Es el tipo de bomba más usado a nivel mundial. El ingreso del fluido se da por el eje del impulsor y la salida sigue una trayectoria tangencial.
	Bombas periféricas	Llamadas también de tipo turbina, giran a altas velocidades que generan remolinos para impulsar al fluido.
Desplazamiento positivo	Bombas reciprocantes	También conocidas como bombas alternativas, son aquellas en las que el impulso del fluido sigue la dirección del elemento impulsor. Este elemento puede ser un diafragma o un émbolo.
	Bombas rotatorias	Su funcionamiento es similar al de la bomba reciprocante, pero descarga un flujo continuo.

Bombas Centrífugas

La bomba centrífuga es la bomba más utilizada en la industria y en general en la mayoría de los sistemas de bombeo, por esta razón el análisis se centrará en las características principales y criterios de selección de éstas.

Las características principales de la bomba centrífuga se listan a continuación:

- El caudal es constante para una aplicación específica.
- Su construcción es sencilla y de fácil mantenimiento.
- Fácilmente adaptables a motores eléctricos y mecánicos.
- Por su construcción, tiene una vida útil prolongada.

Criterios de selección de una bomba centrífuga [7]

Para dimensionar correctamente una bomba centrífuga para una aplicación específica, es fundamental conocer los siguientes datos:

- Naturaleza del fluido: Si es corrosivo, viscoso, bajo presión, alimenticio.
- Caudal requerido

- Altura de bombeo: Determinada por el nivel a elevar más las pérdidas por válvulas, filtros y codos en el recorrido de la tubería.
- Altura de aspiración: Determinada por el nivel del suministro del fluido.
- Costo y disponibilidad

Luego de determinar los datos para la selección de la bomba, se procede a revisar las distintas curvas de los fabricantes disponibles en el mercado y con esta información se elige la bomba intersecando el punto de funcionamiento con las curvas características. En la Figura 2.7. se muestran las curvas características de una bomba en donde:

a) Curva caudal vs altura según el diámetro del impulsor de la bomba
b) Curvas de eficiencia de la bomba
c) Curvas de potencia de la bomba

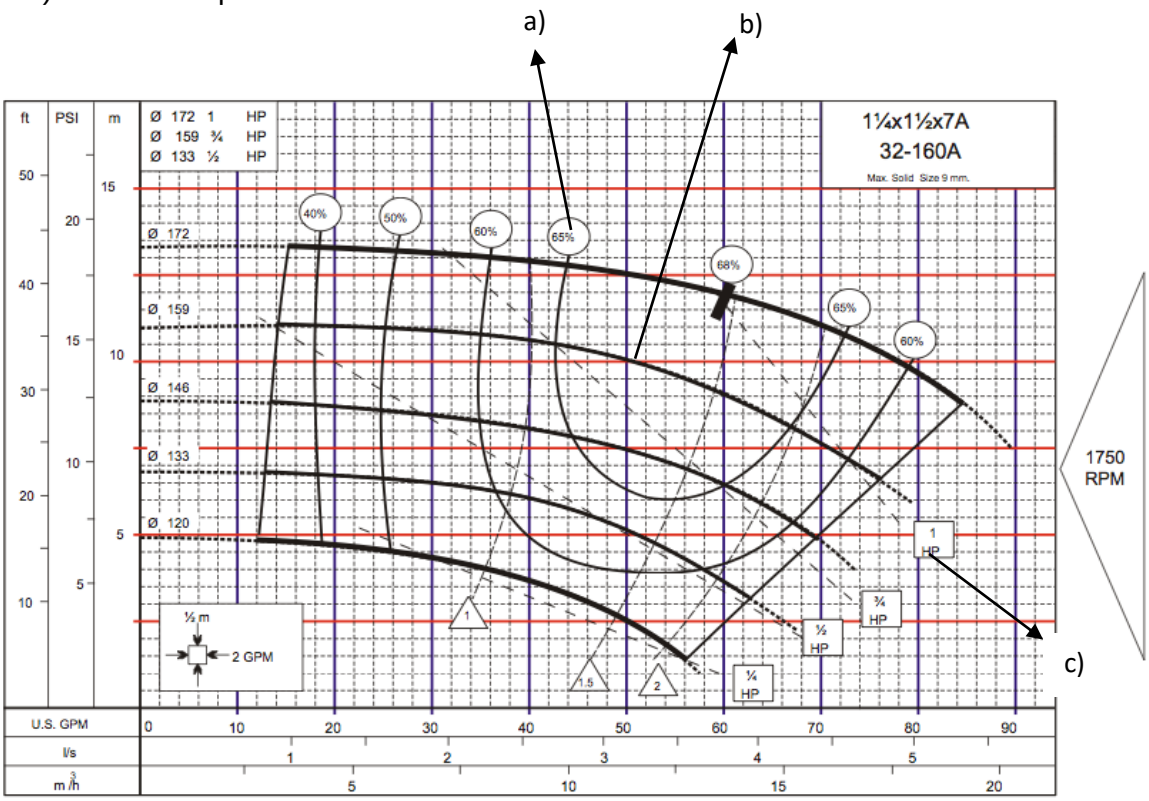


Figura 2.7. Curvas características de una bomba [8]

Dimensionamiento de bomba

De acuerdo con los criterios mencionados en el numeral anterior, se conocen los siguientes datos:

- Naturaleza del fluido: Aceite no corrosivo, grado alimenticio, viscosidad a 25°C: 50 centipoise.

- Caudal requerido: 15000 litros/hora (66 GPM)
- Altura de bombeo incluyendo pérdidas por fricción y accesorios: 33.5 metros (110 pies).
- Altura de aspiración: el tanque de recepción, así como el tanquero se encuentran sobre el nivel la bomba.

Por costos y disponibilidad, se ha escogido una bomba centrífuga QC de la marca Q-PUMPS diseñada para mover productos de grado alimenticio con una viscosidad menor a 500 centipoise. La bomba trabaja con presiones bajas y caudales de hasta 272 mil litros/hora (1200 GPM).

De acuerdo con la familia de curvas proporcionadas por el fabricante, mostradas en la Figura 2.8., el modelo de la bomba que cumple los requerimientos (Carga: 33m, Caudal: 66 GPM) es el QC 216 a 3500 RPM.

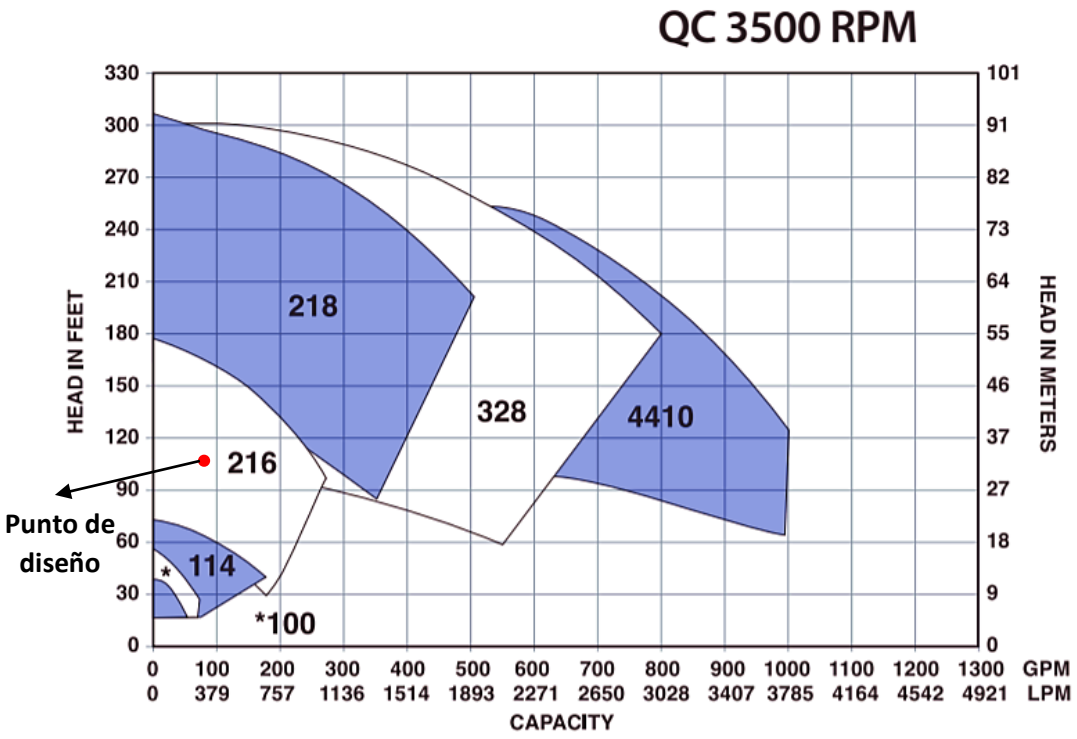


Figura 2.8. Familia de curvas de bombas QC [9]

Una vez seleccionado el modelo de la bomba, mediante las curvas específicas de este modelo, se seleccionará el diámetro del impulsor y la potencia de la bomba.

La curva, en donde se encuentra ubicado el punto de diseño, se presenta en la Figura 2.9.

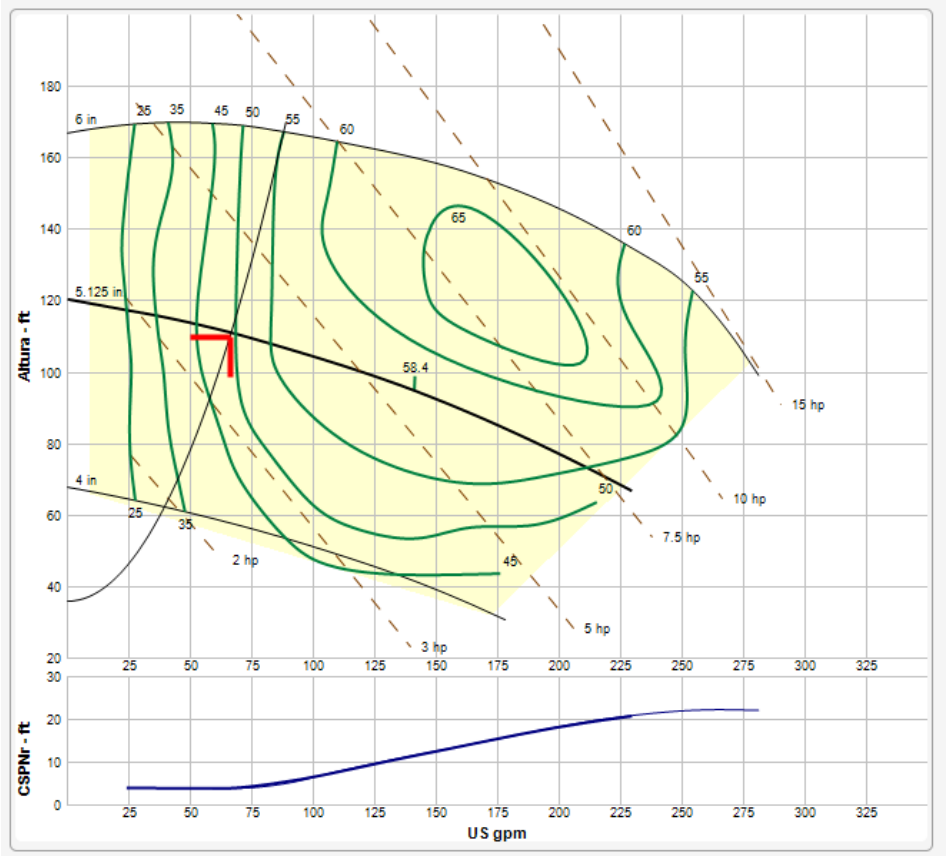


Figura 2.9. Curvas características de la Bomba QC 216 a 3500 RPM. [9]

Por lo tanto:

- Modelo de bomba: QC 216.
- Diámetro del impulsor: 5.125''.
- Potencia de la bomba: 5 hp.
- RPM: 3500.

Válvulas

En la industria, el uso de válvulas como elementos de control es básico e imprescindible, ya que regulan, permiten o impiden el paso de un fluido a través de una tubería o un conducto.

Las válvulas se componen del obturador, los asientos, conexiones de rosca o brida, un vástago y un actuador. El obturador es el elemento encargado de controlar el paso al fluido. El vástago es el eje que transmite el movimiento al obturador, y el actuador posiciona al obturador con relación al asiento transmitiendo el movimiento a través del vástago. [2]

Existen varios tipos de válvulas según el diseño de su cuerpo y el movimiento del obturador. Se han dividido en dos tipos según el movimiento del obturador:

- Válvulas con obturador de movimiento lineal
- Válvulas con obturador de movimiento rotativo

Válvulas con obturador de movimiento lineal

En estas válvulas, como su nombre lo indica, el obturador se mueve en la misma dirección del vástago. Las válvulas más usuales de este tipo se mencionan a continuación y se han dividido de acuerdo con su tipo de construcción. En la Figura 2.7. se observa a una válvula de compuerta.

- Válvula de compuerta
- Válvula de globo
- Válvula en Y

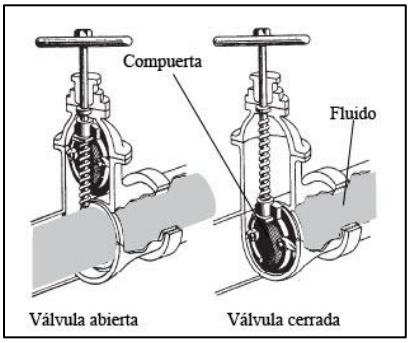


Figura 2.10. Válvula de Compuerta [10]

Válvulas con obturador de movimiento rotativo

El obturador en este tipo de válvulas gira en su propio eje. Las válvulas comúnmente usadas industrialmente son:

- Válvula de mariposa
- Válvula de bola
- Válvula de macho

En la Figura 2.11. se observa una válvula de mariposa.

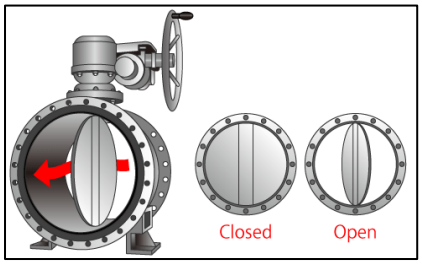


Figura 2.11. Válvula de Mariposa [10]

Criterios de selección de válvulas

Con el fin de realizar un diseño adecuado para una aplicación específica, es necesario seguir una serie de criterios que permitirán discernir entre la amplia gama de válvulas que están disponibles en el mercado.

Para seleccionar una válvula se deben considerar una serie de características básicas, es necesario conocer la función que desempeñará, el tipo de servicio o el tipo de fluido con el cuál va a trabajar, y de acuerdo con esto se selecciona por el tipo de construcción con base en sus ventajas y desventajas. Una válvula puede ser usada para cumplir las siguientes funciones: [10]

- Cierre o bloqueo
- Estrangulación
- Retención

Una vez determinada la función que cumplirán las válvulas en el sistema, se deberán establecer las condiciones del servicio en el que trabajarán. Los tipos de servicio pueden ser:

- Líquidos
- Gases
- Líquidos con gases
- Líquidos con sólidos
- Gases con sólidos
- Vapores generados instantáneamente por la reducción en la presión del sistema
- Con corrosión o sin corrosión

- Con erosión o sin erosión

Después de que se han definido la función y el tipo de servicio la válvula se puede seleccionar según su tipo de construcción, material de construcción, material de los empaques, las capacidades de presión y temperatura, costos, disponibilidad en el mercado y el tiempo de entrega.

En la Tabla 2.4. se presenta un cuadro comparativo de los distintos tipos de válvulas, sus características principales y aplicaciones.

Tabla 2.4. Cuadro comparativo de válvulas comunes [2]

OBTURADOR	TIPO	APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Movimiento Lineal	Válvula de Compuerta	Para control todo o nada. Servicios donde se requiere circulación ininterrumpida.	Resistencia mínima al paso del fluido. (Baja caída de presión)	Para aplicaciones con accionamiento poco frecuente.
	Válvula de globo	Para regular el flujo de líquidos. Adecuada para fluidos corrosivos y erosivos debido a su cierre.	Cierre positivo para gases y aire. Apertura rápida. Estrangulación al grado deseado.	Produce caída de presión considerable.
	Válvula en Y	Usualmente en instalaciones criogénicas.	Resistencia mínima al paso del fluido. (Baja caída de presión). Cierre positivo. Apertura Rápida.	Alto costo.
Movimiento Rotativo	Válvula de bola	Para servicio de corte. Para líquidos viscosos y pastas aguadas. O fluidos con sólidos en suspensión.	Cierre Positivo. Baja obstrucción al flujo. De fácil mantenimiento.	No adecuada para cavitación y ruido. No adecuada para estrangulación.
	Válvula de mariposa	Cierre y estrangulación de grandes volúmenes a baja presión.	Económicas. La caída de presión es muy pequeña. Evita la acumulación de sólidos.	Es difícil cerrarla cuando hay alta presión.

	Válvula de macho	Para control todo-nada sin estrangulación.	Cierre hermético con macho cónico. Poca turbulencia. Baja caída de presión.	Alto costo.

Selección de válvulas

Las especificaciones que deben cumplir las válvulas serán:

- Función: Cierre o bloqueo. Normalmente cerrada.
- Tipo de servicio: Líquido sin corrosión de grado alimenticio.
- Tipo de actuador: Neumático.
- Accionamiento frecuente.
- Baja caída de presión.
- Temperatura: 10 - 38°C

Con estos criterios, y de acuerdo con cuadro comparativo presentado en la Tabla 2.4., se selecciona la válvula de mariposa de marca DONJOY con actuador neumático, cuyas especificaciones son las siguientes:

- Operación del actuador neumático: simple efecto (ON-OFF). Normalmente cerrado.
- Apta para industria alimenticia, farmacéutica y química.
- Apta para accionamiento frecuente.
- Baja caída de presión.
- Temperatura máxima: 130°C

Serán necesarias 6 válvulas de mariposa de 2'' para el proceso, 4 ubicadas en la planta baja junto al tanque de recepción, y dos para la entrada de los tanques de almacenamiento en el área de salsas frías.

En la Figura 2.12. se presentan las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

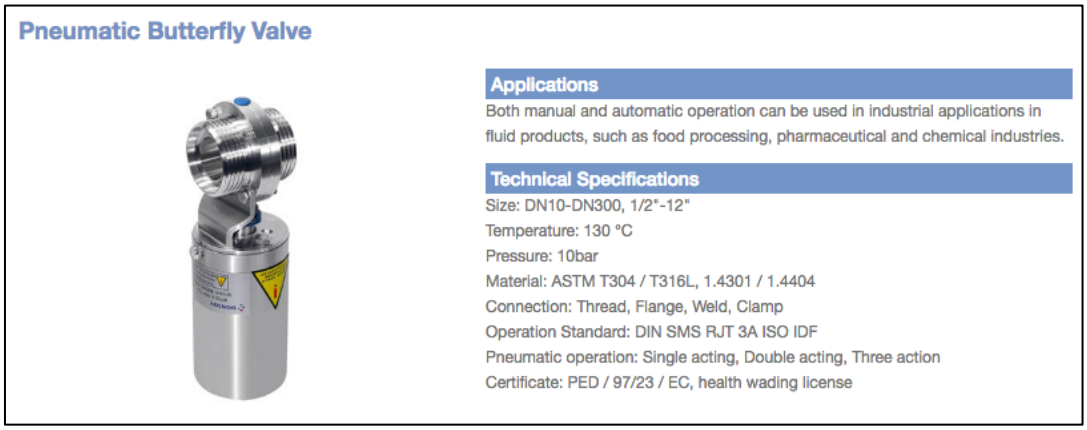


Figura 2.12. Especificaciones técnicas de la válvula de mariposa DONJOY [11]

El actuador de las válvulas de mariposa será neumático, por lo cual serán necesarias electroválvulas para realizar el control. De esta manera se han seleccionado las electroválvulas SMC SY7120 con las siguientes características:

- Voltaje de la bobina: 110 AC ± 10%
- Tiempo de respuesta a 0.5 MPa <= 31 ms
- Fluido a controlar: Aire
- Presión de trabajo: 0.1 – 0.7 MPa
- Temperatura del fluido: 50°C

Se necesitarán 6 electroválvulas y además se construirá un tablero neumático.

En la Figura 2.13. se muestra la válvula solenoide SY7120.

Figura 2.13. Válvula Solenoide SMC SY7120 [12]

Sensores de nivel

La medición de nivel de líquidos es fundamental para el control de procesos en las industrias y para tener una estimación óptima de material y productos. Los sensores de nivel pueden ser de dos tipos según su función:

- Para medir niveles puntuales
- Para medir niveles continuos

Los sensores para medir niveles puntuales son utilizados generalmente para alarmas de desbordamiento, indicación de nivel alto, medio, bajo o para conocer puntos de nivel específicos. Esencialmente, el sensor detecta cuando el líquido ha alcanzado un punto deseado y actúa como un interruptor para activar una señal. En la Figura 2.14. se muestran las opciones de montaje posibles de un sensor en un tanque. [13]

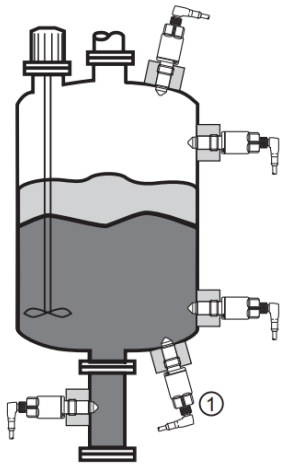


Figura 2.14. Opciones de montaje de un sensor de nivel puntual [14]

Los sensores de nivel continuo, en cambio, son adecuados para tener un monitoreo constante a través de todos los puntos de un tanque o depósito. Estos sensores son óptimos para procesos en donde es de suma importancia conocer el nivel del líquido en línea y para aplicaciones en las cuales es necesaria mayor precisión.

Criterios de selección para sensores de nivel de líquidos

Para seleccionar el sensor de nivel de líquido más adecuado se deben seguir los siguientes criterios básicos:

- Naturaleza del fluido: Corrosivo o no corrosivo, conductivo, presencia de espuma, con sólidos en suspensión, mezclas viscosas.
- Rangos de funcionamiento: Rangos de temperatura y presión.
- Medición de nivel puntual o continua.
- Medición de nivel con contacto o sin contacto.

Selección de sensores de nivel para el tanque de recepción de aceite

Con el fin de impedir posibles derrames y evitar que la bomba funcione en vacío al realizar transferencia a los tanques de almacenamiento se instalarán sensores de nivel alto y bajo en el tanque de recepción, que cumplirán los siguientes requerimientos:

- Naturaleza del fluido: Aceite no corrosivo de grado alimenticio.
- Rangos de funcionamiento: Temperatura máxima 35°C.
- Medición puntual.
- Medición de nivel con contacto.

De esta manera, y de acuerdo con la disponibilidad del mercado, los sensores seleccionados son los LMT 102, que se muestran en la Figura 2.15.

Figura 2.15. Sensor de nivel puntual LMT 102 [14]

Las funciones descritas por el fabricante incluyen:

- Apto para aplicaciones de la industria alimenticia y de bebidas.
- Uso en fluidos de líquidos y viscosos.
- Temperatura del fluido: -20 a 100°C.
- Tensión de alimentación: 18 – 30 DC.
- 1 contacto normalmente abierto.
- Grado de protección: IP68.
- Principio de medición: espectroscopia de impedancia de contacto con el fluido.

Selección de sensores de nivel para los tanques de almacenamiento

Con el objetivo de tener un monitoreo constante del nivel de aceite en los tanques de almacenamiento, ubicados en el área de salsas frías, es necesario seleccionar sensores de nivel continuo de alta precisión.

Los criterios de selección se resumen a continuación:

- Naturaleza del fluido: Aceite no corrosivo de grado alimenticio.
- Rangos de funcionamiento: Temperatura máxima 35°C.
- Medición continua.
- Medición de nivel con contacto.

La altura de los tanques de almacenamiento es aproximadamente 1.70 m. Además, la densidad del aceite es 0.91 g/cm^3.

Aplicando la ecuación 2.3. de presión hidrostática se tiene que:

$$P = \rho * g * h$$

Ecuación 2.3. Presión Hidrostática [2]

Donde:

$$\rho = densidad = 0.91 \frac{g}{cm^3} = 910 \frac{kg}{cm^3}$$

$$g = gravedad = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$h = altura = 1.7\ m$$

Por lo tanto:

$$P = 910 * 9.8 * 1.7 = 15160.6\ Pa = \mathbf{2.2\ PSI}$$

De esta manera, el sensor de nivel por presión hidrostática que se escoge cumplirá con las siguientes características:

- Presión < 5 PSI.
- Transmisor electrónico: 4-20 mA c.c.

Se selecciona el sensor DWYER 673 que se muestra en la Figura 2.16. cuyas especificaciones técnicas son:

- Rango de medida: 0 – 5 PSI
- Tipo de servicio: Líquidos y gases.
- Exactitud: ± 0.25% del fondo de escala.
- Límites de temperatura: -40 a 125°C.
- Requerimiento de voltaje: 9 a 30 VDC.
- Salida: 4 a 20 mA DC.

Figura 2.16. Sensor de presión hidrostática DWYER 673. [15]

Controlador Lógico Programable (PLC)

Según la IEC 61131 un PLC (*Programable Logic Controller*) es un dispositivo electrónico programable robusto cuya memoria está destinada a almacenar instrucciones como funciones lógicas, secuencias, funciones aritméticas y conteo con el objetivo de controlar máquinas y/o procesos a través de entradas, salidas digitales y analógicas. [16]

Su funcionamiento se basa en la ejecución cíclica de una serie de pasos definidos:

- Actualización de la memoria imagen del proceso de las salidas del PLC.
- Actualización de la memoria imagen del proceso de las entradas del PLC.
- Ejecución del programa de control.
- Ejecución de instrucciones reservadas del PLC.

En general, un PLC se compone de:

- Fuente de alimentación

- Módulo CPU
- Entradas y Salidas Digitales
- Entradas y Salidas Analógicas
- Puerto de comunicación

En la Figura 2.17. se muestra la arquitectura típica de un PLC.

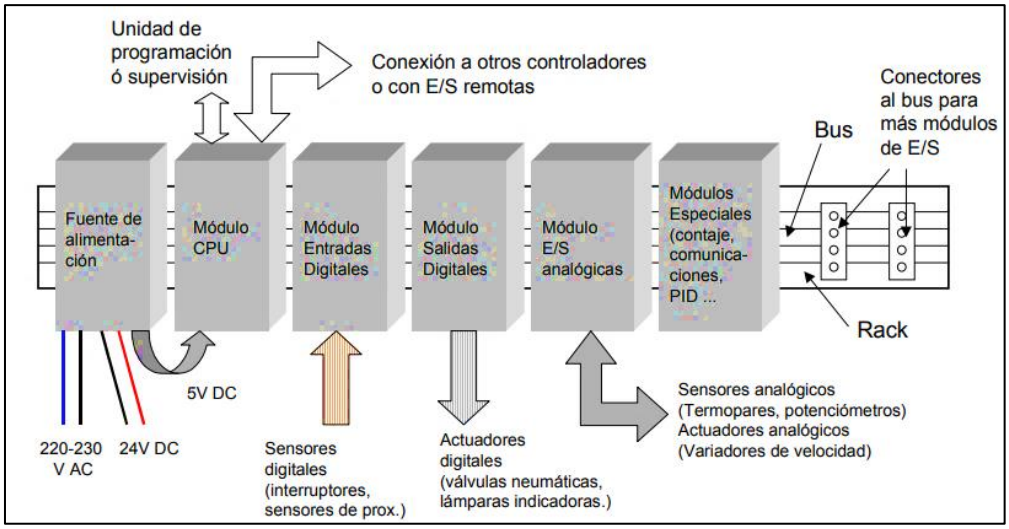


Figura 2.17. Arquitectura de un PLC [16]

Algunos PLC incluyen también entradas y salidas rápidas (100 kHz), puertos adicionales de comunicación. Una característica muy importante de un PLC es su capacidad de ampliación mediante módulos.

Criterios de selección de un PLC

Para seleccionar un PLC de la manera más adecuada, se consideran dos aspectos principales. El primero es el aspecto relacionado a las características del proceso o máquina, y el segundo relacionado a la calidad del PLC.

En la Tabla 2.5. y 2.6. se describen los criterios de diseño relacionados al proceso industrial y a la calidad del PLC respectivamente.

Tabla 2.5. Criterios de selección de un PLC con relación al proceso industrial [16]

Criterio	Descripción
Número entradas y salidas	Se debe realizar un estudio detallado del proceso para determinar el número de elementos, y de esta manera definir la cantidad de entradas y salidas del PLC, con un margen de seguridad.

Tipos de entradas y salidas	Dependiendo de las señales del proceso pueden ser digitales o análogas.
Capacidad de memoria y de programa	Está relacionada directamente al número de entradas y salidas; y a la dificultad del proceso.
Lenguaje de programación	Es importante elegir un PLC que disponga de lenguajes de programación estandarizados e intuitivos para el usuario. Muchas veces la complejidad de un programa puede resolverse escogiendo un lenguaje de programación más adecuado.
Comunicación	Un PLC debe tener interfaces de comunicación abiertas y estandarizadas con el fin de garantizar la interoperabilidad.
Escalabilidad	En general, un proceso industrial no es estático. Sino que es susceptible a mejoras y ampliaciones, por lo que un PLC debe tener la capacidad de incrementar sus características.
Módulos especiales	Existen máquinas y procesos especializados que requieren herramientas adicionales del PLC como contadores rápidos, entradas análogas dedicadas, Motion Control, etc.

Tabla 2.6. Criterios de selección de un PLC con relación a su calidad [16]

Criterio	Descripción
Software	Es muy importante seleccionar un PLC cuyo software facilite la programación y minimice tiempo de ingeniería.
Servicio técnico y posventa	Posibilidad de que el distribuidor ofrezca servicios adicionales como asistencia técnica en instalación, programación y stock de repuestos.
Relación costo-beneficio	La calidad va relacionada directamente con el costo, sin embargo, se debe realizar un análisis de las ventajas de un PLC de alta gama y los beneficios que aporta en un proyecto.
Exigencia del cliente	La voluntad del cliente es un aspecto muy importante, sus especificaciones y sugerencias serán determinantes para la decisión final.

Dimensionamiento de PLC

Después de realizar un estudio detallado del proceso, se han determinado los siguientes elementos:

Entradas PLC:

- Nivel alto tanque recepción.
- Nivel bajo tanque recepción.
- Contacto selector bomba recepción para funcionamiento Manual y Automático.
- Térmico bomba recepción.
- Pulsador remoto.

Salidas PLC:

- Válvula de descarga de tanquero.
- Válvula de entrada al tanque de recepción.
- Válvula de salida del tanque de recepción.
- Válvula de salida hacia los tanques de almacenamiento.
- Arranque bomba recepción.
- Alarma sonora.

Además, el PLC debe contar con:

- Puerto/Módulo de comunicación Ethernet: para comunicación con PC, panel de operador y con otros PLCs.
- Puerto/Módulo de comunicación RS485 para MODBUS RTU: para comunicación con transmisor de peso.

Todos los elementos previstos para los tanques de almacenamiento serán asignados al PLC a instalar en dicha área. El PLC del área de recepción se comunicará con el PLC del área de salsas frías por medio de una red de comunicación industrial.

Considerando los aspectos cualitativos de los criterios de selección de un PLC, se ha seleccionado un PLC de la marca SIEMENS, modelo S7-1200 1212C AC/DC/RLY con un módulo de comunicación adicional CM 1241 (RS485). Las características técnicas son las siguientes:

- Memoria de trabajo 75KB
- Fuente de alimentación 120/240V AC

- 8 entradas Digitales x 24V DC SINK/SOURCE
- 6 salidas digitales tipo relé
- 2 entradas análogas de voltaje integradas
- Ampliación de hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie
- Hasta 2 módulos de señales para ampliación E/S
- 0,04ms/1000 instrucciones
- Interfaz PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC

Además de las especificaciones técnicas, se ha seleccionado este PLC porque: el software TIA PORTAL V14 es sumamente intuitivo y fácil de manejar, la marca es reconocida a nivel mundial, la red de distribuidores en el país es importante y se cuenta con la aprobación del cliente.

En la Figura 2.18. se muestra al PLC S7 1212C con el módulo de comunicación RS485.

Figura 2.18. PLC S7 1212C con módulo de comunicación CM 1241

Panel de operador

Un panel de operador es un dispositivo electrónico ubicado a pie de máquina cuya función permitir a un operador supervisar y controlar un proceso. Debe ser un equipo sumamente robusto al encontrarse expuesto a ambientes industriales.

Existe una gran variedad de paneles de operador, desde los más sencillos como: display de textos con teclado de membrana, hasta paneles con funciones muy sofisticadas que los convierten prácticamente en computadoras industriales de campo.

La elección del panel de operador más adecuado depende de la complejidad del proceso, por ejemplo: en una máquina pequeña en la que se requiere visualización de pocas

variables e introducción esporádica de parámetros, bastará con un display de texto con teclado.

En cambio, para aplicaciones en las cuales existen múltiples variables como valores de temperatura, nivel, visualización de gráficos e introducción de recetas, se demanda el uso de paneles de mayor tamaño, resolución y con más funcionalidades.

En la Figura 2.19. se muestra un panel de operador táctil con funcionalidad avanzada.

Figura 2.19. Panel de operador táctil [17]

Selección de Panel de Operador

La elección del panel de operador más adecuado depende netamente de la complejidad del proceso y de las condiciones ambientales a la que éste estará expuesto.

En la recepción, transferencia y almacenaje de aceite se define que el panel se encuentre cerca del tanque de recepción, en la planta baja. En este sitio las condiciones ambientales no son hostiles. Sin embargo, al momento de realizar limpieza del área, las personas encargadas de esta tarea suelen salpicar las paredes con agua, por lo que un panel con un grado de protección IP 66, o una consola de mando con estas características es indispensable.

En cuanto a la frecuencia de operación se refiere, las transferencias desde el tanque de recepción hacia los tanques de almacenamiento se realizan diariamente o cada dos días dependiendo de la producción. En cambio, la recepción de aceite (descarga de tanquero a tanque de recepción), se realiza una o dos veces al mes. Considerando las variables y parámetros a visualizar, se tienen:

- Sensores de nivel puntuales.
- Contenido de aceite en los tanques: de recepción y de almacenamiento.
- Estado de las válvulas.

- Estado de la bomba.
- Alarmas y menús.
- Administración de usuarios.

Por lo tanto, ya que el panel se usa máximo dos veces al día, y la cantidad de variables a visualizar no es considerable, no se requiere un panel de gran tamaño ni funcionalidades complejas.

Se ha seleccionado un panel de operador de SIEMENS KTP 400 Basic PN, que cumple con las consideraciones previamente mencionadas y, además, se garantiza la compatibilidad total con el PLC al ser de la misma marca. Sus características principales se resumen a continuación.

- Pantalla de 4,3" (480 x 272 pixeles).
- 64 mil colores.
- Manejo táctil o con teclado.
- 4 teclas de función.
- Interfaz PROFINET.
- Puerto USB para almacenamiento de registros y actualización de firmware.
- Voltaje de alimentación: 24 VDC ± 20%
- Grado de protección IP: Parte delantera: IP65, Parte posterior: IP20

El grado de protección de este panel es menor al necesario para la aplicación. Esto deberá ser subsanado con el diseño de un tablero o consola de mando que proteja al panel ante salpicaduras de agua.

En la Figura 2.20. se muestra un panel de operador KTP 400 Basic PN.

Figura 2.20. Panel de operador KTP400 Basic PN [17]

Diseño de diagrama y tablero de control

Una vez definidos los equipos y dispositivos que serán instalados en campo para la recepción y transferencia de aceite, se diseña el diagrama de control.

Este diagrama se encuentra en el ANEXO III.

A partir del diagrama, se definen los elementos constituyentes del tablero del control.

En la Tabla 2.7. se muestra la lista de todos los elementos que conforman el tablero.

Tabla 2.7. Elementos del tablero de control

Elemento	Nombre	Modelo	Características	Función
Breaker	Q1	SIEMENS 5SL3 – 3327	Trifásico 32 A	Seccionador principal.
Guardamotor	E1	SIEMENS 3RV2021 – 4BA10	14 – 20 A	Protección para el motor de la bomba.
Contactor	K1	SIEMENS 3RT2025-1AG20	16 A	Maniobra del motor de la bomba.
Breaker	Q2	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para el PLC y para la fuente de 24 VDC.
Breaker	Q3	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para elementos de 24 VDC.
Fuente de alimentación	U1	Fuente de poder: LOGO! Power	Voltaje entrada: 100-240 V Voltaje Salida: 24 VDC 2.5 A	Alimentación panel de operador, módulos de comunicación, entradas digitales.
PLC	PLC 1	SIEMENS 1212 AC/DC/RLY	8 DI / 6 DO 2 AI / PROFINET	Controlador

Switch Ethernet	A0	CSM 1277 SIMATIC NET	4 puertos Ethernet	Switch Ethernet / PROFINET
Módulo de comunicación MODBUS	A1	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisor de peso
Panel de operador		KTP 400 Basic PN	Pantalla táctil de 4'' Comunicación PROFINET	Supervisión y mando de la recepción y transferencia de aceite.

El tablero cuenta también con accesorios de montaje como: canaletas, borneras, marquillas, etc.

Diseño del sistema de control

Una vez definidos los elementos, accesorios, cableado y protecciones correspondientes, se procede a diseñar el sistema de control, para ello, se han elaborado diagramas de flujo para cada proceso.

De acuerdo con las posibles configuraciones de apertura y cierre de válvulas, se han definido los siguientes modos de funcionamiento:

- Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción nuevo.
- Transferencia desde tanque de recepción nuevo hacia tanques de almacenamiento.
- Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción antiguo.
- Transferencia desde tanque nuevo hacia tanque de recepción antiguo.
- Transferencia desde tanque antiguo hacia tanque de recepción nuevo.
- Transferencia desde tanque de recepción antiguo hacia tanques de almacenamiento.

Cabe destacar que al existir una sola bomba sólo puede funcionar un modo a la vez.

La Figura 2.21. muestra el diagrama de recepción, transferencia y almacenaje de aceite.

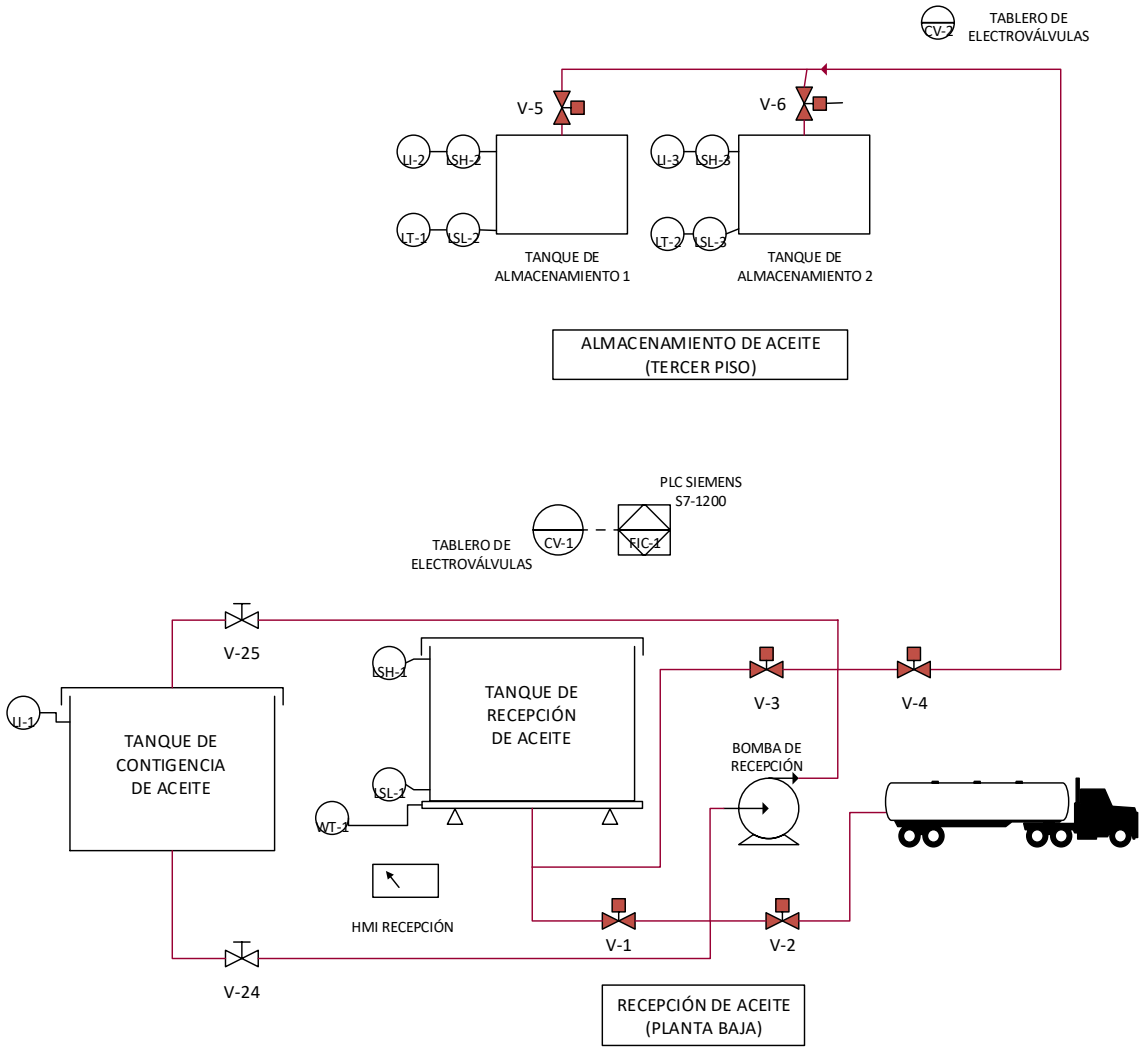
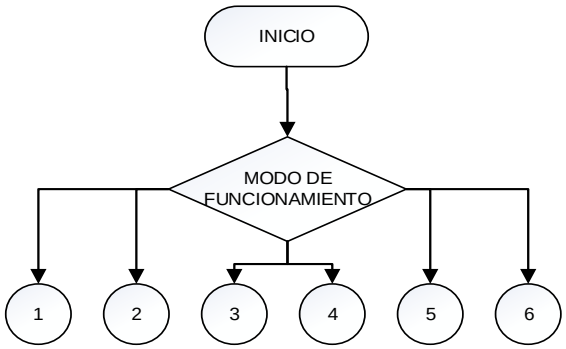
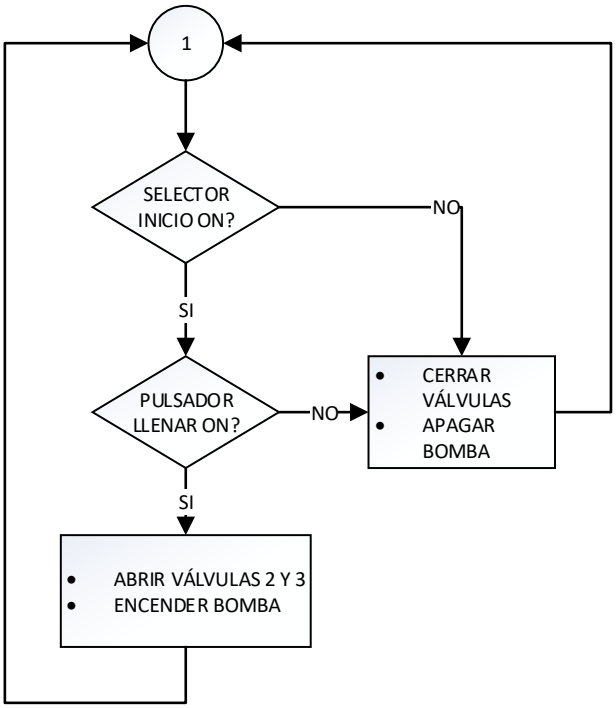
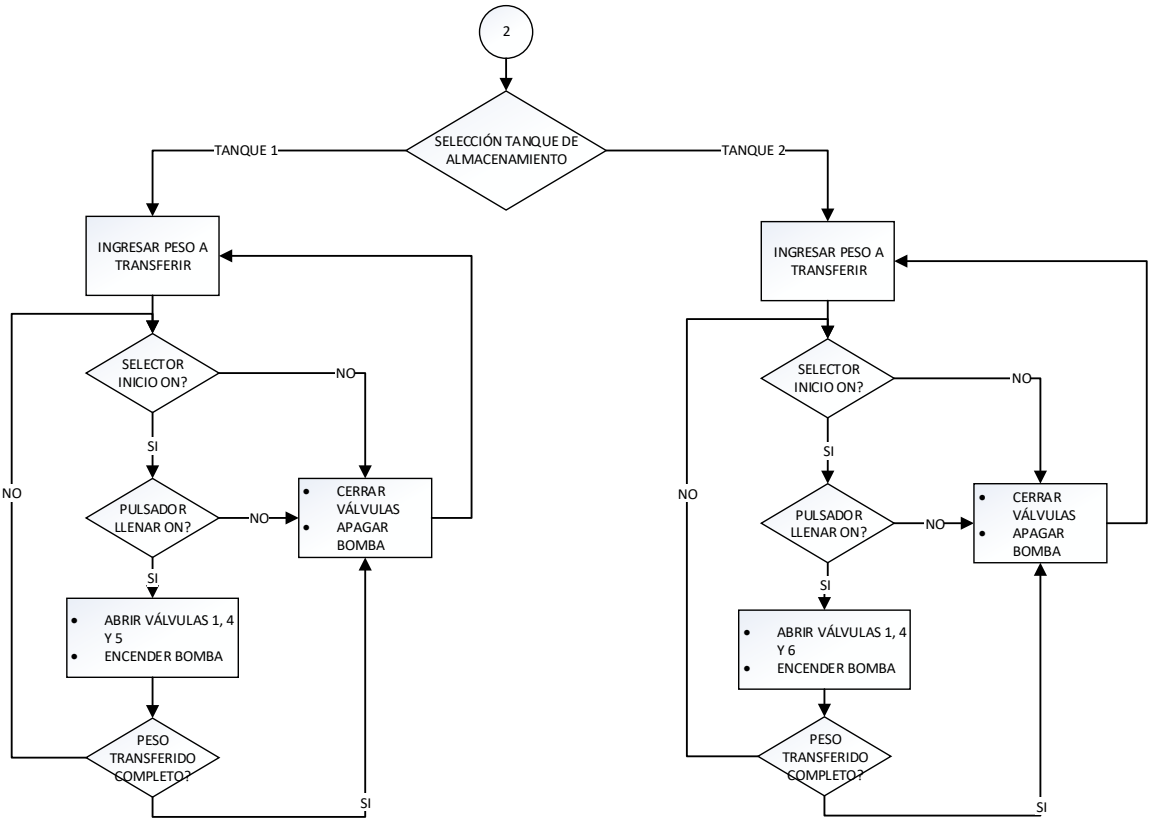


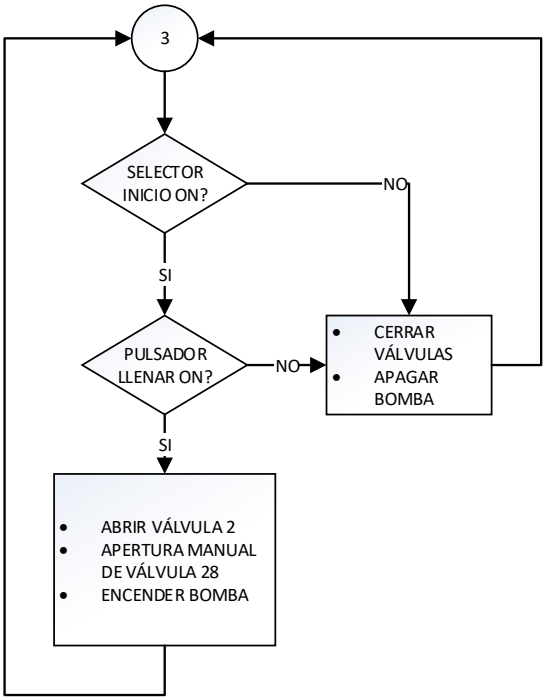
Figura 2.21. Diagrama de recepción, transferencia y almacenaje de aceite.

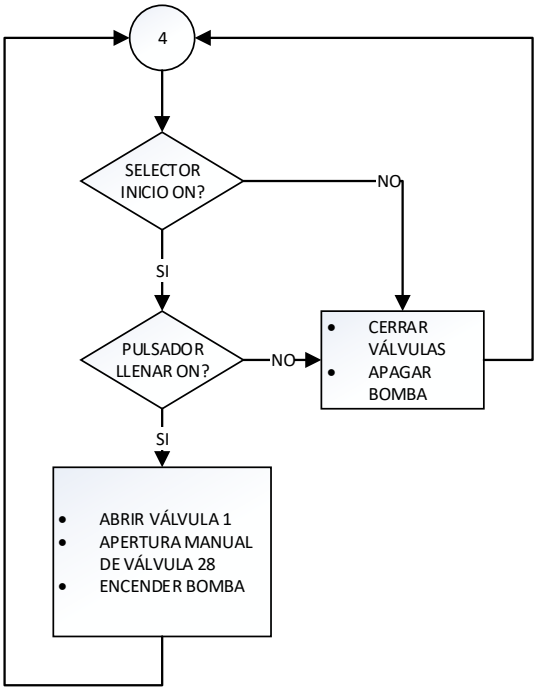
En la Figura 2.22. se muestra el diagrama de flujo de cada modo de funcionamiento.




1
SELECTOR INICIO ON?
NO
SI
PULSADOR LLENAR ON?
NO
CERRAR VÁLVULAS
APAGAR BOMBA
SI
ABRIR VÁLVULAS 2 Y 3
ENCENDER BOMBA


2
SELECCIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO
TANQUE 1
TANQUE 2
INGRESAR PESO A TRANSFERIR
SELECTOR INICIO ON?
NO
SI
PULSADOR LLENAR ON?
NO
CERRAR VÁLVULAS
APAGAR BOMBA
SI
ABRIR VÁLVULAS 1, 4 Y 5
ENCENDER BOMBA
PESO TRANSFERIDO COMPLETO?
NO
SI
INGRESAR PESO A TRANSFERIR
SELECTOR INICIO ON?
NO
SI
PULSADOR LLENAR ON?
NO
CERRAR VÁLVULAS
APAGAR BOMBA
SI
ABRIR VÁLVULAS 1, 4 Y 6
ENCENDER BOMBA
PESO TRANSFERIDO COMPLETO?
NO
SI


3
SELECTOR INICIO ON?
NO
SI
PULSADOR LLENAR ON?
NO
SI
CERRAR VÁLVULAS
APAGAR BOMBA
ABRIR VÁLVULA 2
APERTURA MANUAL DE VÁLVULA 28
ENCENDER BOMBA


4
SELECTOR INICIO ON?
NO
SI
PULSADOR LLENAR ON?
NO
SI
CERRAR VÁLVULAS
APAGAR BOMBA
ABRIR VÁLVULA 1
APERTURA MANUAL DE VÁLVULA 28
ENCENDER BOMBA

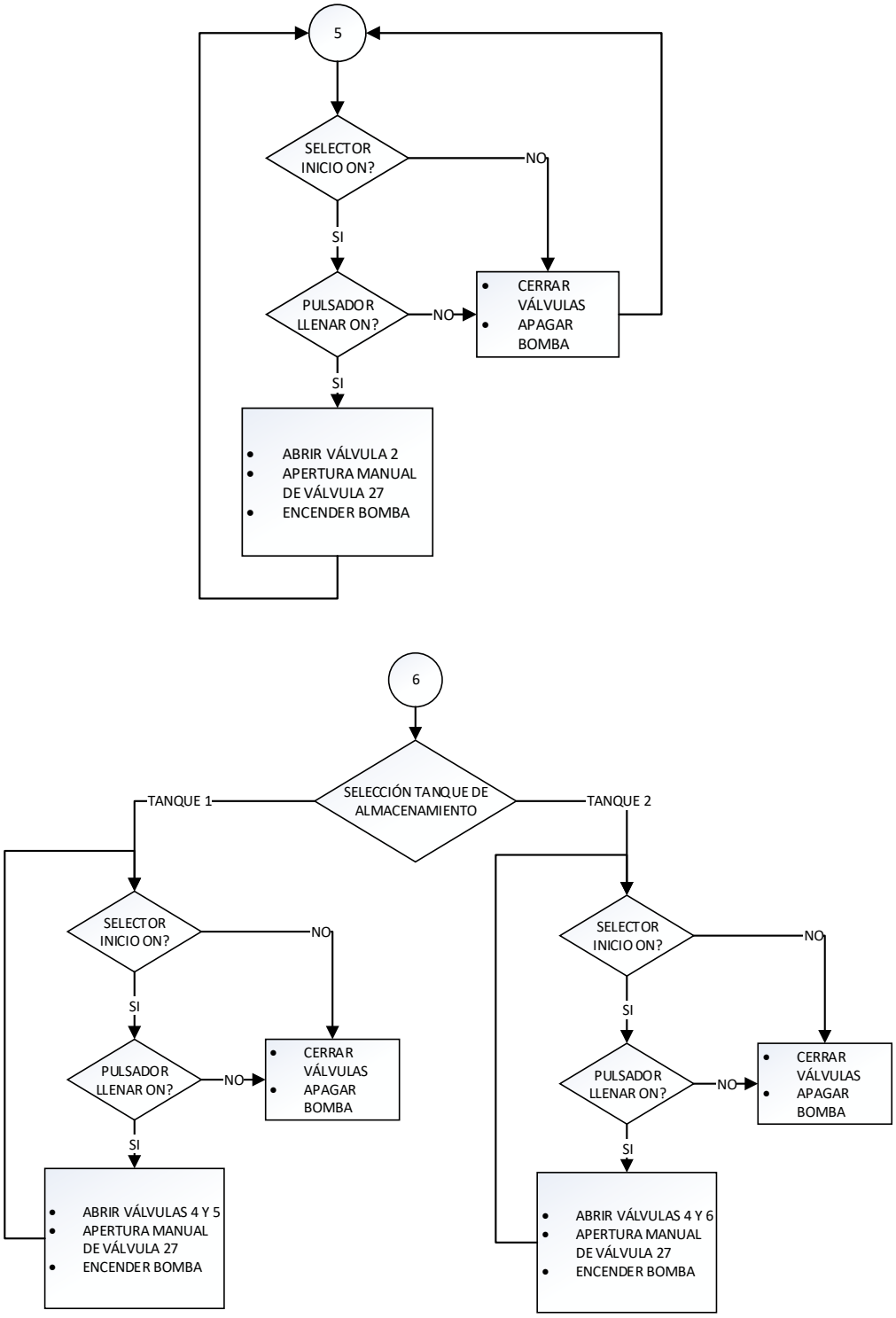


Figura 2.22. Diagrama de flujo de los modos de funcionamiento.

Programación de PLC

La programación del PLC se ha realizado con el software TIA PORTAL V14 cuya estructura se resume en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Estructura de programación de TIA PORTAL V14

Bloque	Símbolo	Función
Bloques OB o de organización		Los bloques OB o de ciclo se procesan cíclicamente. Estos OB son bloques lógicos de orden superior en el programa, en los que se pueden programar instrucciones o llamar otros bloques.
Bloques de Función o FB		Los bloques de función son bloques lógicos que depositan sus valores de forma permanente en bloques de datos de instancia, de modo que siguen estando disponibles después de procesar el bloque. Todo FB debe estar asociado a un DB.
Funciones o FC		Las funciones son bloques lógicos sin memoria. Los datos son procesados, pero no almacenados.
Bloques de datos o DB		Los bloques de datos (DB) sirven para almacenar datos del programa.

La estructura del programa del PLC de recepción, transferencia y almacenaje de aceite se representa en la Figura 2.23.

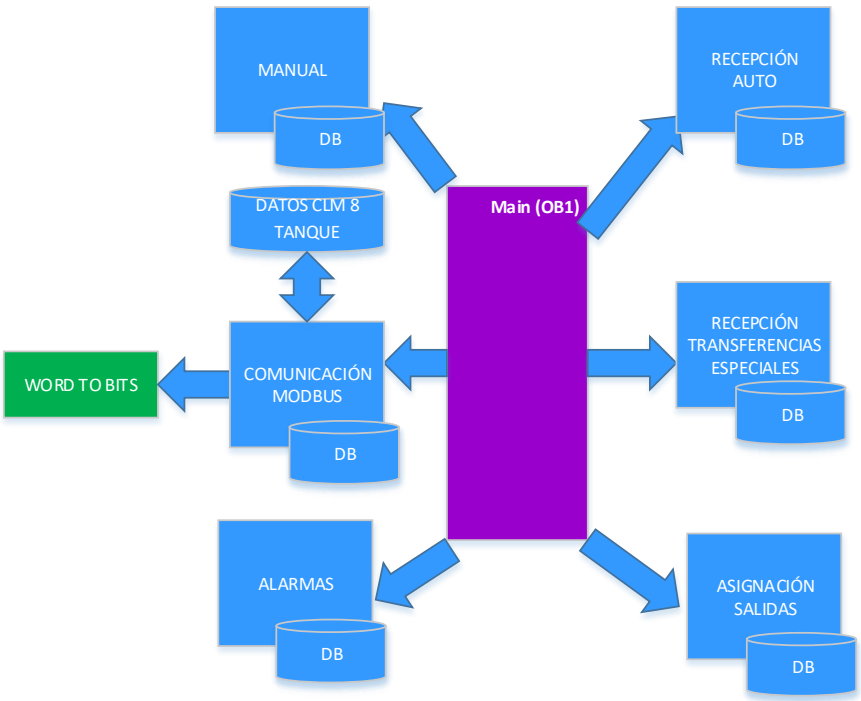


Figura 2.23. Estructura del programa del PLC de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

El programa contiene 6 bloques de función ubicados en el bloque de organización cíclico OB1. Cada bloque cumple con funciones específicas, las cuales se detallan a continuación:

- FB Recepción Auto: Contiene dos modos de funcionamiento; descarga del tanquero al tanque nuevo y transferencia desde el tanque nuevo hacia los tanques de almacenamiento.
- FB Recepción Transferencias Especiales: Contiene los cuatro modos de funcionamiento restantes. En los cuáles se involucra al tanque antiguo.
- FB Asignación Salidas: En este bloque se reúnen las variables de salida de todos los bloques de función para asignarlas a sus correspondientes salidas digitales, considerando la jerarquía en la operación y las seguridades necesarias.
- FB Alarmas: Este bloque contiene la activación de todas las alarmas y avisos del sistema.
- FB Comunicación MODBUS: En este bloque se encuentran todas las instrucciones necesarias para establecer la comunicación con el transmisor de peso del tanque de recepción. Los datos obtenidos serán almacenados en el DB “Datos CLM 8 Tanque”. La función “WordToBits” se utiliza para convertir la palabra de estado del transmisor, en bits individuales para su uso en otros FBs.
- FB Manual: Este bloque contiene el manejo de todos los elementos del sistema en modo Manual.

Elaboración de imágenes para panel de operador

En la imagen inicial, mostrada en la Figura 2.24, se puede acceder al menú, pero únicamente ingresando una clave de autorización.

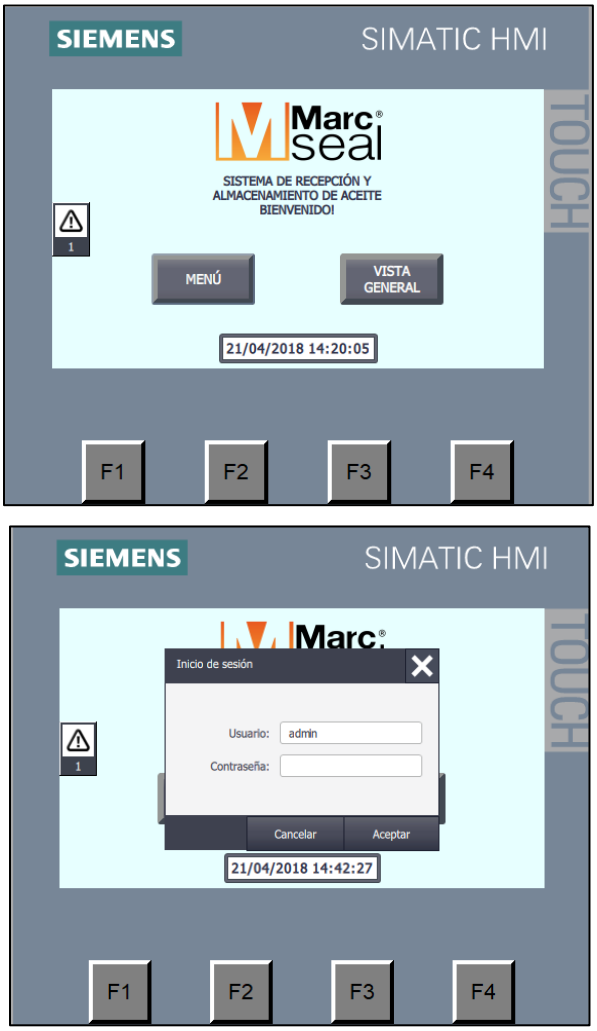


Figura 2.24. Imagen inicial

Las actividades descritas en los siguientes numerales las realiza un operador del área de salsas frías en coordinación con un trabajador del área de bodega.

En imagen de modos de funcionamiento, expuesta en la Figura 2.25., se despliega el menú de las tareas que el sistema pueden realizar.

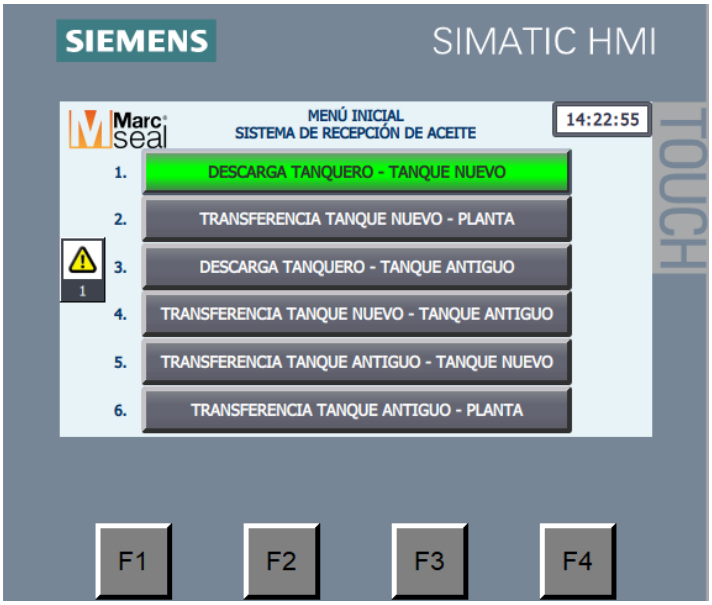


Figura 2.25. Imagen menú de modos de funcionamiento

El primer modo de funcionamiento es la descarga del tanquero hacia el tanque nuevo, y se muestra en la Figura 2.26.

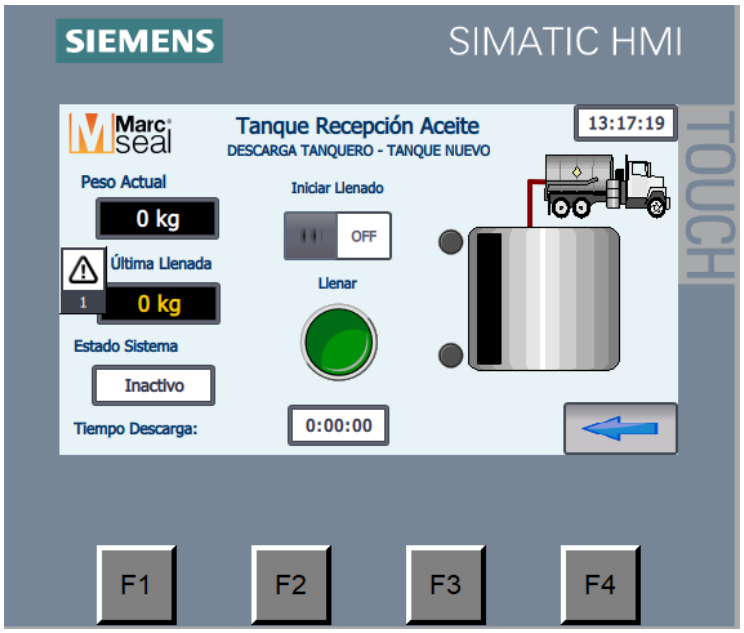


Figura 2.26. Imagen operación descarga de tanquero a tanque nuevo

Esta pantalla permite realizar la descarga desde el tanquero hacia el tanque nuevo de almacenamiento, mediante la acción de un selector de habilitación de llenado y un botón de inicio de tarea.

Para el segundo modo de funcionamiento se despliega la imagen en donde se debe seleccionar uno de los tanques. Una vez escogido el tanque, se puede transferir cantidades de peso definidas. Estas imágenes se muestran en la Figura 2.27.

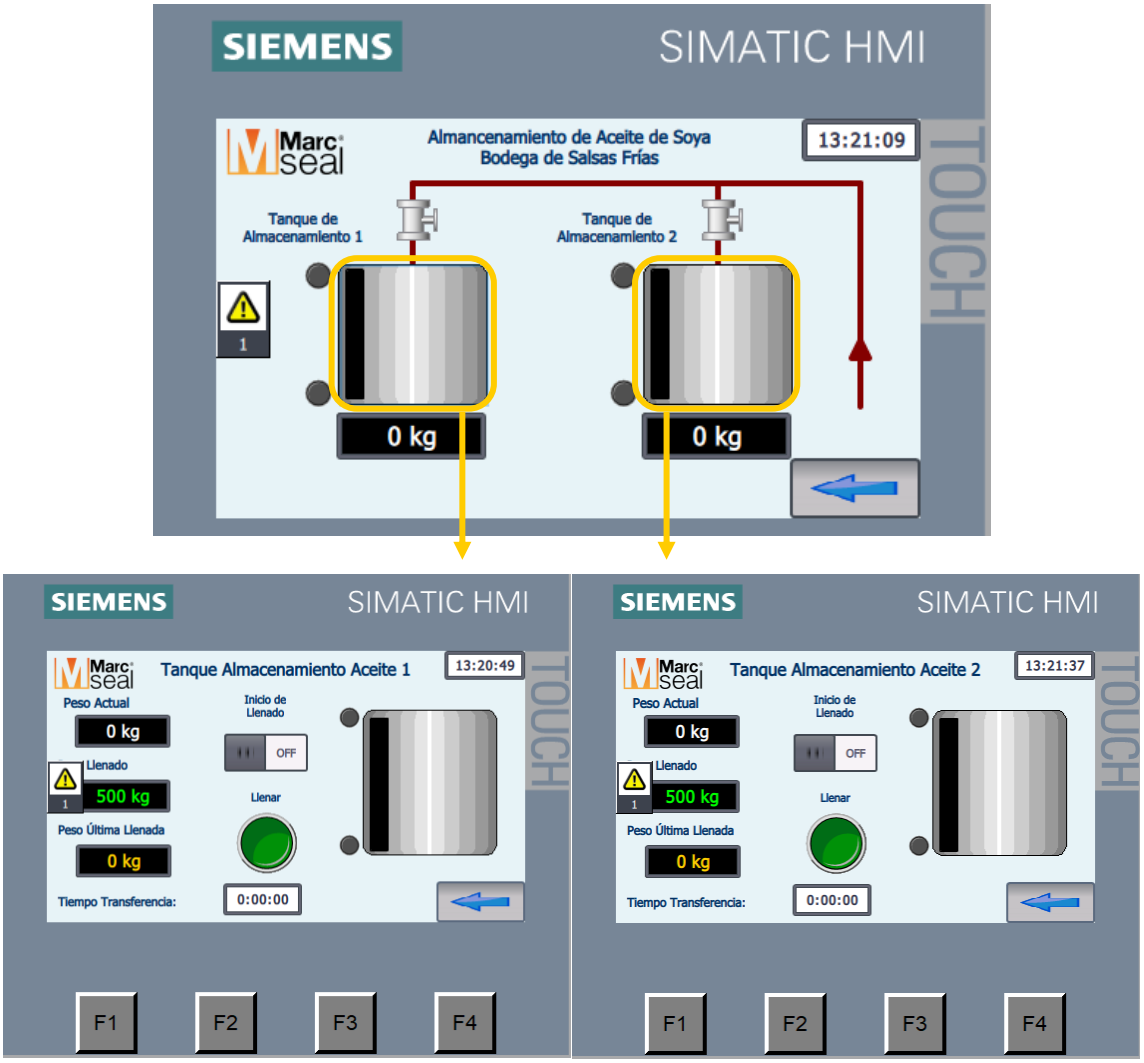


Figura 2.27. Imágenes descarga de tanque nuevo a tanques de almacenamiento

El modo de funcionamiento 3, transferencia de tanquero a tanque antiguo se muestra en la Figura 2.28.

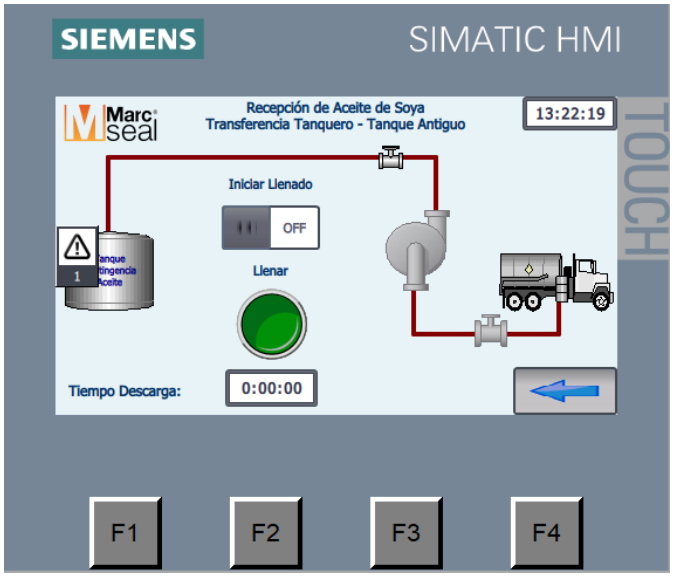


Figura 2.28. Imagen transferencia de tanquero a tanque antiguo

El modo de funcionamiento 4 se observa en la Figura 2.29.

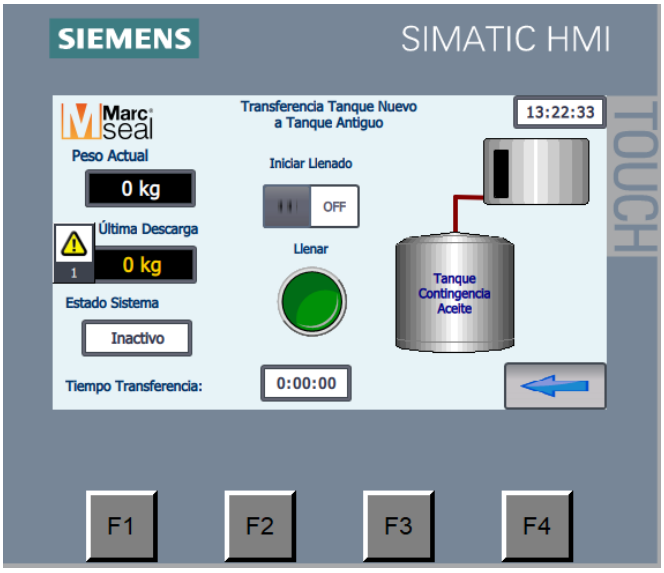


Figura 2.29. Imagen transferencia de tanque nuevo a tanque antiguo

La operación del modo de funcionamiento 5 es similar al del 4 y se muestra en la Figura 2.30.

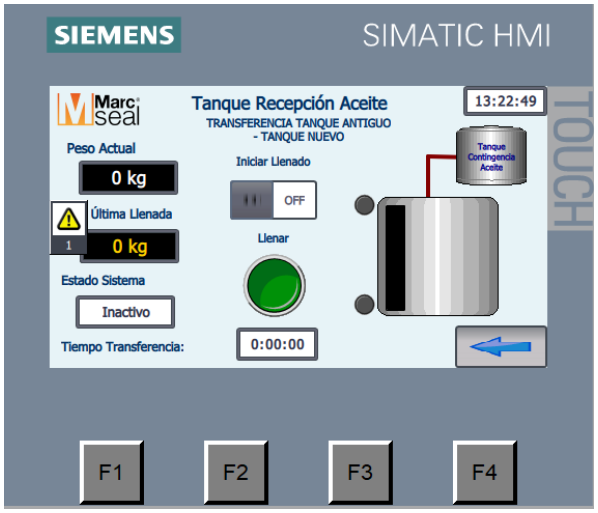


Figura 2.30. Imagen transferencia de tanque antiguo a tanque nuevo

Esta opción es similar a la transferencia de tanque nuevo a tanques de almacenamiento. Con la diferencia de que en este modo no se transfieren cantidades conocidas de peso. La Figura 2.31. muestra lo descrito.

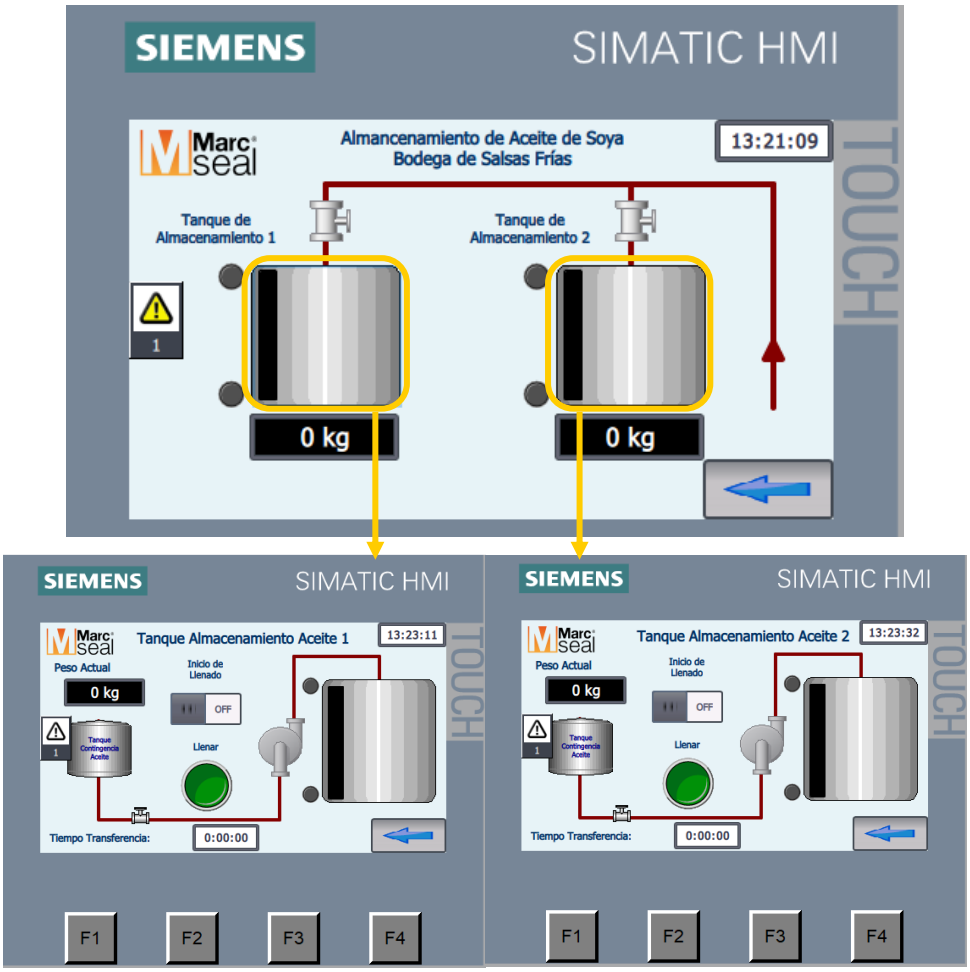


Figura 2.31. Imagen transferencia de tanque antiguo a tanques de almacenamiento

Elaboración de salsas frías

La solución con celdas de carga para la elaboración de salsas frías, mostrada en la Figura 2.32., implica el dimensionamiento y selección de los siguientes elementos:

- Selección de celdas de carga.
- Selección de transmisores de peso.
- Dimensionamiento del variador de frecuencia.
- Selección de válvulas.
- Selección de sensores de nivel.
- Dimensionamiento de PLC.
- Selección del panel de operador.

Adicionalmente, es necesario el diseño del diagrama y tablero de control.

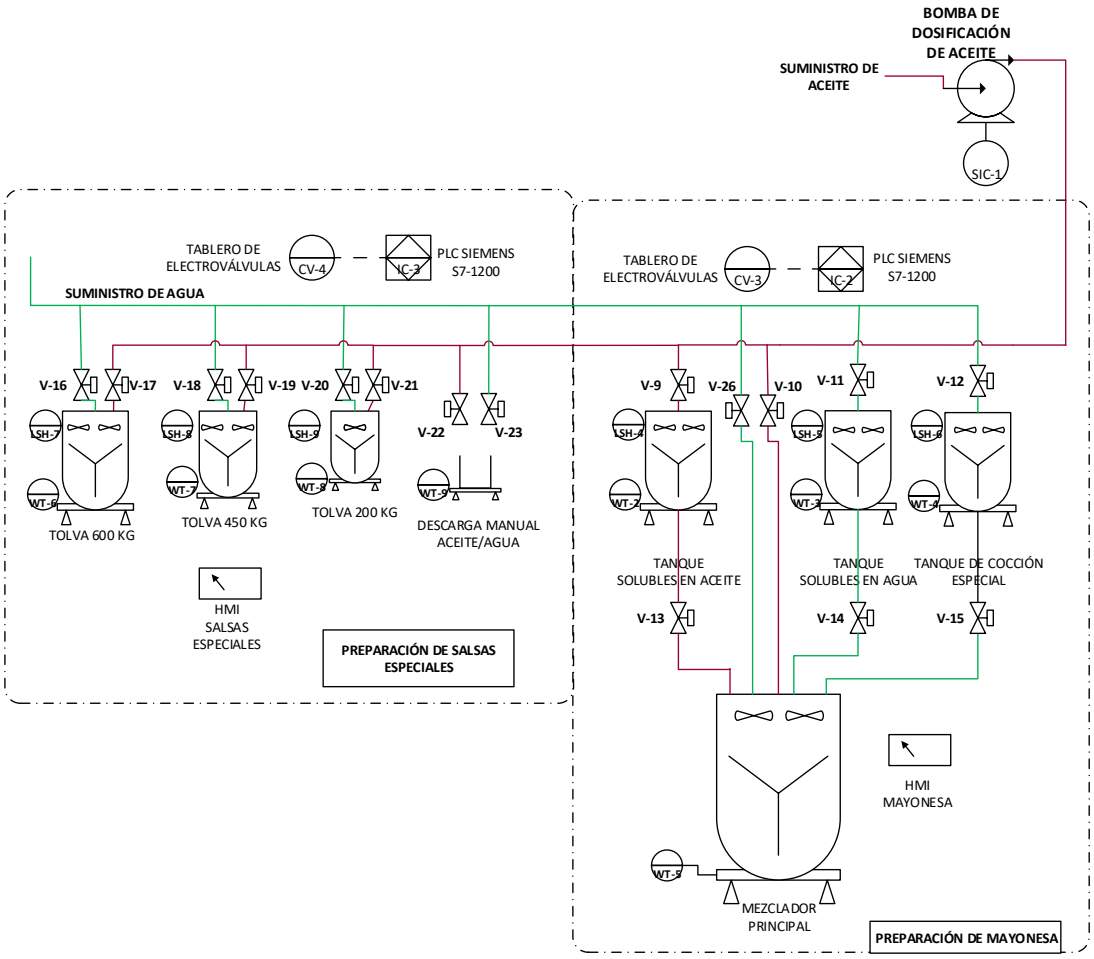


Figura 2.32. Diagrama de la solución para el proceso de elaboración de salsas frías.

Selección de celdas de carga

Para calcular la capacidad y el número de celdas de carga se hará uso de la ecuación 2.1. y 2.2.

$$Cap.TotalCelda = (Cap.Tanque + Peso\ Muerto) * FactorSeguridad \quad (2.1)$$

$$Cap.IndividualCelda = Cap.\frac{TotalCelda}{NúmeroCeldas} \quad (2.2)$$

Los pesos y soportes de cada tolva de dosificación del área de salsas frías se resumen en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Peso y número de soportes de tolvas de dosificación del área de salsas frías

Sección	Tanque	Peso	Número de soportes
Preparación de mayonesa	Tolva de premezcla de solubles en aceite 600 kg	208 kg	4
	Tolva de premezcla de solubles en agua 600 kg	206 kg	4
	Tolva de cocción especial 600 kg	380 kg	4
	Tanque mezclador principal	600 kg	4
Preparación de salsas especiales	Tolva de 600 kg	210 kg	3
	Tolva de 450 kg	220 kg	3
	Tolva de 200 kg	85 kg	4

El número de soportes será igual al número de celdas de carga a instalar.

Se ha realizado el ejemplo de cálculo de capacidad de celdas de carga únicamente para la tolva de premezcla de solubles en aceite:

- La capacidad del tanque es de aproximadamente 600 kg.
- El peso muerto es igual al peso del tanque y sus accesorios, que es aproximadamente 208 kg.
- Se considera un factor de seguridad de 1.25.

De esta manera:

$$Cap.Total = (600 + 208) * 1.25 = \mathbf{1010\ kg}$$

El tanque tiene cuatro soportes, entonces el número de celdas de carga será igual. Por lo que la capacidad de cada celda es igual a:

$$Cap.IndividualCelda = \frac{1010}{4} = \mathbf{252.5\ kg}$$

El fabricante dispone de celdas de 150 kg o 300 kg, así que se han seleccionado las de 300 kg.

Además, se deben considerar las siguientes características de la aplicación:

- El tanque se encuentra ubicado en una superficie plana, pero existe un desnivel.
- El tanque no se encuentra expuesto a carga de viento ni a vibración significativa del suelo.
- El tanque cuenta con agitadores que cuando se encienden generan fuerzas vibratorias.
- Debe tener respuesta rápida para la dosificación.

Con estas consideraciones, la celda seleccionada es la FTP300 de LAUMAS que tiene las siguientes características:

- Tipo de celda: de viga de cizallamiento.
- Capacidad: 300 kg.
- Clase III.
- Grado de protección IP 68.

Las celdas de carga restantes se seleccionan siguiendo el mismo procedimiento de cálculo y considerando los criterios de selección mencionados. Estos resultados se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Celdas de carga del área de salsas frías

Sección	Tanque	Capacidad de cada celda	Número de celdas	Tipo de celda
Preparación de mayonesa	Tolva de premezcla de solubles en aceite 600 kg	300 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tolva de premezcla de solubles en agua 600 kg	500 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tolva de cocción especial 600 kg	500 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tanque mezclador principal	750 kg	4	Viga de cizallamiento
Preparación de salsas especiales	Tolva de 600 kg	500 kg	3	Viga de cizallamiento
	Tolva de 450 kg	300 kg	3	Viga de cizallamiento
	Tolva de 200 kg	150 kg	4	Viga de cizallamiento

Adicionalmente se requiere una balanza pequeña para descarga manual de agua o aceite, para disolver ingredientes minoritarios en el área de salsas especiales.

Esta balanza, contará con 3 celdas de viga de cizallamiento de 75 kg cada una.

Selección de transmisores de peso

Al igual que para el tanque de recepción de aceite, el equipo seleccionado es el CLM8 INOX de LAUMAS.

Se necesitarán 8 transmisores de peso.

Selección del variador de frecuencia

Para la elaboración de salsas frías, se dispone de una bomba para dosificación de aceite de con un motor trifásico de 2 HP de potencia. Para garantizar la precisión en la dosificación, se instalará un variador de frecuencia que regulará el caudal.

El variador debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Potencia Variador: 1.15 veces la potencia del motor
- Voltaje de alimentación: 220 V
- Puerto de comunicación: RS485
- Protocolo de comunicación: MODBUS RTU

La potencia del variador debe ser 2.3 HP debido a la disminución de eficiencia por la altura, sin embargo, esta consideración se realiza para bombas que trabajan en régimen continuo. Para la dosificación de aceite la bomba trabaja en periodos de 5 minutos, aproximadamente 15 veces al día. En consecuencia, se ha determinado la potencia en 2 HP.

De este modo, el variador seleccionado es un SINAMICS V20 de la marca SIEMENS, cuyos datos técnicos son:

- Potencia: 2 HP
- Voltaje de entrada: 200 a 240 V
- Corriente de entrada: 19.7 A
- Corriente de salida: 7.8 A
- Puerto de comunicación RS 485: Protocolo USS y MODBUS RTU

En la Figura 2.33. se muestra el variador de frecuencia seleccionado.

Figura 2.33. Variador de frecuencia SINAMICS V20 [18]

Selección de válvulas

Para dosificación

Las especificaciones que deben cumplir las válvulas serán:

- Función: Cierre o bloqueo. Normalmente cerrada.
- Tipo de servicio: Líquido sin corrosión de grado alimenticio.
- Tipo de actuador: Neumático.
- Accionamiento frecuente.
- Baja caída de presión.
- Temperatura: 10 - 38°C

Con estos criterios se selecciona la válvula de mariposa de marca DONJOY con actuador neumático y electroválvulas SMC SY7120 al igual que en la recepción de aceite.

En base al diagrama de instrumentación, se determina el número de válvulas necesarias:

- 15 válvulas mariposa con actuador neumático de 1 ½'': 13 para dosificación de agua y aceite, y dos para la descarga desde los tanques de almacenamiento.
- 1 válvula mariposa con actuador neumático de 2'' para la descarga de la tolva de cocción hacia el tanque mezclador.

Para descarga controlada

Para la elaboración de mayonesas, se necesita descargar el contenido de las tolvas de premezcla hacia el tanque mezclador de manera controlada ya que un caudal muy alto afecta a su calidad. Así pues, se usarán válvulas proporcionales para este propósito.

Las especificaciones que deben cumplir las válvulas serán:

- Estrangulación. Normalmente cerrada.
- Tipo de servicio: Líquido sin corrosión de grado alimenticio.
- Tipo de actuador: Neumático.
- Accionamiento frecuente.
- Caída de presión media.
- Temperatura: 10 - 38°C

Con estos criterios se selecciona la válvula de mariposa de marca DONJOY con actuador neumático y posicionador IL TOP de la misma marca.

El posicionador será controlado por medio de salidas análogas de corriente desde el PLC, el cual presenta los siguientes datos técnicos:

- Señal de entrada: 0/4 a 20 mA o 0 a 5/10 V
- Voltaje de alimentación: 24 V
- Presión: 5 – 7 bar
- Grado de protección IP: 68

En la Figura 2.34. se muestra al posicionador IL TOP.

Figura 2.34. Posicionador IL TOP [11]

Se necesitarán:

- 2 válvulas proporcionales de 2’’: 1 para la descarga de la tolva de solubles en aceite y otra para la descarga de la tolva de solubles en agua.

Selección de sensores de nivel

Con el fin de impedir posibles derrames y evitar que la bomba funcione en vacío al realizar la dosificación. Se instalarán sensores de nivel alto en cada tolva de dosificación y en el tanque mezclador. Y sensores de nivel bajo en los tanques de almacenamiento.

- Naturaleza del fluido: Aceite y agua de grado alimenticio.
- Rangos de funcionamiento: Temperatura máxima 35°C.
- Medición puntual.
- Medición de nivel con contacto.

Al igual que en la etapa de recepción, los sensores seleccionados son los LMT 102.

En el tanque de mezcla de mayonesa, se instalará un sensor de vibración SITRANS LVL100 de la marca SIEMENS. Porque la consistencia de la mayonesa hace que ésta tienda a adherirse al sensor, dejando residuos que podrían ocasionar falsos positivos. Éste sensor es el más adecuado para este tipo de aplicación.

En la Figura 2.35. se muestra el sensor SITRANS LVL 100.

Figura 2.35. Sensor de vibración SITRANS LVL 100 [19]

Dimensionamiento de PLC

Con el fin de independizar el proceso de elaboración de mayonesas con el proceso de elaboración de salsas especiales, se ha decidido utilizar un PLC para cada área. De esta manera se tiene un control distribuido.

PLC para elaboración de mayonesa

Después de realizar un estudio detallado del proceso, se han determinado los siguientes elementos:

Entradas Digitales PLC:

- 4 sensores de nivel alto para cada tolva de dosificación.
- 4 sensores de nivel para tanques de almacenamiento: 2 para nivel alto y 2 para nivel bajo.
- Falla de variador.
- 8 selectores de agitadores.
- 2 selectores para bombas: dosificación y filtro.

Salidas Digitales PLC:

- 4 válvulas de tanques de almacenamiento: 2 de entrada y 2 de salida.
- 5 válvulas de dosificación.
- 1 válvula de descarga de tolva de cocción.
- 2 bombas: dosificación y filtro.
- 8 agitadores.

- Alarma Sonora

Entradas Análogas PLC:

- 2 transmisores de presión hidrostática para medición de nivel de tanques de almacenamiento.

Salidas Análogas PLC:

- 2 válvulas proporcionales: 1 de descarga de tolva de premezcla de solubles en aceite y 1 de descarga de tolva de premezcla de solubles en agua.

Además, el PLC debe contar con:

- Puerto/Módulo de comunicación Ethernet: para comunicación con PC, panel de operador y con otros PLCs.
- Puerto/Módulo de comunicación RS485 para MODBUS RTU: para comunicación con transmisores de peso y variador de frecuencia.

Se ha seleccionado un PLC de la marca SIEMENS, modelo S7-1200 1214C AC/DC/RLY con los siguientes módulos adicionales:

- Módulo de comunicación CM 1241 (RS485).
- Módulo de expansión de 16 entradas / 16 salidas digitales tipo relé.
- Módulo de expansión de 2 salidas análogas configurables para voltaje (0-10 V) y corriente. (0/4 – 20 mA).

Sus especificaciones técnicas son:

- Memoria de trabajo 100KB
- Fuente de alimentación 120/240V AC
- 14 entradas Digitales x 24V DC SINK/SOURCE
- 10 salidas digitales tipo relé
- 2 entradas análogas de voltaje integradas
- Ampliación de hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie
- Hasta 8 módulos de señales para ampliación E/S
- 0,04ms/1000 instrucciones

- Interfaz PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC

En la Figura 2.36. se muestra al PLC S7 1214C con sus módulos adicionales.

Figura 2.36. PLC S7 1214C con módulos adicionales.

PLC para elaboración de salsas especiales

Entradas Digitales PLC:

- 3 sensores de nivel alto para cada tolva de dosificación.
- 5 selectores de agitadores.

Salidas Digitales PLC:

- 8 válvulas de dosificación.
- 5 agitadores.
- Alarma Sonora

Además, el PLC debe contar con:

- Puerto/Módulo de comunicación Ethernet: para comunicación con PC, panel de operador y con otros PLCs.
- Puerto/Módulo de comunicación RS485 para MODBUS RTU: para comunicación con transmisores de peso.

Se ha seleccionado un PLC de la marca SIEMENS, modelo S7-1200 1212C AC/DC/RLY con los siguientes módulos adicionales:

- Módulo de comunicación CM 1241 (RS485).
- Módulo de expansión de 16 entradas / 16 salidas digitales tipo relé.

Sus especificaciones técnicas son las mismas que el PLC de la etapa de recepción.

En la Figura 2.37. se muestra al PLC S7 1212C con sus módulos adicionales.

Figura 2.37. PLC S7 1212C con módulos adicionales.

Selección de paneles de operador

Para la elaboración de mayonesa y salsas especiales, se define que los paneles se encuentren cerca de las tolvas de proceso. En este sitio las condiciones ambientales son hostiles, por la presencia de aceite y agua en el ambiente. Así mismo, al momento de realizar limpieza del área, las personas encargadas de esta tarea suelen salpicar las paredes con agua. Por lo que paneles con un grado de protección IP 66, o consolas de mando con estas características son indispensables.

En cuanto a la frecuencia de operación, en el área de preparación de mayonesa y de preparación de salsas especiales, se producen aproximadamente 10 lotes diarios.

Considerando las variables y parámetros a visualizar, se tienen:

- Sensores de nivel puntuales.
- Contenido de aceite en los tanques de almacenamiento.
- Estado de las válvulas.
- Estado de la bomba de dosificación.
- Alarmas y menús.
- Administración de usuarios.
- Importación de recetas.
- Visualización de ingredientes.

- Visualización de peso de cada tolva.
- Funciones de tara y puesta en cero de cada tolva.
- Encendido de agitadores.
- Visualización de tiempos de preparación de recetas.
- Modos de funcionamiento: manual, semiautomático y automático.

Ya que el panel se usa diariamente y la cantidad de variables a visualizar es considerable, se requiere un panel con buena resolución, robusto, gran capacidad de memoria, con un tamaño óptimo para la operación.

En consecuencia, se ha seleccionado un panel de operador de SIEMENS KTP 700 Basic PN para cada sección, que cumple con las consideraciones previamente mencionadas. Sus características principales se resumen a continuación.

- Pantalla de 7'' (800 x 480 pixeles).
- 64 mil colores.
- Manejo táctil o con teclado.
- 8 teclas de función.
- Interfaz PROFINET.
- Puerto USB para almacenamiento de registros y actualización de firmware.
- Voltaje de alimentación: 24 VDC ± 20%
- Grado de protección IP: Parte delantera: IP65, Parte posterior: IP20

El grado de protección de estos paneles es menor que el necesario para la aplicación. Esto deberá ser subsanado con el diseño de consolas de mando que protejan a los paneles ante salpicaduras de agua.

En la Figura 2.38. se muestra un panel de operador KTP 700 Basic PN.

Figura 2.38. Panel de operador KTP700 Basic PN [17]

Diseño de diagrama y tablero de control

Una vez definidos los equipos y dispositivos que serán instalados en campo para elaboración de salsas frías, se diseña el diagrama de control.

El diagrama de control se encuentra en el ANEXO III.

A partir del diagrama, se define que existirá un tablero de control principal, un tablero para el variador de frecuencia, y 2 consolas de mando, una para cada panel de operador.

En la Tabla 2.11. se muestra la lista de todos elementos que conforman el tablero principal.

Tabla 2.11. Elementos del tablero de control

Elemento	Nombre	Modelo	Características	Función
Breaker	Q0	SIEMENS 3VT1703-2DC36 – 0AA0	Trifásico 32 A	Seccionador principal.
Breaker	Q1	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para entrada de fuente 24 VDC
Breaker	Q2	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para salida de fuente 24 VDC
Breaker	Q3	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para el PLC y electroválvulas 110 VAC
Breaker	Q4	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para elementos de 24 VDC. Área de Salsas especiales
Breaker	Q5	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para

				elementos de 24 VDC. Área de Mayonesas
Fuente de alimentación	U1	Fuente de poder: SITOP	Voltaje entrada: 100-240 V Voltaje Salida: 24 VDC 5 A	Alimentación 24 VDC paneles de operador, módulos de comunicación, entradas digitales. Trasmisores de peso
PLC	PLC 1	SIEMENS 1214 AC/DC/RLY	14 DI / 10 DO 2 AI / PROFINET	Controlador área preparación de mayonesa
Módulo de comunicación MODBUS	A1	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisores de peso
Módulo de ampliación 16 entradas 16 salidas	A2	SIEMENS SM1223	16 DI / 16 DO A RELE	Entradas y salidas área mayonesa
Módulo de ampliación de 2 salidas análogas	A3	SIEMENS SM1232	2 salidas análogas configurables	Para válvulas proporcionales.
PLC	PLC 2	SIEMENS 1212 AC/DC/RLY	8 DI / 6 DO 2 AI / PROFINET	Controlador área preparación de salsas especiales
Módulo de comunicación MODBUS	A4	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisor de peso
Módulo de ampliación 16 entradas 16 salidas	A5	SIEMENS SM1223	16 DI / 16 DO A RELE	Entradas y salidas área salsas especiales
Switch Ethernet	A0	TRENDNET TI-PG80	8 puertos Ethernet	Switch Ethernet / PROFINET

El tablero cuenta también con accesorios de montaje como: canaletas, borneras, marquillas, etc.

Diseño del sistema de control

Se han definido 3 modos de funcionamiento:

- Modo Manual

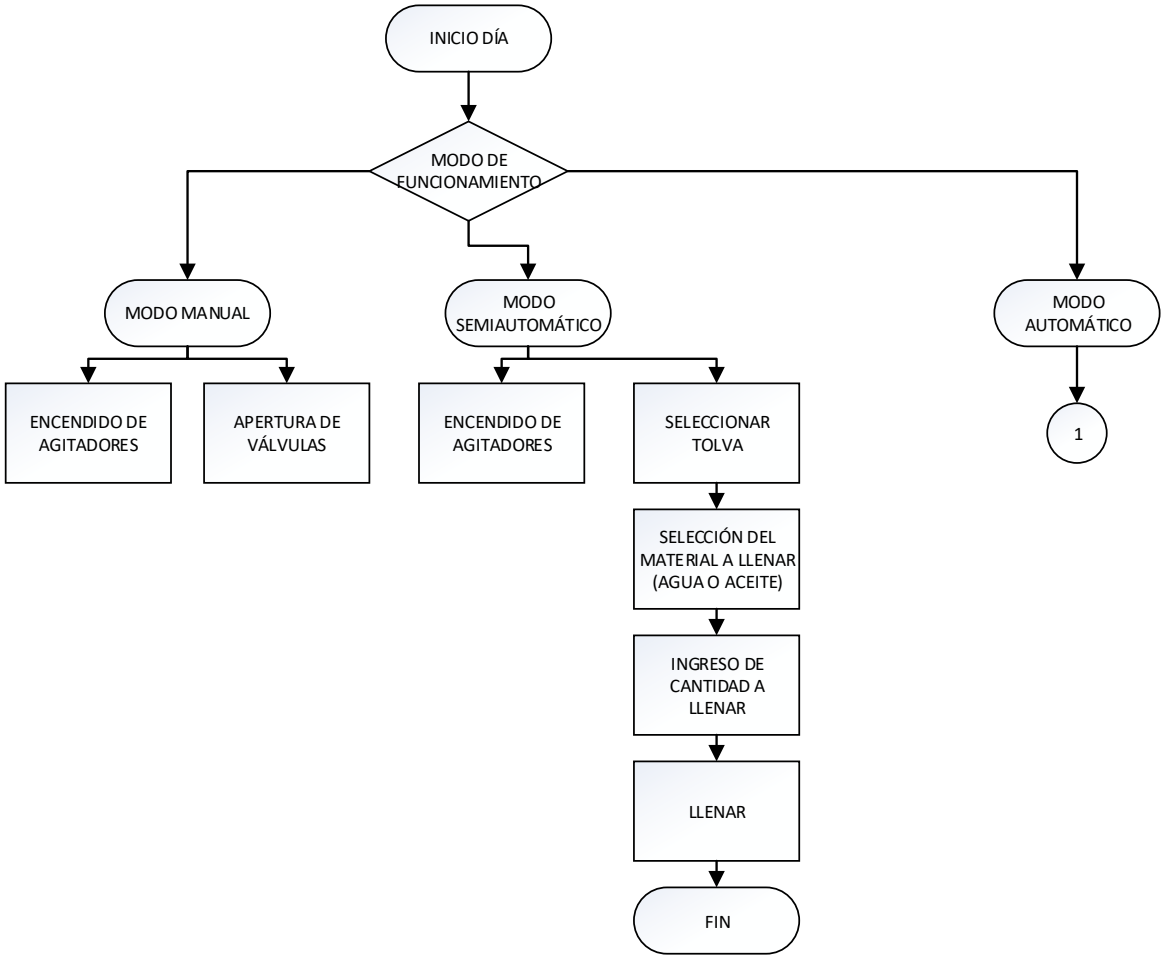
- Modo Semi Automático
- Modo Automático

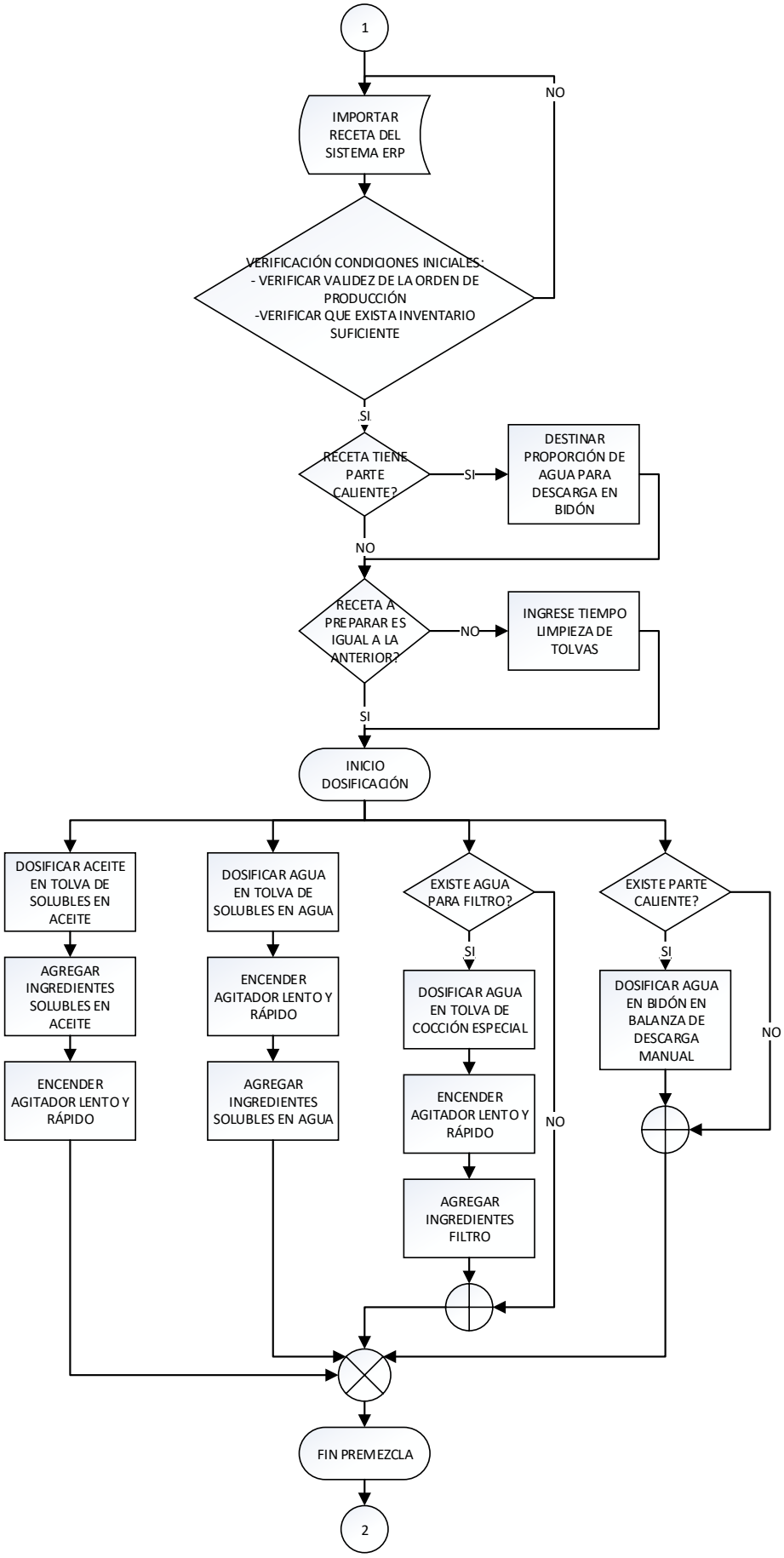
El modo manual permite la apertura y cierre de válvulas, encendido y apagado de bomba y agitadores.

El modo semiautomático permite el llenado controlado de agua y aceite en cada tolva de dosificación, y también el encendido y apagado de agitadores y bomba.

El modo automático inicia la secuencia de elaboración de una salsa y se ejecuta únicamente con una orden de producción.

En la Figura 2.39. se presentan los diagramas de flujo de cada modo de funcionamiento en el área de elaboración de mayonesa.


INICIO DÍA
MODO DE FUNCIONAMIENTO
MODO MANUAL
MODO SEMIAUTOMÁTICO
MODO AUTOMÁTICO
ENCENDIDO DE AGITADORES
APERTURA DE VÁLVULAS
ENCENDIDO DE AGITADORES
SELECCIONAR TOLVA
1
SELECCIÓN DEL MATERIAL A LLENAR (AGUA O ACEITE)
INGRESO DE CANTIDAD A LLENAR
LLENAR
FIN


1
IMPORTAR RECETA DEL SISTEMA ERP
NO
VERIFICACIÓN CONDICIONES INICIALES:
- VERIFICAR VALIDEZ DE LA ORDEN DE PRODUCCIÓN
-VERIFICAR QUE EXISTA INVENTARIO SUFICIENTE
SI
RECETA TIENE PARTE CALIENTE?
SI
DESTINAR PROPORCIÓN DE AGUA PARA DESCARGA EN BIDÓN
NO
RECETA A PREPARAR ES IGUAL A LA ANTERIOR?
NO
INGRESE TIEMPO LIMPIEZA DE TOLVAS
SI
INICIO DOSIFICACIÓN
DOSIFICAR ACEITE EN TOLVA DE SOLUBLES EN ACEITE
AGREGAR INGREDIENTES SOLUBLES EN ACEITE
ENCENDER AGITADOR LENTO Y RÁPIDO
DOSIFICAR AGUA EN TOLVA DE SOLUBLES EN AGUA
ENCENDER AGITADOR LENTO Y RÁPIDO
AGREGAR INGREDIENTES SOLUBLES EN AGUA
EXISTE AGUA PARA FILTRO?
SI
DOSIFICAR AGUA EN TOLVA DE COCCIÓN ESPECIAL
ENCENDER AGITADOR LENTO Y RÁPIDO
AGREGAR INGREDIENTES FILTRO
NO
EXISTE PARTE CALIENTE?
SI
DOSIFICAR AGUA EN BIDÓN EN BALANZA DE DESCARGA MANUAL
NO
FIN PREMEZCLA
2

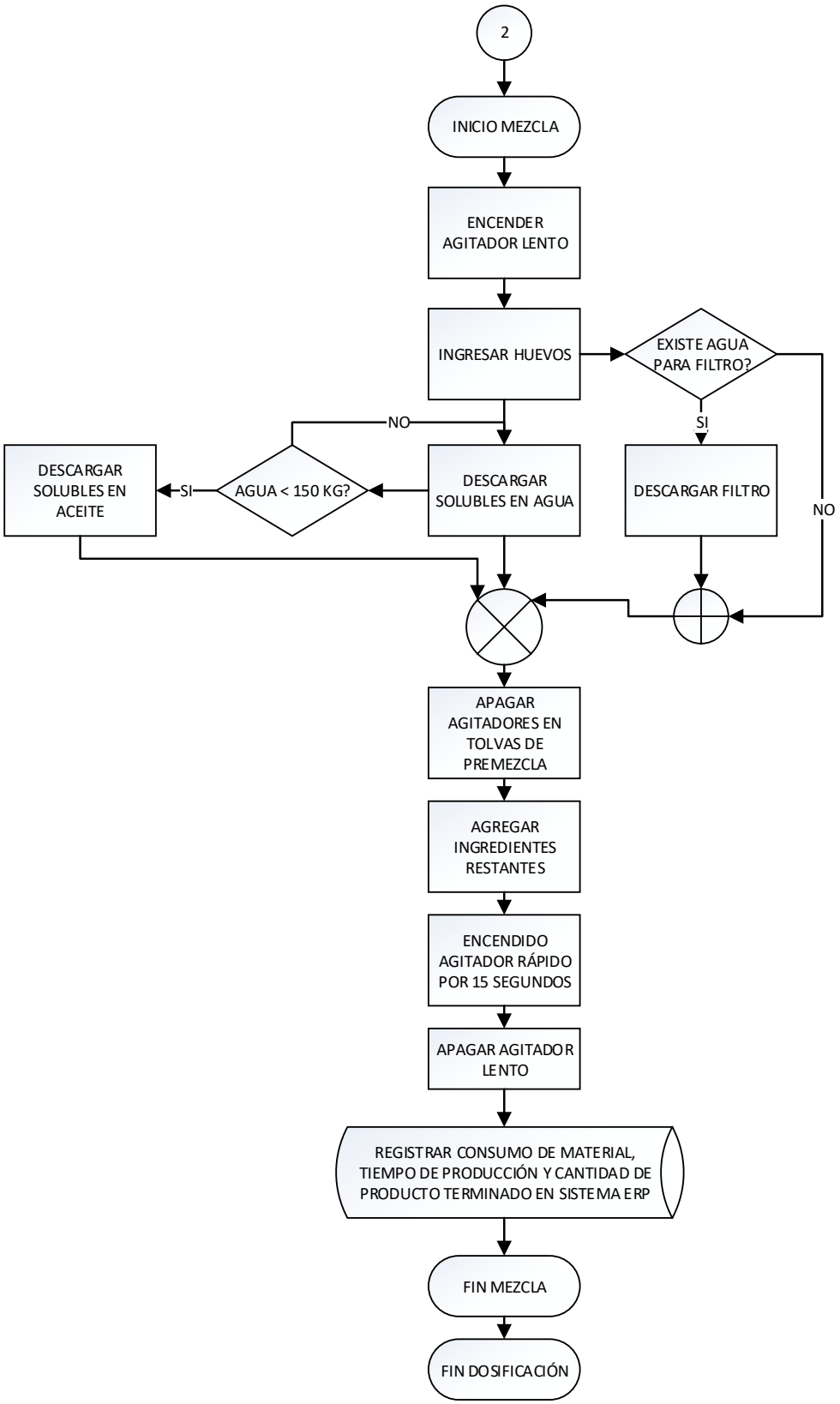
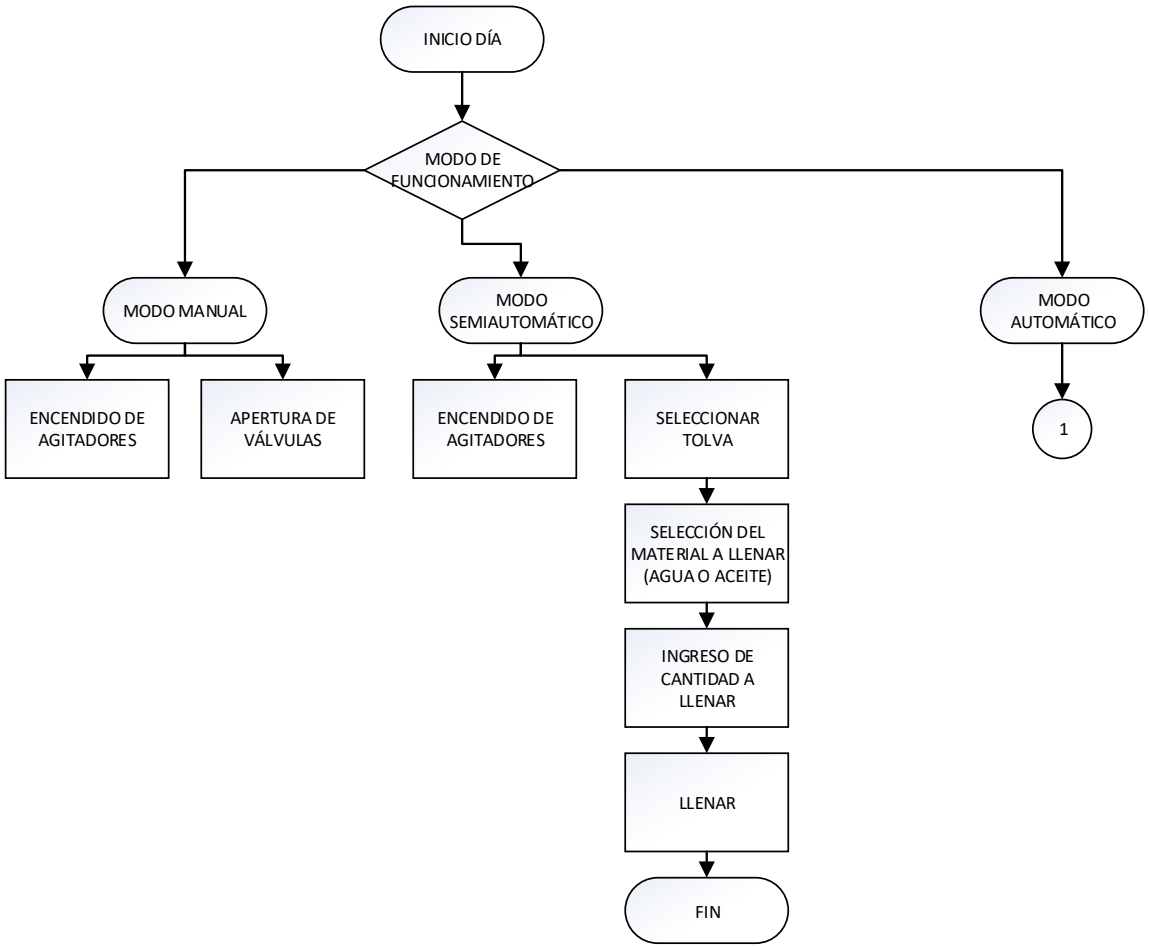
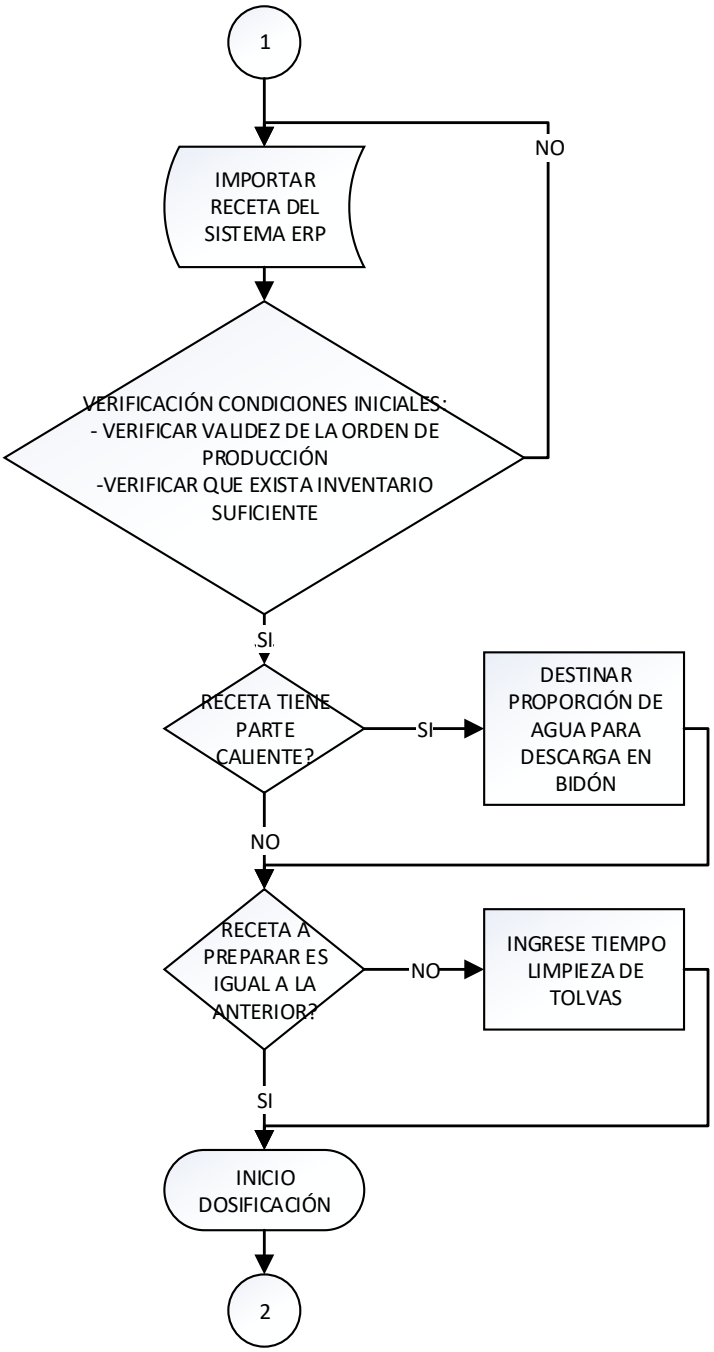


Figura 2.39. Diagrama de flujo de modos de funcionamiento para elaboración de mayonesa

En la Figura 2.40. se muestra el diagrama de flujo de los modos de funcionamiento para la elaboración de salsas especiales.




1
IMPORTAR RECETA DEL SISTEMA ERP
NO
VERIFICACIÓN CONDICIONES INICIALES:
- VERIFICAR VALIDEZ DE LA ORDEN DE PRODUCCIÓN
-VERIFICAR QUE EXISTA INVENTARIO SUFICIENTE
SI
RECETA TIENE PARTE CALIENTE?
SI
DESTINAR PROPORCIÓN DE AGUA PARA DESCARGA EN BIDÓN
NO
RECETA A PREPARAR ES IGUAL A LA ANTERIOR?
NO
INGRESE TIEMPO LIMPIEZA DE TOLVAS
SI
INICIO DOSIFICACIÓN
2

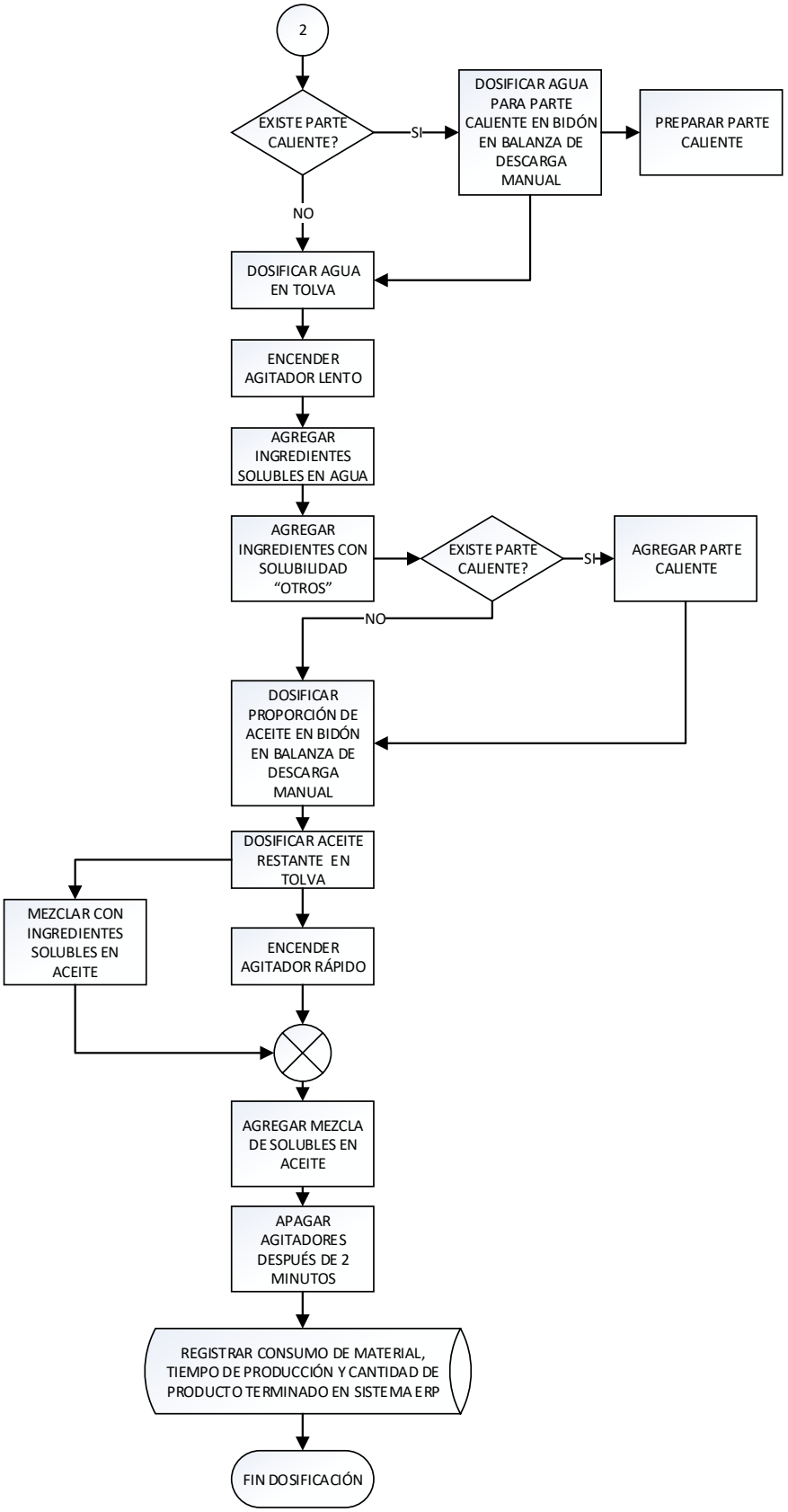


Figura 2.40. Diagrama de flujo de modos de funcionamiento para elaboración de salsas

Programación de PLC

Los PLCs del área de elaboración de salsas frías también serán programados con TIA PORTAL.

En la Figura 2.41. se muestra la estructura de programa del PLC para elaboración de mayonesa.

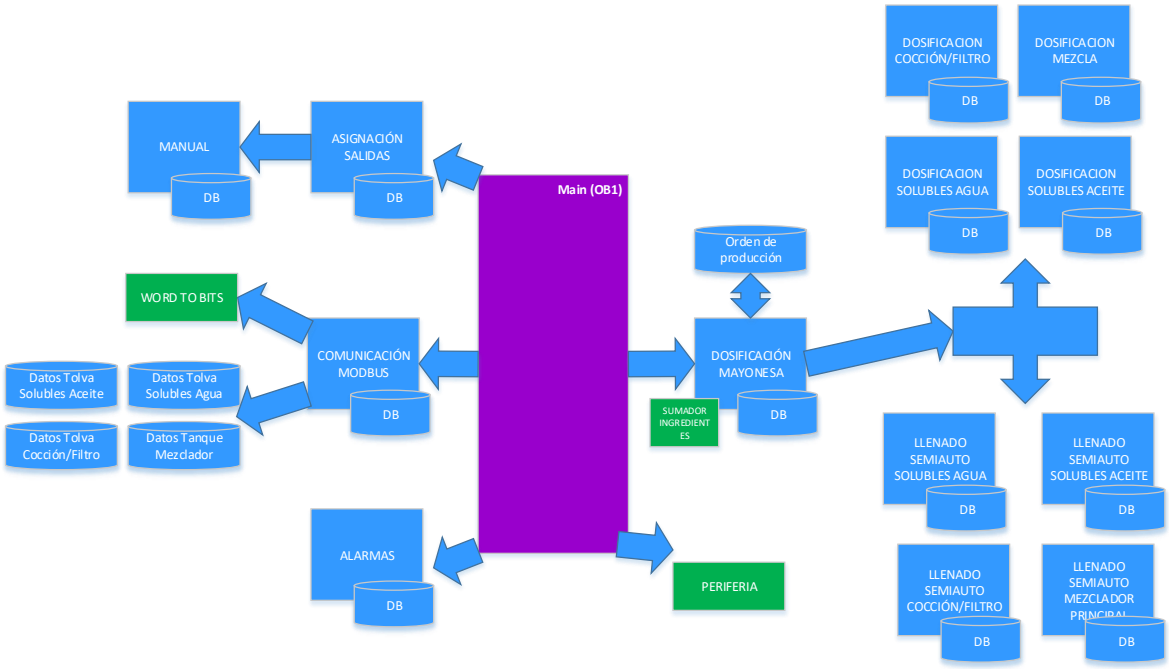


Figura 2.41. Estructura del programa del PLC para elaboración de mayonesa

El programa contiene 4 bloques de función y una función en el bloque de organización cíclico OB1. Dentro de cada bloque de función existirán otros bloques de función anidados y bloques de datos asociados a éstos. Cada bloque cumple con funciones específicas, las cuales se detallan a continuación:

- FB Asignación Salidas: En este bloque se reúnen las variables de salida de todos los bloques de función para asignarlas a sus correspondientes salidas digitales, considerando la jerarquía en la operación y las seguridades necesarias. Aquí se encuentra también el bloque FB “Manual”, que contiene el manejo de todos los elementos en modo Manual.
- FB Comunicación MODBUS: En este bloque se encuentran todas las instrucciones necesarias para establecer la comunicación con los transmisores de peso de los tanques de dosificación. La comunicación se realiza de manera cíclica, consultando a un transmisor a la vez. Los datos obtenidos de los transmisores serán almacenados en

bloques de datos individuales para cada tolva. La función “WordToBits” se utiliza para convertir la palabra de estado de los transmisores, en bits individuales para su uso en otros FBs.

- FB Alarmas: Este bloque contiene la activación de todas las alarmas y avisos del sistema.
- FB Dosificación Mayonesa: Este bloque contiene 8 FBs anidados, 4 de dosificación de cada tolva, y 4 de llenado semiautomático de cada tolva. Además, este bloque guarda los datos obtenidos del sistema ERP en el bloque de datos “Orden de Producción” y usa la función suma de ingredientes para obtener la cantidad total de producto terminado elaborado.
- FC Periferia: Esta función envía/recibe los datos hacia/desde los PLCs definidos como IO Device.

En la Figura 2.42. se muestra la estructura del programa del PLC para la elaboración de salsas especiales.

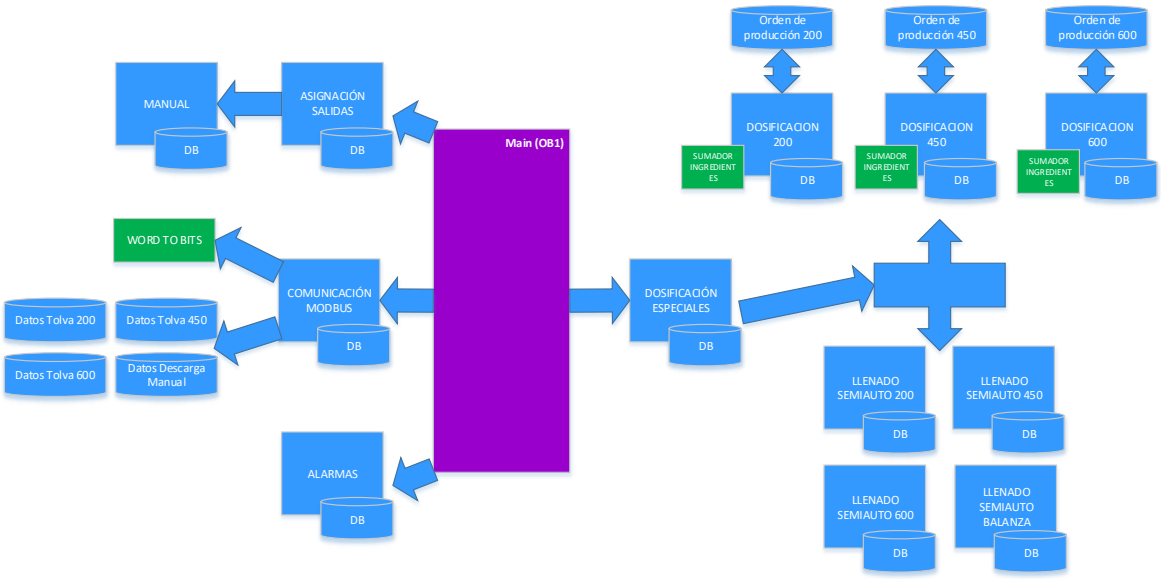


Figura 2.42. Estructura del programa del PLC para elaboración de salsas especiales

El programa contiene 4 bloques de función en el bloque de organización cíclico OB1. Dentro de cada bloque de función existirán otros bloques de función anidados y bloques de datos asociados a éstos. Cada bloque cumple con funciones específicas, las cuales se detallan a continuación:

- FB Asignación Salidas: En este bloque se reúnen las variables de salida de todos los bloques de función para asignarlas a sus correspondientes salidas digitales,

considerando la jerarquía en la operación y las seguridades necesarias. Aquí se encuentra también el bloque FB “Manual”, que contiene el manejo de todos los elementos en modo Manual.

- FB Comunicación MODBUS: En este bloque se encuentran todas las instrucciones necesarias para establecer la comunicación con los transmisores de peso de los tanques de dosificación. La comunicación se realiza de manera cíclica, consultando a un transmisor a la vez. Los datos obtenidos de los transmisores serán almacenados en bloques de datos individuales para cada tolva. La función “WordToBits” se utiliza para convertir la palabra de estado de los transmisores, en bits individuales para su uso en otros FBs.

- FB Alarmas: Este bloque contiene la activación de todas las alarmas y avisos del sistema.

- FB Dosificación Especiales: Este bloque contiene 7 FBs anidados, 3 de dosificación de cada tolva, y 4 de llenado semiautomático de cada tolva. Además, este bloque guarda los datos obtenidos del sistema ERP en los bloques de datos “Orden de Producción” de cada tolva. La función suma de ingredientes obtiene la cantidad total de producto terminado elaborado.

Elaboración de imágenes para panel de operador

La imagen principal, que se observa en la Figura 2.43., incluye a todos los tanques y tolvas que están involucrados en el proceso de elaboración de mayonesas, desde esta pantalla se puede seleccionar el modo de operación.

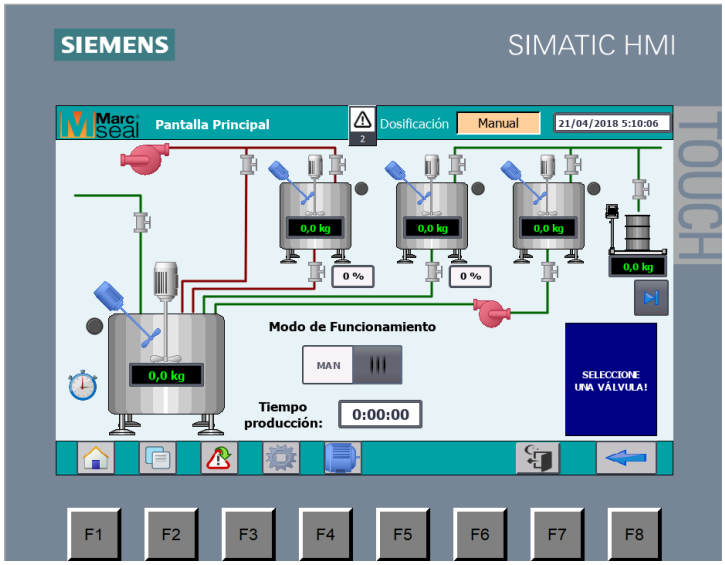


Figura 2.43. Imagen principal proceso de elaboración de mayonesas

En el modo manual se pueden abrir y cerrar válvulas; y encender la bomba de dosificación de aceite y agitadores. Al seleccionar el elemento que se quiere activar, se habilita una ventana con los botones de mando para realizar la operación, como se observa en la Figura 2.44.

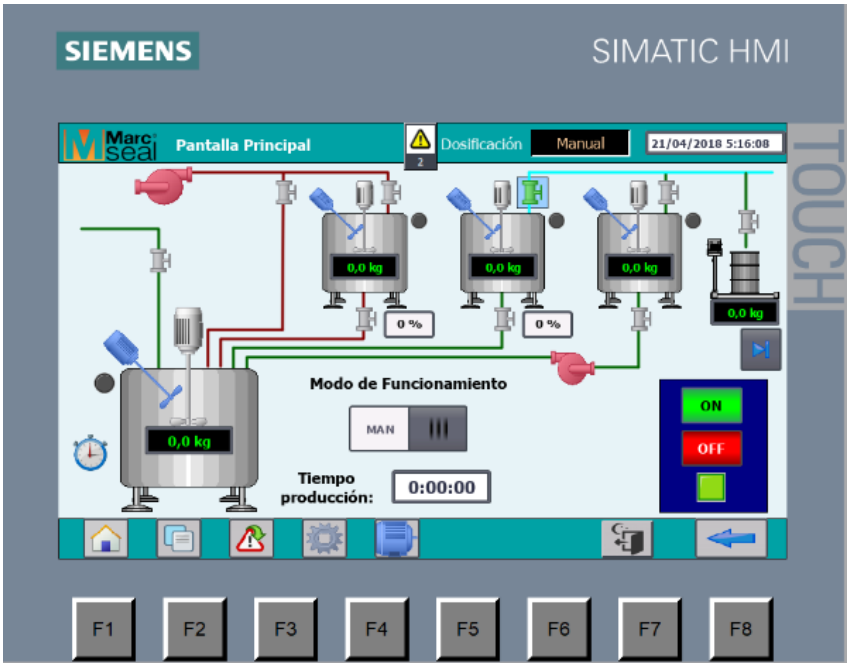


Figura 2.44. Imagen principal modo manual del proceso de elaboración de mayonesas

Con el selector en modo manual se puede acceder a cualquier tanque para realizar dosificación controlada, la Figura 2.45. muestra al tanque de solubles en agua que se ha desplegado luego de seleccionarlo en la pantalla principal. Desde esta pantalla se encienden manualmente los agitadores y se realiza una dosificación controlada. Una vez ingresado el peso a dosificar, el llenado comienza al pulsar el botón “Llenar”.

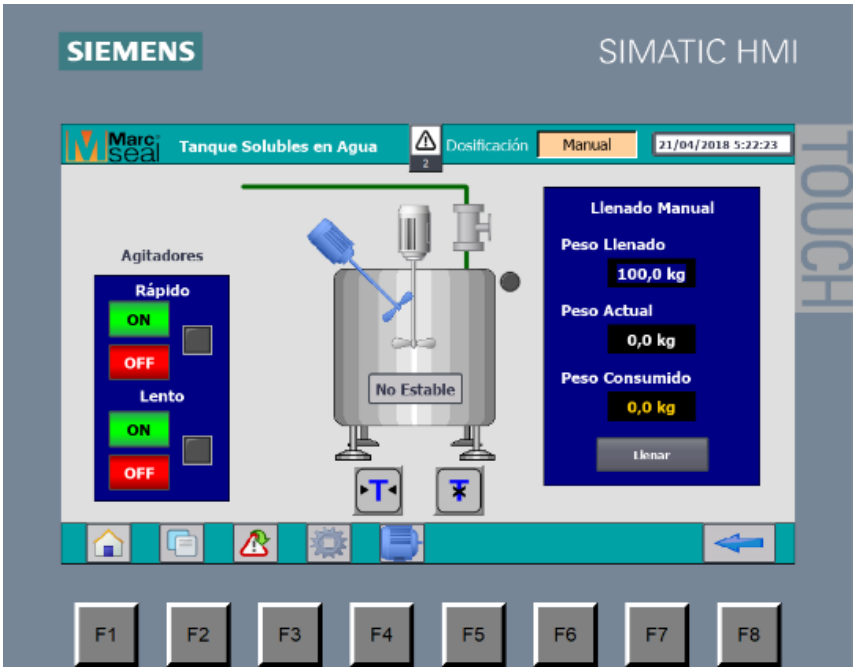
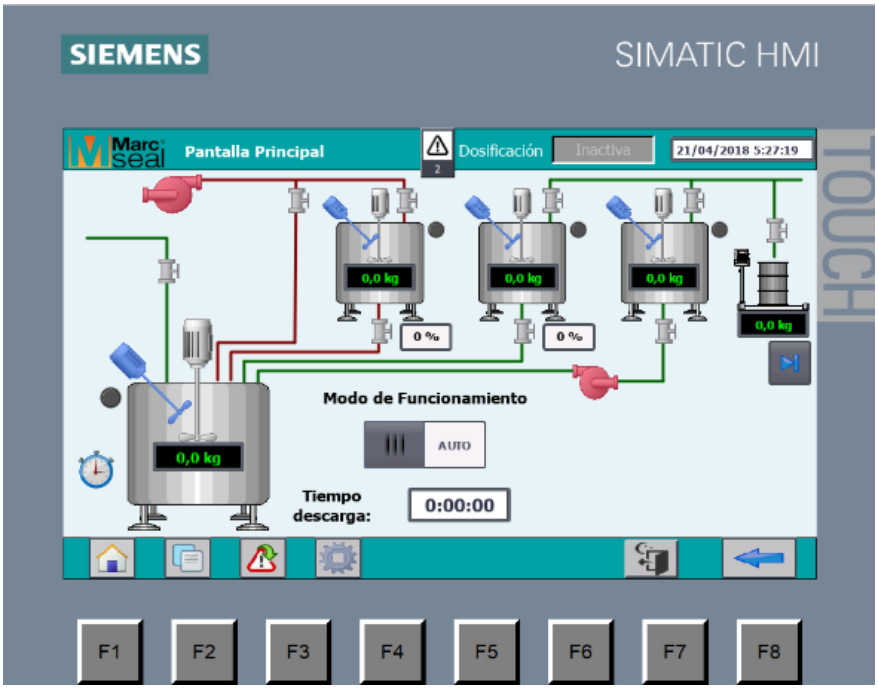


Figura 2.45. Imagen de mando semiautomático del tanque solubles en agua

Con el selector en modo automático, se puede dar inicio al proceso de elaboración de mayonesa mediante la importación de la orden de producción del sistema ERP generada por el departamento de planificación de producción. En la Figura 2.46. se observan las imágenes correspondientes a este modo.



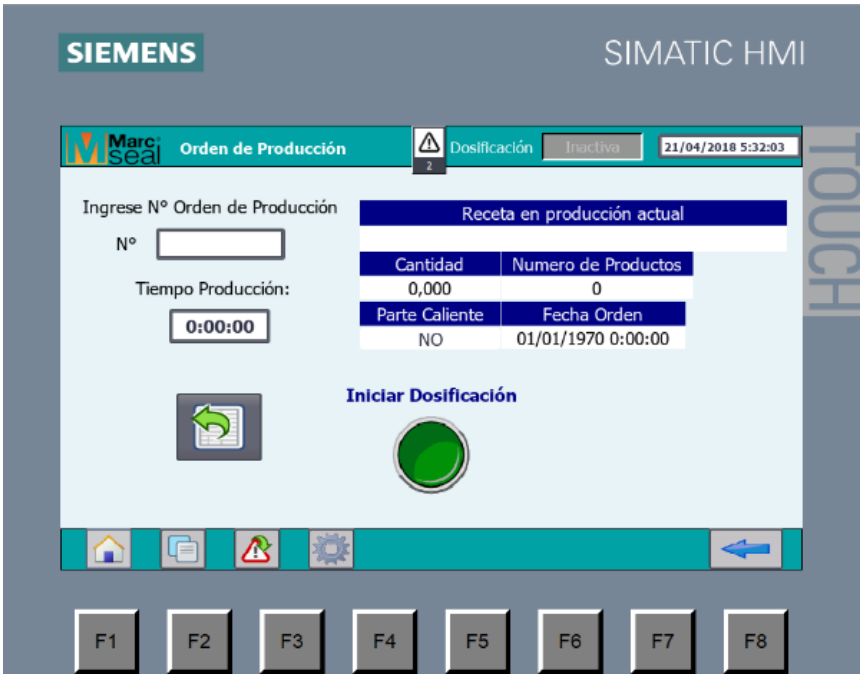


Figura 2.46. Imágenes del modo automático del proceso de elaboración de mayonesas

Al acceder a cualquier tanque en modo automático, se desplegará la imagen mostrada en le Figura 2.47.

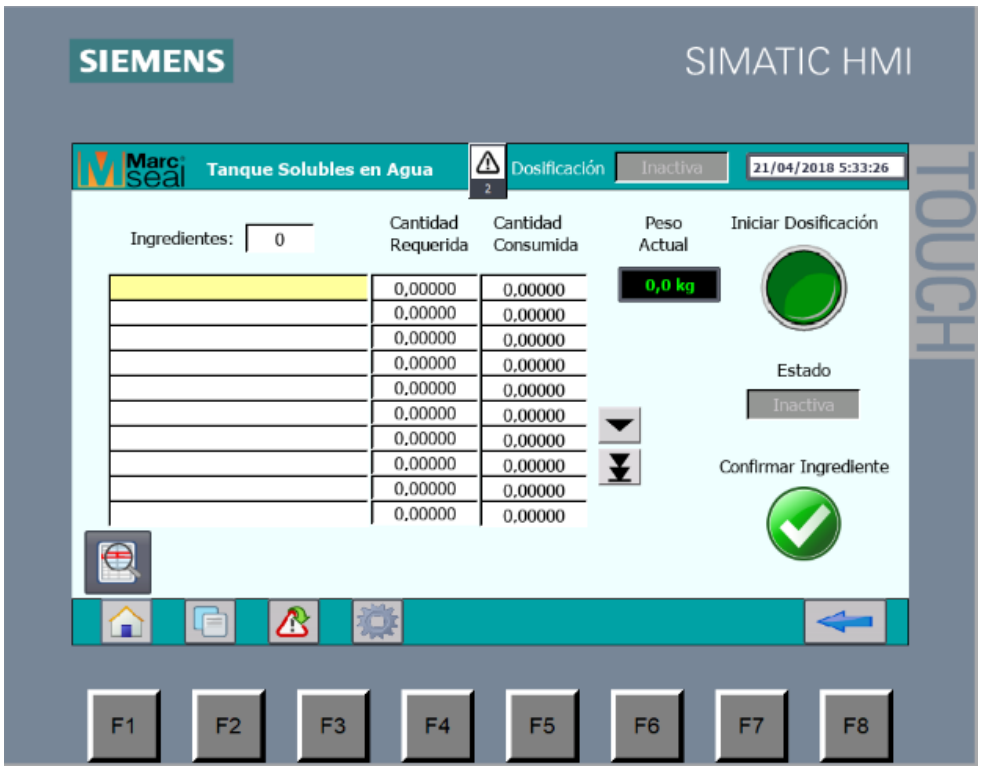


Figura 2.47. Imagen del tanque solubles en agua en modo automático

Sistema de adquisición de datos

La adquisición de datos generados en el nivel de control y en el nivel de gestión se realizará por medio de un sistema SCADA desarrollado en una PC.

Para obtener información desde el nivel de control, la PC se conectará con los controladores a través de una red PROFINET. La información del sistema informático será obtenida por medio de una red Ethernet IP con el servidor que aloja a la base de datos de la empresa.

SCADA

"Un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Adquisition*) es cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control de este". [20]

Un sistema SCADA integra el nivel de control y el nivel de gestión de la pirámide de comunicación y adquiere y centraliza los datos de uno o múltiples procesos y los muestra en una aplicación de PC a diversos usuarios. Además, modifica y supervisa la evolución de uno o múltiples procesos, ya sea a través de un controlador (PLC) o directamente sobre la acción de los elementos de campo de forma remota en un cuarto de control. [20]

En la Figura 2.48. se muestra la arquitectura básica de hardware de un SCADA.

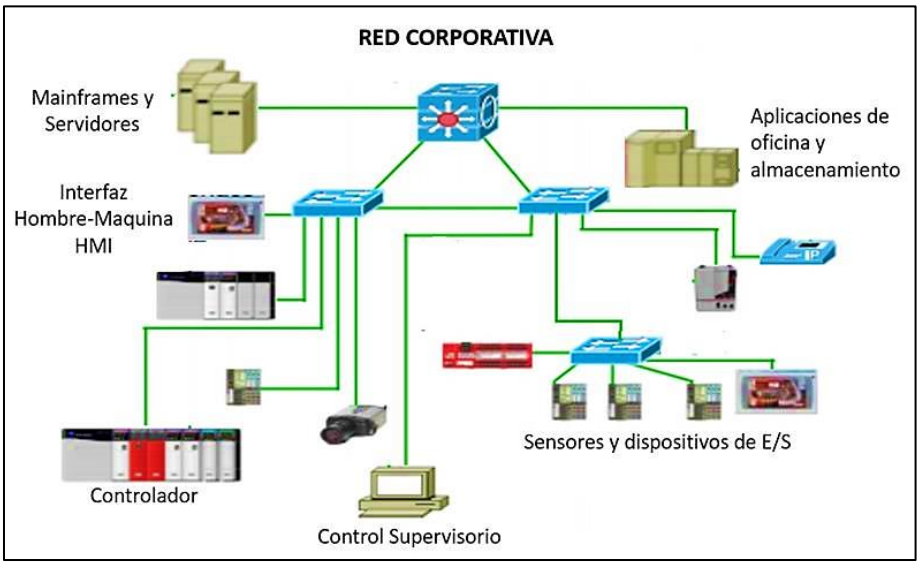


Figura 2.48. Arquitectura básica de hardware de un SCADA [20]

Así mismo, un SCADA cumple con las siguientes funciones:

- Generación de históricos de variables específicas.

- Visualización y almacenamiento de alarmas y eventos.
- Elaboración de reportes de producción, mantenimiento y alarmas.
- Integración y centralización de los procesos.
- Garantía en la seguridad de la información.
- Posibilidad de programación numérica.
- Gestión de información a través de bases de datos.
- Aprovechamiento de datos para gestión administrativa, financiera, de calidad y control estadístico.

Estos dos últimos puntos son de suma importancia para la integración del nivel de control con los niveles superiores de gestión ya que es necesario disponer de información suficiente sobre el estado operativo de la empresa con el fin de mejorar la calidad, incrementar la productividad y planificar acciones de producción.

Diseño de interfaz en PC

La interfaz se desarrollará con el software WinCC Advanced.

La integración con los PLCs es directa, y se realiza únicamente creando un enlace entre la PC y el controlador correspondiente en la configuración de redes y dispositivos de TIA PORTAL, como se observa en la Figura 2.49.

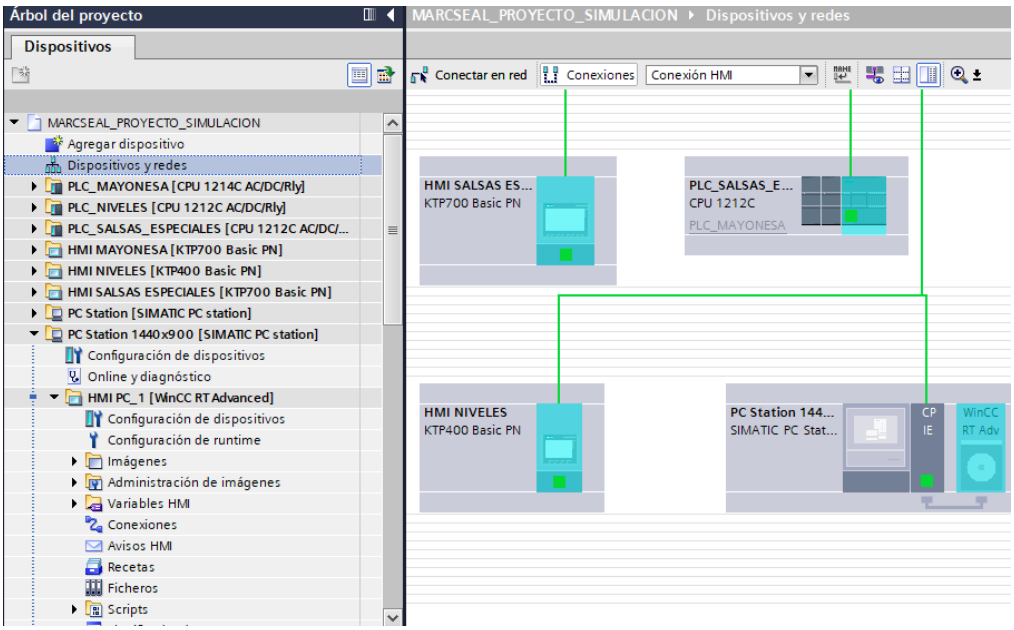


Figura 2.49. Ventana de configuración de dispositivos y redes de TIA PORTAL

La información es obtenida directamente de los bloques de datos y tablas de variables de los PLCs. Por lo que el enlace es sumamente sencillo e intuitivo.

Los objetivos principales de esta interfaz serán:

- Supervisar la recepción de aceite y la elaboración de salsas frías.
- Registrar consumos de materia prima y producto terminado en la elaboración de salsas.
- Registrar inventario de aceite.
- Almacenar tiempos de producción.
- Generar reportes.
- Importar órdenes de producción.

Una de las imágenes desarrolladas se muestra en la Figura 2.50.

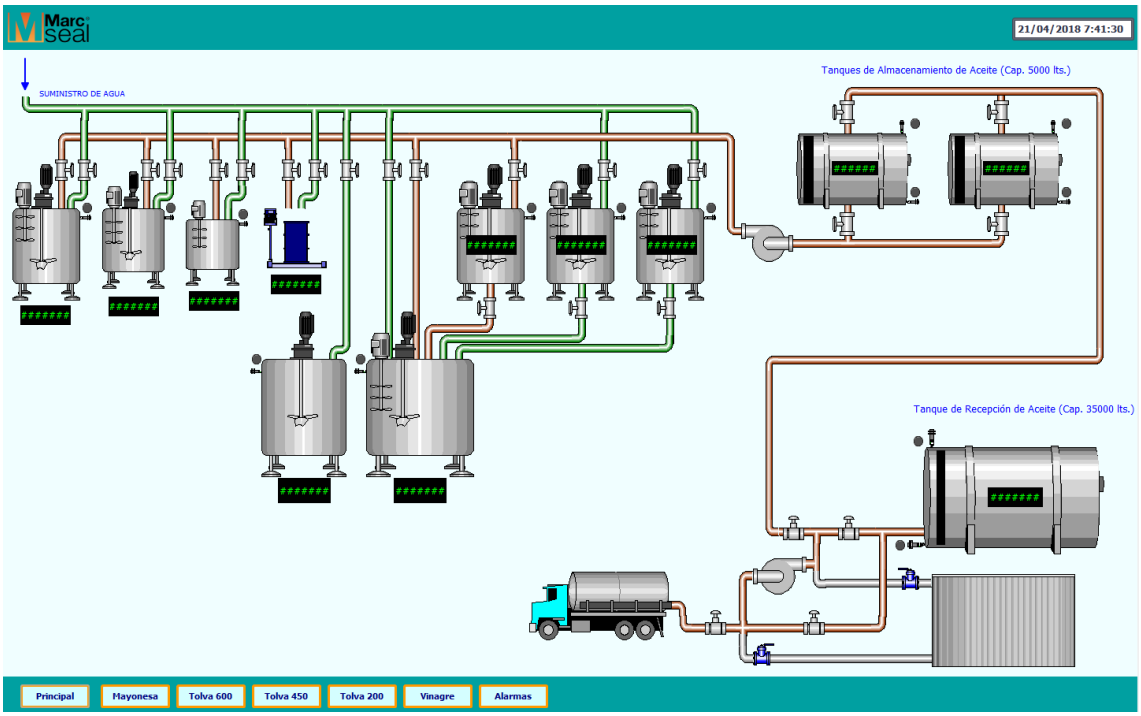


Figura 2.50. Imagen principal del SCADA

Integración con el sistema informático

Sistemas ERP

Un sistema ERP o sistema de planificación de recursos empresariales es un sistema informático fundamental para el manejo de una empresa ya que comprende las distintas

operaciones de gestión que tienen que ver con la producción, logística, inventario y contabilidad. [21]

Una de las funciones de un ERP es la generación de reportes diarios del rendimiento de producción de una planta. Este proceso, en muchos de los casos es realizado manualmente, en donde los operadores extraen los datos de producción y los entregan a los responsables del manejo del ERP.

Este trabajo puede ser sustituido con la integración de la información que proporciona el SCADA en línea y las bases de datos del sistema ERP, a través de una red de comunicación; para optimizar el recurso humano al cambiar el ingreso manual de datos, por procedimientos automatizados.

De esta manera se logra que el ERP disponga de datos de producción en línea, que traen consigo ventajas importantes como agilidad en el suministro de datos, seguridad en la información, seguridad en contra del suministro de datos inconsistentes o erróneos y la posibilidad de tomar decisiones en periodos cortos de tiempo.

Integración con la base de datos del sistema ERP

Para cumplir con los objetivos planteados para la interfaz en PC, se debe establecer una conexión entre el sistema SCADA y la base de datos del sistema ERP. WinCC Advanced funcionará como Cliente SQL de la base de datos.

Para crear un acceso a una fuente de datos, es necesario crear un Origen de Datos ODBC por medio del siguiente procedimiento:

Abrir el administrador de orígenes de datos de Windows: Inicio > Configuración > Panel del Control > Herramientas administrativas > Orígenes de Datos ODBC. Como se muestra en la Figura 2.51.

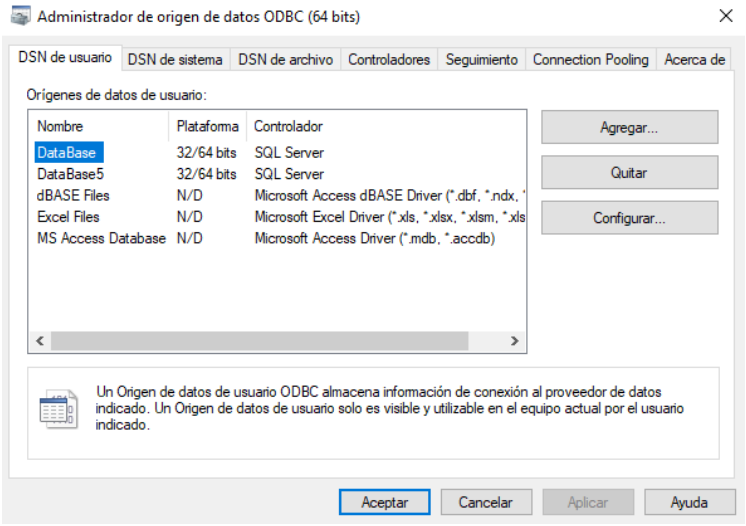


Figura 2.51. Administrador de orígenes de datos

Añadir una fuente de datos: Seleccionar la pestaña “DSN de usuario” y dar clic en el botón “Agregar…”

Se selecciona “SQL Server”, como se muestra en la Figura 2.52.

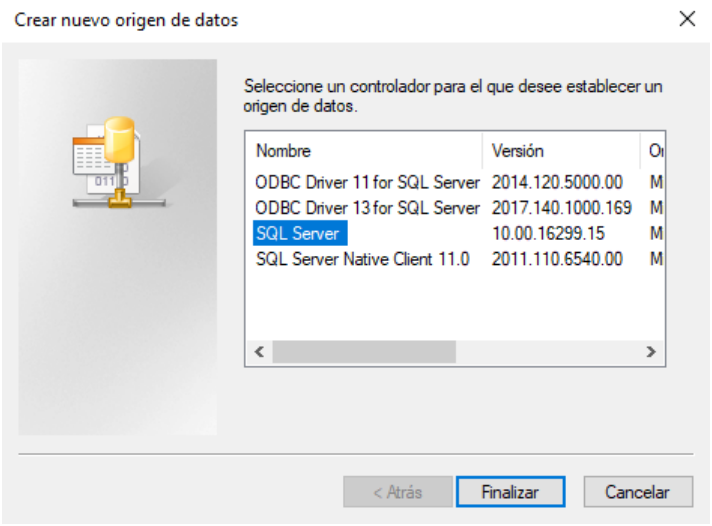


Figura 2.52. Crear nuevo origen de datos

Como se observa en la Figura 2.53. hay que definir un nombre, una descripción, y finalmente conectarse con el servidor que se desea llamar. En este campo puede ingresarse el nombre de la computadora o la dirección IP directamente.

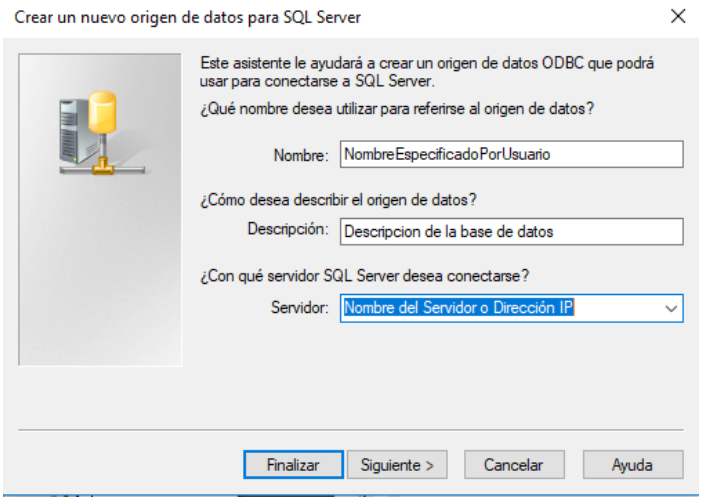


Figura 2.53. Origen de Datos para SQL Server

Se establecerá además la forma de autenticación para ingresar a la base de datos, se seleccionará la base de datos predeterminada y se probará el origen de datos. Este proceso se muestra en la Figura 2.54.

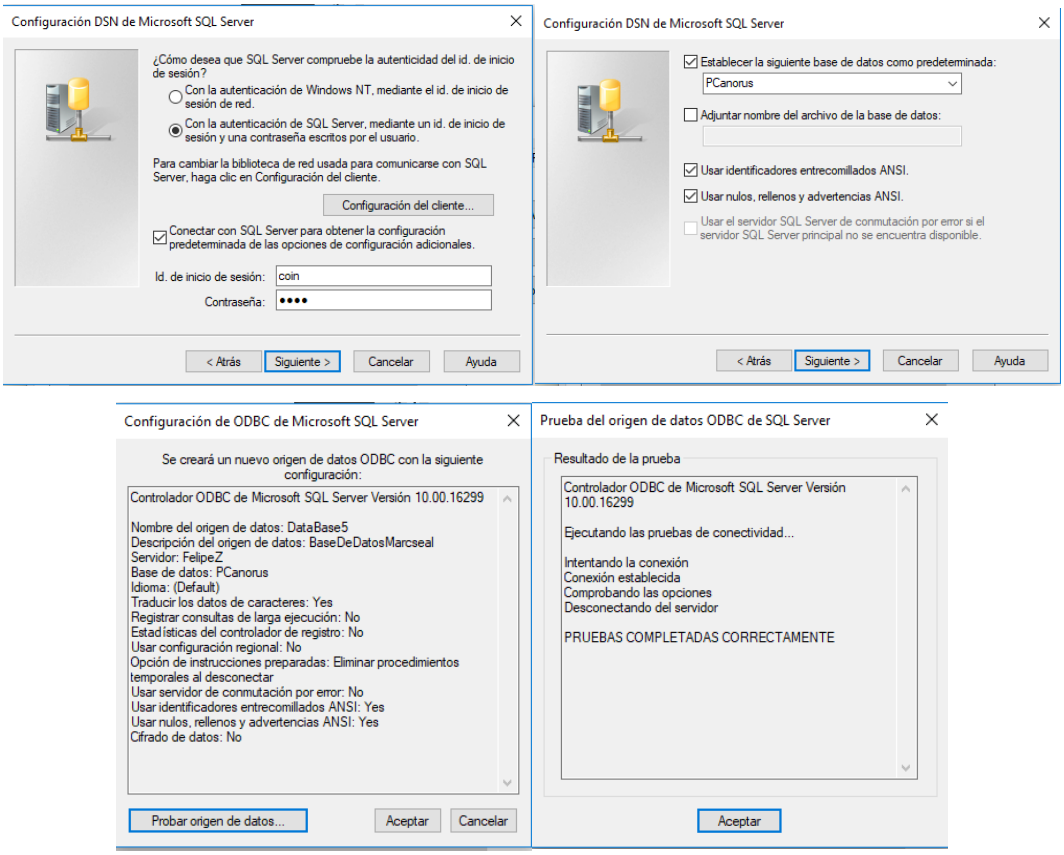


Figura 2.54. Configuración final para la creación de un origen de datos.

Una vez establecida la conexión con la base de datos, es posible la lectura, escritura y ejecución de procedimientos en SQL Server a través de scripts de Visual Basic creados y ejecutados en WinCC Advanced.

Por lo tanto, se desarrollarán scripts en Visual Basic que cumplan las siguientes funciones:

- Escritura de asignaciones y consumos de materia prima en la base de datos
- Lectura de órdenes de producción filtrando únicamente las órdenes del departamento de salsas frías.
- Ejecución de procedimientos para que los consumos se realicen de los lotes de materia prima con fecha de caducidad más próxima.
- Creación y escritura de campos adicionales para poder generar reportes.
- Escritura de tiempos de limpieza y tiempos de producción en las órdenes.

Diseño de la red industrial

Redes de comunicación industrial

El objetivo de la automatización de los procesos industriales es eliminar errores y optimizar recursos. Y para cumplir con este propósito es necesario obtener la mayor cantidad de información posible. Por lo que la implementación de un sistema que permita la adquisición e intercambio de datos de un proceso es un requerimiento imperativo.

Para ello se ha desarrollado el concepto de red de comunicación industrial, que es una serie de equipos y dispositivos del sistema de control industrial interconectados entre sí para intercambio de información.

Una red de comunicación industrial no sólo abarca a los elementos propios de la automatización como controladores, sensores y actuadores, sino que va más allá y enlaza a todos los niveles de una planta.

Sin embargo, esta integración no puede realizarse con un sistema único debido a que los niveles de la planta cumplen con distintas funciones y requieren cualidades diferentes para operar. Por lo que de acuerdo al modelo de automatización CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) las redes de comunicación se dividen en cuatro niveles, según la función y aplicación que tengan. En el primer nivel se encuentran los sensores y actuadores; en los niveles dos y tres están los controladores, transmisores, interfaces Hombre-Máquina, etc. Y en el nivel más alto, se encuentran los sistemas de red de planificación de recursos

empresariales (ERP) y las bases de datos. En la Figura 2.55. se muestra la pirámide CIM de comunicación. [22]

Figura 2.55. Pirámide CIM de comunicación [22]

Los parámetros como velocidad de transferencia, cantidad de información intercambiada y características del medio de transmisión varían según el nivel de la pirámide.

En la Tabla 2.12. se presenta un resumen de los distintos requerimientos de la red de cada nivel.

Tabla 2.12. Requerimientos de red de los niveles de la pirámide CIM

Nivel de la pirámide	Requisitos de la red	Ejemplos de protocolo de comunicación
Nivel de gestión	• Transferencia de grandes cantidades de información. • La velocidad de transmisión no es crítica. Tiempo de transmisión entre minutos y horas. • Instalación en entorno normal.	• Ethernet
Nivel de control	• Gestión eficaz de errores de transmisión. • Transferencia entre grandes distancias. • Red multimaestro • Redundancia • Red de gran capacidad de transferencia de datos. • Tiempo de transmisión de uno o varios segundos.	• Ethernet • PROFINET
Nivel de campo y proceso	• Gestión eficaz de errores de transmisión.	• DeviceNet • ModBus RTU

	• Velocidad de transmisión alta. Tiempo de transmisión de 100us a 100ms • Integración de dispositivos complejos. • Alta confiabilidad • Instalación en ambientes medianamente hostiles.	• LONWorks • Profibus DP • PROFINET
Nivel de E/S	• Volumen de datos pequeño. • Velocidad de transferencia muy alta, 1 – 10 ms • Integración de dispositivos simples. • Instalación en ambientes hostiles.	• AS-i • CAN

Buses de Campo

En todo proceso industrial, se requieren sensores, actuadores y otros dispositivos cuyos estados deben ser supervisados y controlados por el sistema automatizado. Muchas veces, estos equipos se encuentran concentrados en diferentes cuerpos de una máquina o en diferentes sectores de un proceso, por lo que llevar estas señales a un controlador central implica: un gran volumen de cableado, accesorios, materiales de montaje y diseños complejos.

Además, existe la necesidad de interconexión entre máquinas y controladores con el fin de lograr un funcionamiento coordinado.

Con el fin de solucionar esta problemática, se desarrolla el concepto de bus de campo, que permite interconectar a los elementos del mismo nivel de la pirámide entre sí o interconectarlos con elementos de niveles inmediatamente superiores o inferiores, con una sola línea de comunicación. [22]

En la Figura 2.56. se muestra la diferencia entre un sistema de cableado punto a punto con un sistema de cableado mediante bus de campo (multipunto).

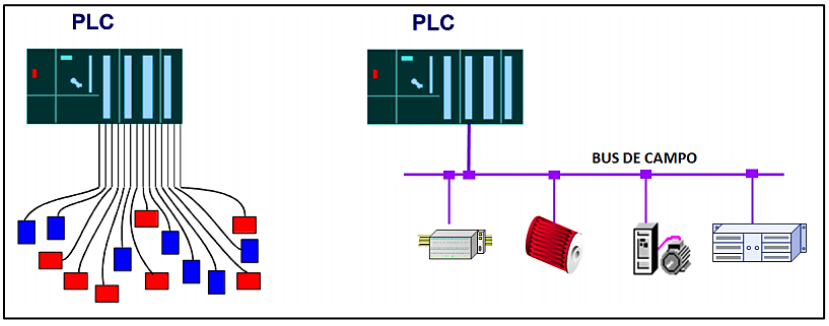


Figura 2.56. Sistema de cableado multipunto vs sistema de bus de campo [22]

Los dispositivos del sistema de control industrial se conectan físicamente al bus de campo y deben usar el mismo lenguaje de comunicación con el fin de intercambiar datos.

El lenguaje con el que se comunican los dispositivos se conoce como protocolo, que consiste en una serie de reglas de transmisión y formato de los mensajes entre dispositivos de una red. Un protocolo debe asegurar la interoperabilidad, que es la capacidad de interconectar equipos de diferentes fabricantes en el mismo sistema.

El medio y el lenguaje varían de acuerdo con el fabricante del protocolo de bus de campo cuyas características no están completamente estandarizadas, por lo que existen múltiples opciones para la selección de un bus adecuado para una aplicación específica.

MODBUS RTU

Es uno de los estándares seriales más usados a nivel de campo y proceso. Esta red utiliza el sistema maestro-esclavo para la transmisión e intercambio de datos, que consiste en una estación activa o maestro, y hasta 247 estaciones pasivas o esclavos, cada una con una dirección específica. Únicamente el maestro puede iniciar una transacción de tipo pregunta-respuesta a cada esclavo de la red. Tanto el telegrama de pregunta como de respuesta tienen la misma estructura:

- 1 byte de dirección
- 1 byte de código de la función
- n bytes de datos
- 2 bytes CRC (Cyclical Redundancy Check)

El primer byte del mensaje representa la dirección del esclavo al cual está destinado el mensaje, y en la respuesta el esclavo incluye su propia dirección. El segundo byte contiene el código de función, que indica el tipo de solicitud; lectura, escritura o diagnóstico. El siguiente grupo de bytes contienen los datos a ser transmitidos, que pueden tener un tamaño variable. Estos datos tienen a su vez una estructura que consiste en un bit de inicio, 8 bits de datos, un bit de paridad y un bit de stop. Los dos últimos bytes se utilizan para el chequeo de errores de transmisión. [23]

En la Figura 2.57. se indica la estructura de los mensajes de MODBUS RTU.

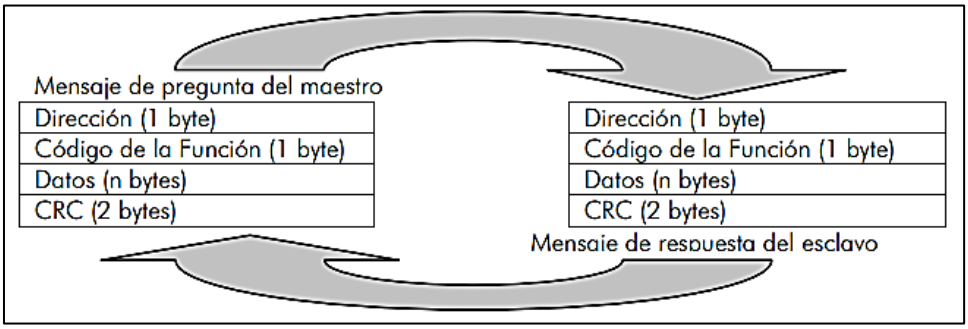


Figura 2.57. Estructura de un mensaje MODBUS RTU [23]

Este protocolo serial abierto puede utilizar como medio físico RS-232 o RS-485. Hoy en día, existen nuevas versiones como MODBUS TCP que utiliza como medio físico Ethernet.

En la Tabla 2.13. se presenta un cuadro comparativo entre las interfaces seriales RS-232 y RS-485, que son los posibles medios físicos de MODBUS RTU.

Tabla 2.13. Cuadro comparativo entre RS-232 y RS-485 [24]

Parámetro o Especificación	RS-232	RS-485
Modo de comunicación	Simplex o Full Dúplex	Simplex o Half-Dúplex
Distancia máxima	15 m	1200 m
Topología de red	Punto a punto	Multipunto
Velocidad de transmisión (a la distancia máxima)	Hasta 20 kbps	Hasta 10 Mbps
Niveles de voltaje	±5 a ± 15 V	±1.5 a ±6 V
Sensibilidad de entrada del receptor	± 3 V	± 200 mV

PROFINET

Es un protocolo abierto que se basa en Ethernet Industrial. PROFINET tiene su origen en la necesidad de integrar los niveles de E/S y campo con los niveles superiores de la pirámide de comunicación. Este protocolo tiene alta confiabilidad y soporta ambientes hostiles en los cuales existen interferencias. Además, su comunicación es determinista, es decir que se puede garantizar que un mensaje es enviado y recibido en un determinado periodo de tiempo.

Una de las características más importantes de PROFINET es la capacidad de integrar dos tipos de comunicación en un solo cable: comunicación en tiempo-real y basada en TCP.

Dependiendo de la aplicación de automatización, existen tres tipos de funcionalidades de PROFINET:

- Comunicación TCP/IP y UDP/IP
- Tiempo real (RT)
- Tiempo real isócrono (IRT)

La transferencia de datos con TCP/IP y UDP/IP se caracteriza por ser un tipo de comunicación en el cual el tiempo no es un factor crítico. Las dos variantes se caracterizan por usar el Protocolo de Internet (IP) y se diferencian en que TCP establece una conexión entre las estaciones antes de enviar el paquete de datos, mientras que UDP no establece una conexión. Por lo que en aplicaciones donde es necesario un menor tiempo de transferencia, pero menor vigilancia, se escoge UDP.

La funcionalidad de tiempo real (RT) es usada para aplicaciones en las cuales el tiempo de transferencia de datos tiene más importancia. Los tiempos de transmisión se encuentran en el rango de 1 a 10ms. Además, se manejan mensajes con diferentes tipos de prioridad, por lo que es ideal para el envío de alarmas. [25]

Cuando se requiere un tiempo de transferencia mucho menor, se aplica la característica de Tiempo Real Isócrono (IRT), en donde el tiempo de ciclo es menor de 1 ms con variaciones menores a 1 µs, ideal para control de movimiento con servomotores.

En la Figura 2.58. se observan las tres funcionalidades de PROFINET y el tiempo de transferencia de datos de cada una.

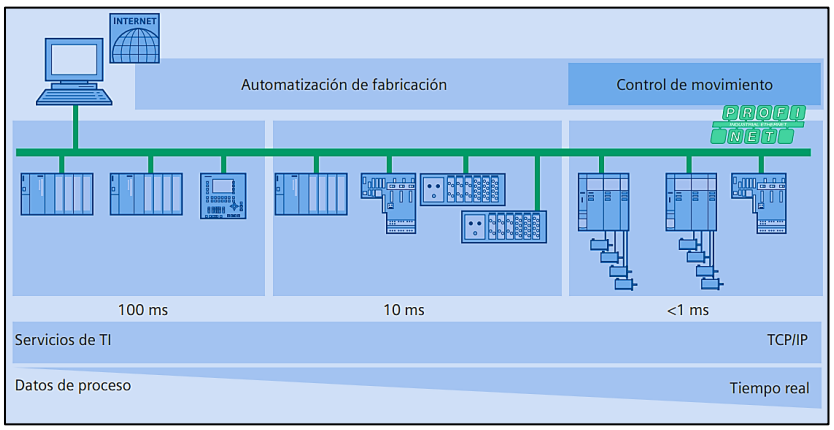


Figura 2.58. Funcionalidades de la comunicación con PROFINET [25]

PROFINET I/O

Es un estándar definido por PROFIBUS para conectar los dispositivos de campo descentralizados a Ethernet Industrial. Estos dispositivos transmiten la información cíclicamente a un controlador y se muestran como una periferia descentralizada. Una

periferia descentralizada es una extensión de entradas y salidas de un controlador por medio del uso de una red industrial.

Están definidos los siguientes tipos de dispositivos:

- IO-Controller: Controlador en el cual el programa de automatización es ejecutado.
- IO-Device: Dispositivo de campo descentralizado al que se le asigna un IO-Controller.
- IO-Supervisor: Dispositivo programador / Una PC con funciones de puesta en marcha y diagnóstico o un HMI.

El IO-Device lee los estados de sus entradas y los transmite al IO-Controller, que procesa estas señales y envía señales de salida de vuelta al IO-Device. En la Figura 2.59. se observa una topología de red PROFINET I/O básica.

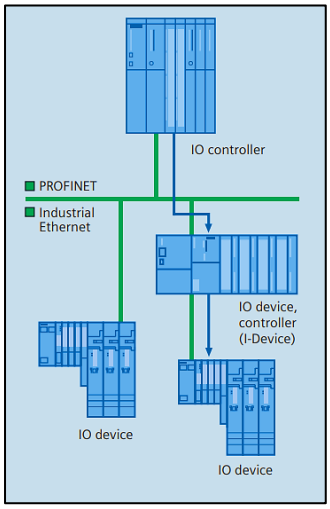


Figura 2.59. Topología básica de una red PROFINET I/O [25]

En caso de una falla, el IO-Device genera una alarma de diagnóstico en el controlador, el cual ejecuta la rutina correspondiente elaborada en el programa de usuario. Este diagnóstico puede ser leído directamente en el IO-Device y visualizado en el IO-Supervisor. [16]

Arquitectura de red

Con el objetivo de lograr una integración total del sistema, se ha diseñado una red de comunicación que permita el intercambio de datos en todos los niveles de la pirámide de automatización CIM. Desde el nivel de entradas y salidas, pasando por los niveles de campo y control, hasta llegar al nivel de gestión empresarial.

En la Figura 2.60. se presenta la arquitectura de comunicación del sistema.

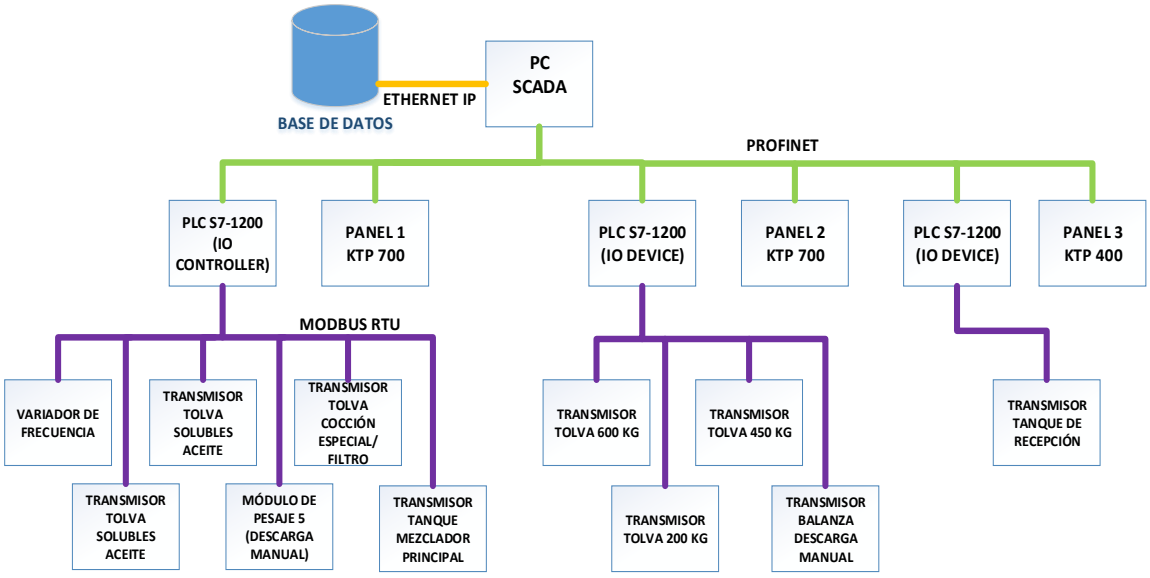


Figura 2.60. Arquitectura de red del sistema automatizado

2.3 Implementación y calibración de equipos

Celdas de carga

Una vez instaladas las celdas de carga, tanto en el tanque de recepción como en los tanques de dosificación, es necesario conectarlas a los transmisores de peso. Después, se calibra a cada transmisor de peso.

Cada transmisor CLM8 cuenta con 8 canales independientes, es decir, se podrán conectar hasta 8 celdas de carga en cada uno.

Una vez que se han conectado las celdas a los transmisores es necesario calibrarlos.

Dicha calibración puede ser realizada de dos maneras:

- Calibración teórica
- Calibración real (con pesos muestra)

Calibración teórica

Para realizar la calibración teórica se deben conocer e introducir los valores nominales de las celdas de carga:

- Fondo de escala del sistema
- Sensibilidad
- Resolución

El fondo de escala del sistema es el resultado de la multiplicación de la capacidad de una celda de carga por el número de celdas utilizadas. Por ejemplo, en el tanque de solubles en aceite se utilizaron 4 celdas de carga, cada una de 300 kg, por lo tanto:

$$F.Escala = 4\ x\ 300 = 1200\ kg$$

La sensibilidad, expresada en mV/V, representa la salida eléctrica del puente de Wheatstone de la celda en mV, que depende tanto del voltaje de alimentación como del peso aplicado. Por ejemplo, una celda de carga cuya capacidad es de 200 kg y sensibilidad de 1 mV/V es alimentada con 10 V. Cuando sobre la celda no existe ningún peso, la salida del puente será 0 mV, pero si se colocan 100 kg, la salida será 5 mV.

El valor de sensibilidad que se debe introducir en el transmisor es el promedio aritmético de las sensibilidades individuales de cada celda de carga.

La resolución es el valor mínimo de incremento de peso que puede visualizarse, éste es calculado automáticamente y corresponde a 1/10000 del fondo de escala. Este valor es modificable.

Después de haber introducido los valores nominales de las celdas de carga, se pone a cero el peso del sistema. Esto significa que con el peso del tanque vacío el transmisor mostrará 0 kg.

Calibración real (con pesos muestra)

Este proceso se lleva a cabo después de haber realizado la calibración teórica y la puesta en cero del sistema. Y si fuera necesario corrige las desviaciones del peso indicado respecto al peso muestra. Esta calibración es necesaria únicamente si existen estas desviaciones.

El peso muestra debe ser igual o mayor al 50% de la cantidad máxima que debe pesar el tanque.

El transmisor de peso permite la calibración real usando hasta 5 pesos de muestra distintos.

Calibración de peso de los tanques

Después de realizar la calibración teórica de todos los transmisores siguiendo el procedimiento previamente descrito, se procedió con la calibración real usando como pesos muestra, bidones de agua pesados en una balanza certificada, que se muestra en la Figura 2.61.

Figura 2.61. Balanza certificada para calibración real de los tanques

Dosificación de agua y aceite

En el proceso de elaboración de salsas, la exactitud en las cantidades de los ingredientes de las recetas es fundamental para la calidad del producto. Por lo que se debe poner especial atención en el proceso de dosificación de cada uno de los ingredientes.

Se establecieron dos etapas para la dosificación de agua y aceite:

- Dosificación gruesa
- Dosificación fina

Dosificación de agua

La dosificación gruesa para el agua consiste en la apertura de la válvula hasta tener un acercamiento de 25 kg antes de la consigna de peso. Una vez alcanzado este valor, la válvula se cierra, el sistema espera un tiempo determinado y empieza la dosificación fina.

La dosificación fina se basa en dosificación por “goteo”, en donde la válvula se abre y cierra por periodos determinados con el fin de tener un acercamiento controlado al valor de consigna de peso. Esta dosificación se muestra en el diagrama de tiempo representado en la Figura 2.62, en donde la curva azul representa el peso del agua, y la curva naranja representa el estado de la válvula.

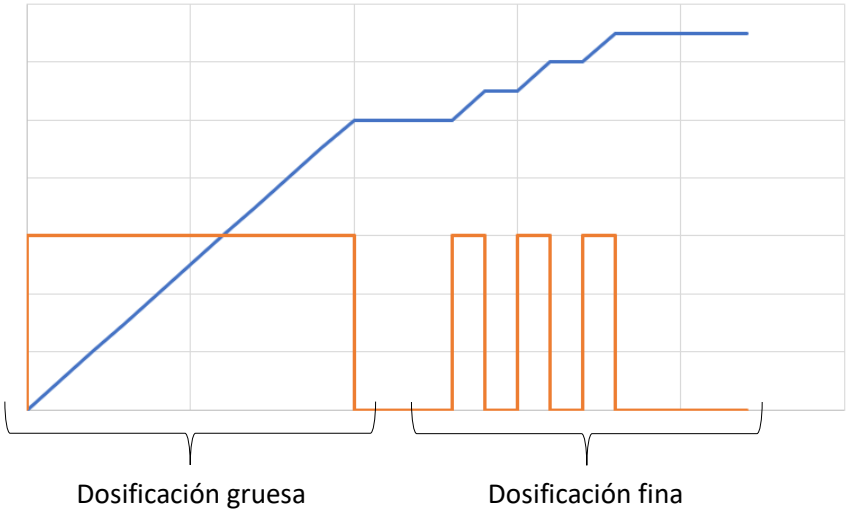


Figura 2.62. Gráfico de dosificación de agua: Peso de agua vs estado de la válvula

Dosificación de aceite

La dosificación gruesa para el aceite consiste en la apertura de la válvula y el encendido de la bomba en velocidad “rápida” hasta 15 kg antes de la consigna de peso. Una vez alcanzado este valor, la velocidad de la bomba cambia a “lenta” hasta la consigna de peso menos un valor determinado.

Este valor se conoce como “peso en vuelo”, que es la cantidad de material que cae en el tanque después de haber cerrado la válvula. Tal como se observa en la Figura 2.63.

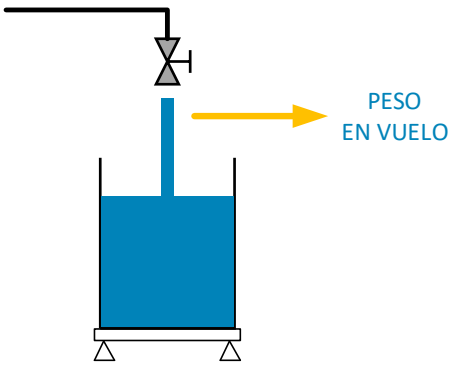


Figura 2.63. Cantidad de material en vuelo después del cierre de la válvula

En la Figura 2.64. se muestra el diagrama de tiempo de la dosificación de aceite, en donde la curva azul representa el peso del aceite en el tanque, y la curva naranja representa la velocidad de la bomba.

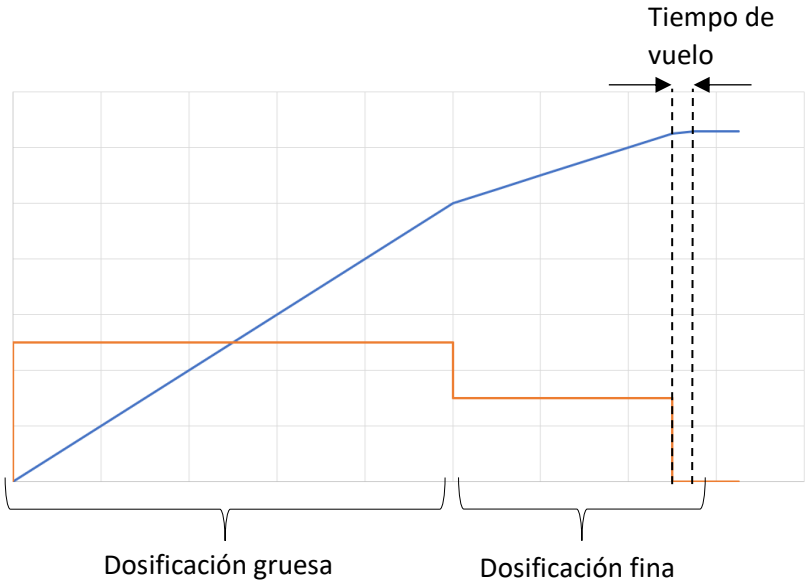


Figura 2.64. Gráfico de dosificación de aceite: Peso de aceite vs velocidad de la bomba

Cálculo de peso de tanques de almacenamiento

Se han instalado celdas de carga en los tanques de dosificación, así como en el tanque de recepción. Por lo que es posible conocer el consumo de aceite y la cantidad disponible en todo momento, sin embargo, los tanques de almacenamiento del área de salsas frías únicamente cuentan con sensores de presión hidrostáticos para medir nivel.

Con el fin de tener una aproximación en peso a partir de la variable de nivel, se transferirán cantidades de aceite conocidas, y de esta manera se generará una curva que representará el peso en función del nivel. Los tanques serán llenados hasta que se active el sensor de nivel alto.

El transmisor de nivel envía una señal de 4-20 mA al PLC. Éste convierte esta señal en un número entero entre 5051 y 27648. En la Tabla 2.14. se muestra el peso transferido desde el tanque nuevo de recepción hacia cada uno de los tanques de almacenamiento y el valor del sensor en el PLC.

Tabla 2.14. Tabla de peso transferido desde tanque de recepción de aceite hacia tanques de almacenamiento

Peso transferido (kg)	Sensor Tanque de almacenamiento 1	Sensor tanque de almacenamiento 2
0	5051	5051
250	5733	5856
500	6279	6382
750	6757	6828
1000	7188	7230
1250	7603	7610
1500	7993	7956
1750	8390	8318
2000	8770	8663
2250	9146	8990
2500	9524	9317
2750	9922	9658
3000	10307	10000
3250	10715	10341
3500	11128	10682
3750	11601	11055
4000	12115	11433
4250	12764	11842
4500	-	12285
4660	-	12618
4750	-	12830
4860	-	13140

Con la ayuda de la función "*polyfit*" de MATLAB, se ha realizado una aproximación de la curva a un polinomio de 5to orden. En la Figura 2.65. se muestran los gráficos reales de cada tanque en azul vs los gráficos obtenidos en MATLAB en rojo.

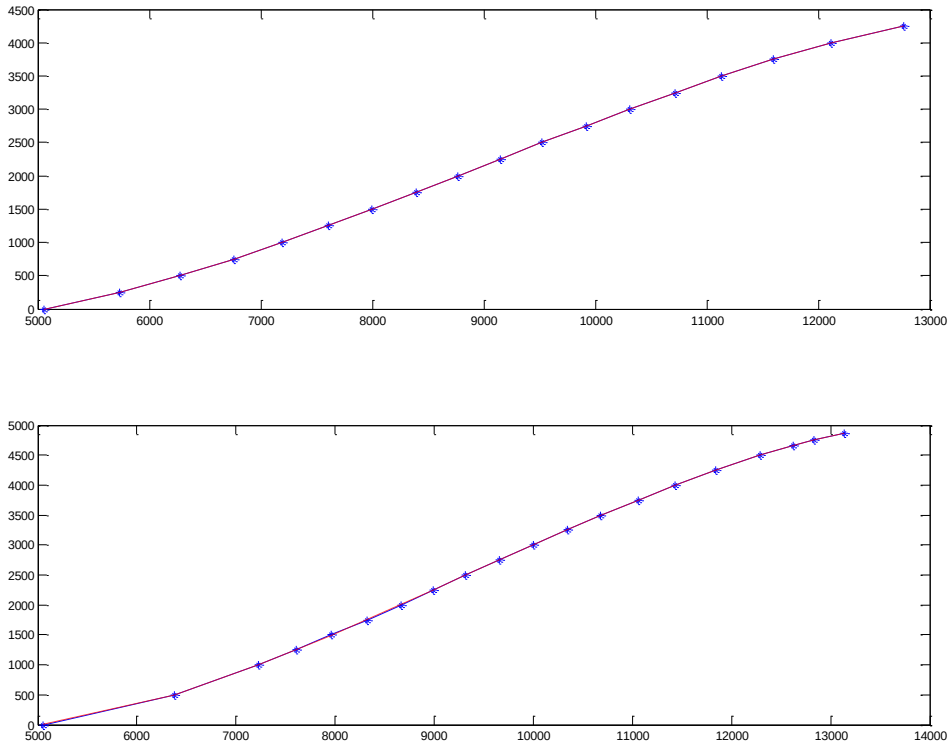


Figura 2.65. Curvas de peso en función de nivel de tanques de almacenamiento

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo comprende un estudio cuantitativo del proyecto de acuerdo a lo descrito en la metodología y la discusión de los resultados. Además de las pruebas correspondientes de secuencias de funcionamiento del sistema y el contraste de los valores reales con respecto a los resultados esperados. El análisis de las pruebas y resultados se ha divido en dos etapas, siguiendo la estructura del presente documento.

Por último, se incluye la generación de reportes, el análisis y discusión de éstos.

3.1 Recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Una vez cumplidas las fases de diseño e implementación, se resumen las actividades realizadas de fabricación y/o sustitución de equipos:

- Fabricación y montaje del tanque de recepción
- Montaje de celdas de carga en el tanque de recepción
- Sustitución de válvulas manuales por válvulas con actuadores neumáticos
- Fabricación y montaje de tableros de control y neumático
- Sustitución de bomba centrífuga

En la Figura 3.1 se muestra el nuevo tanque de recepción, los tableros de control y la bomba centrífuga.

Figura 3.1. Montaje de elementos y equipos del proceso de recepción de aceite

Pruebas de funcionamiento del sistema

Haciendo uso del modo de funcionamiento manual del sistema se procedió a probar elemento por elemento en el siguiente orden:

- Apertura y cierre de cada válvula
- Encendido y apagado de bomba centrífuga
- Prueba de sensores de nivel en contacto con el aceite

En la Figura 3.2 se muestra el procedimiento para operar cada elemento individualmente.

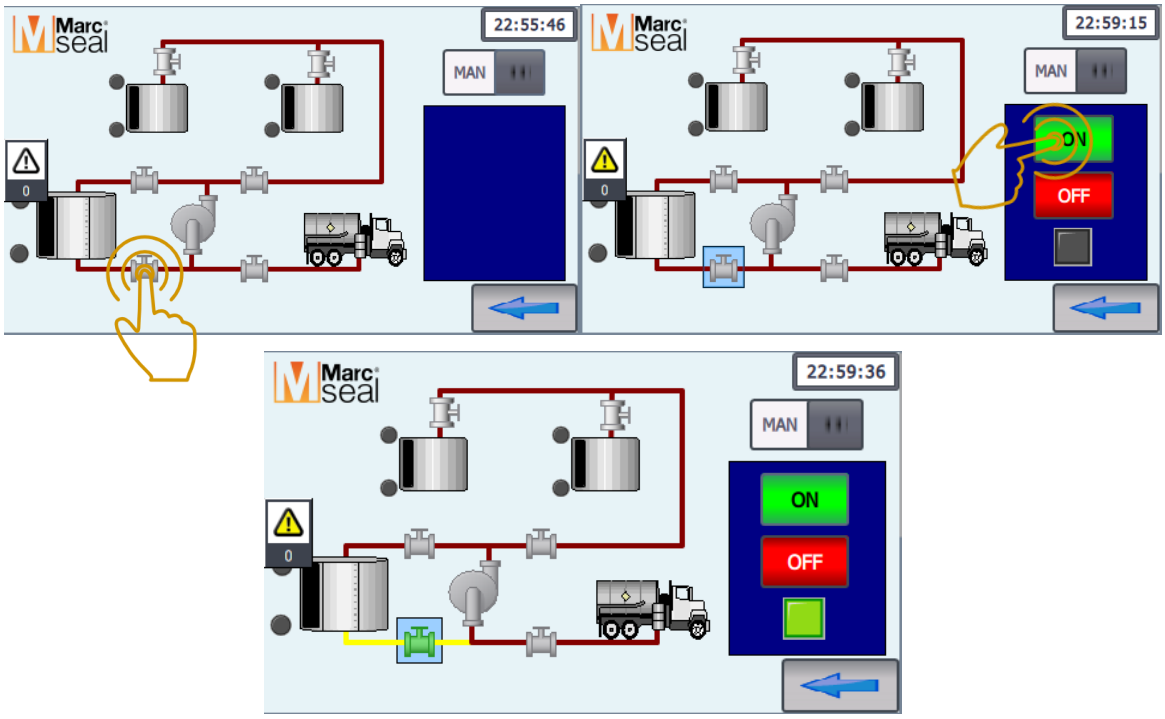


Figura 3.2. Imagen de modo manual del panel de operador de la recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Siguiendo el procedimiento mencionado se comprobó el funcionamiento de todos los equipos.

Prueba de comunicación con transmisor de peso

Una actividad fundamental previa a las pruebas de secuencia de funcionamiento es asegurar la comunicación entre el PLC y el transmisor de peso, ya que, tanto la recepción como las transferencias dependen totalmente del valor de peso que entregue el transmisor.

Los parámetros configurados en el PLC y el transmisor fueron los siguientes:

- Velocidad de transmisión: 115200 bits/s
- Transmisión de datos: registro de estado del transmisor, peso neto, peso bruto.

Se ha seleccionado la velocidad de transmisión más alta que dispone el transmisor ya que la respuesta del sistema de control debe ser rápida.

Una vez establecido el enlace de datos, se colocaron las resistencias terminadoras en cada extremo de la red MODBUS ya que, sin ellas la comunicación se interrumpió varias veces.

En el lado del PLC, el conector usado cuenta con resistencia terminadora incorporada. En el lado del transmisor se colocó una resistencia de 120 Ω entre los terminales del puerto

RS485 como indica el manual del fabricante. En la Figura 3.3. se muestra el conector del lado del PLC.

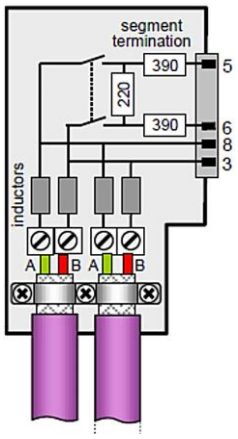


Figura 3.3. Conector para red RS485 [22]

Pruebas de secuencia de funcionamiento

Después de haber realizado la prueba de comunicación con el transmisor de peso, se procedió a probar las secuencias de funcionamiento del sistema de recepción, transferencia y almacenaje de aceite.

Como se mencionó en el capítulo 2, los modos de funcionamiento del sistema son los siguientes:

- Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción nuevo.
- Transferencia desde tanque de recepción nuevo hacia tanques de almacenamiento.
- Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción antiguo.
- Transferencia desde tanque nuevo hacia tanque de recepción antiguo.
- Transferencia desde tanque antiguo hacia tanque de recepción nuevo.
- Transferencia desde tanque de recepción antiguo hacia tanques de almacenamiento.

Se probó cada modo de trabajo para comprobar el funcionamiento del sistema. A continuación, se detallan los modos de descarga desde tanquero al tanque de recepción nuevo y transferencia desde el tanque de recepción nuevo hacia el tanque de almacenamiento 1.

Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción nuevo

En el menú inicial del sistema, se selecciona este modo de trabajo y en el panel de operador se muestra la imagen de la Figura 3.4.

Se coloca al selector en ON, y al presionar el pulsador “Llenar”, se abren las válvulas 2 y 3. Después de 2 segundos, se enciende la bomba. Todo este proceso es cronometrado a partir de que se presiona el botón “Llenar”.

Se comprobó que este modo de trabajo siguió la secuencia establecida.

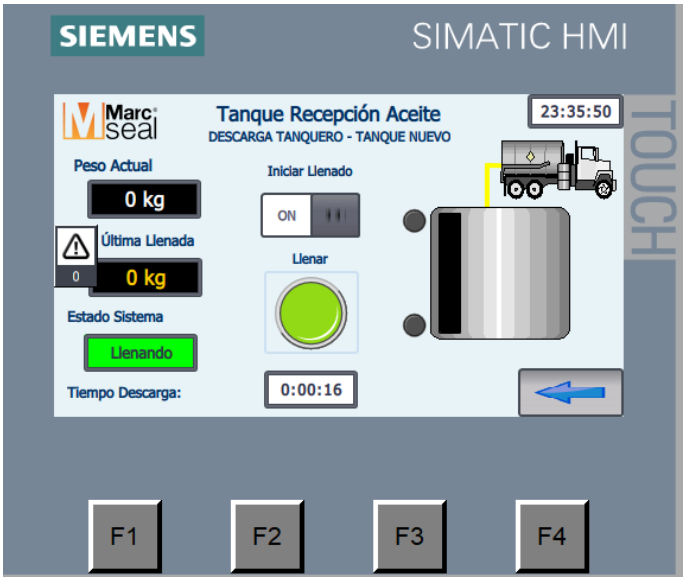


Figura 3.4. Descarga desde tanquero hacia tanque de recepción nuevo

Transferencia desde tanque de recepción nuevo hacia tanque de almacenamiento 1

Al seleccionar este modo de funcionamiento, se muestra en el panel de operador la imagen de la Figura 3.5.

Se coloca al selector en ON, y al presionar el pulsador “Llenar”, se muestra una ventana para confirmar la cantidad a transferir. Se abren las válvulas 1, 4 y 5. Después de 2 segundos, se enciende la bomba. Todo este proceso es cronometrado a partir de que se presiona el botón “Llenar”.

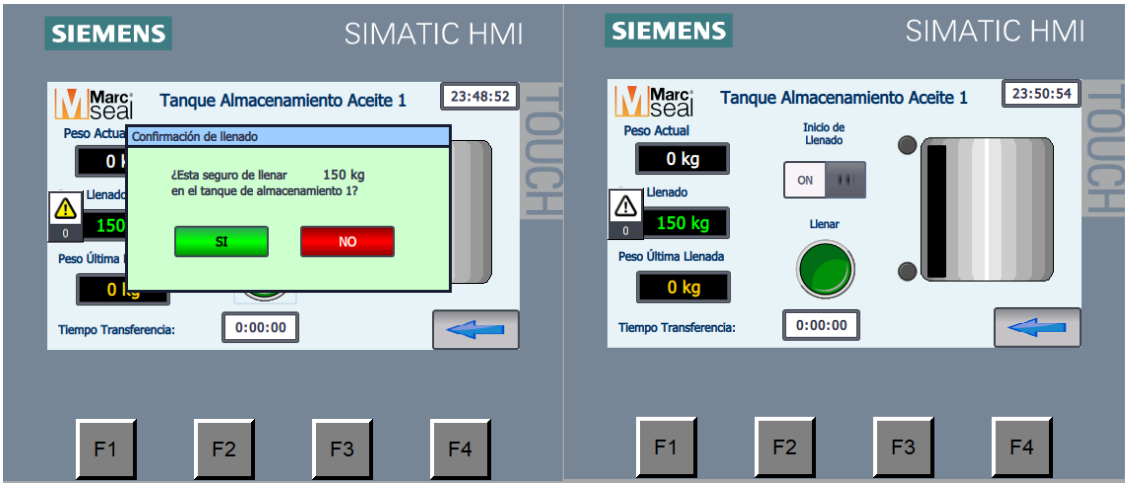


Figura 3.5. Transferencia de aceite desde tanque de recepción nuevo hacia tanque de almacenamiento 1

Se comprobó que este modo de trabajo siguió la secuencia establecida.

Se probó cada modo individualmente con el fin de asegurar el funcionamiento del sistema, sin embargo, en el presente documento sólo se detallan las pruebas de los modos más importantes.

Contraste de medición de peso

Para validar el peso obtenido del transmisor, se realizó el siguiente procedimiento:

- Pesar tanquero lleno de aceite en una empresa de servicio de pesaje certificado.
- Descargar el aceite del tanquero hacia el tanque de recepción.
- Pesar el tanquero vacío en la empresa mencionada.
- Registrar los valores de peso: de la empresa de pesaje, de la guía del proveedor y del transmisor.

De acuerdo con este procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

- Peso de la guía del proveedor: 30260 kg
- Peso de la empresa de servicio de pesaje: 30260 kg
- Peso del transmisor de peso: 29950 kg

El error relativo que presentó el transmisor en la primera descarga fue de 1.02%.

Ya que el valor de peso del proveedor fue igual al valor de peso de la empresa de pesaje, se tomó a éste como peso muestra para una recalibración del transmisor.

Según lo descrito en el capítulo 2, el transmisor se puede calibrar teóricamente o con pesos muestra. De esta manera se realizó una nueva calibración.

Después de 2 semanas, se descargó el aceite de otro tanquero siguiendo el procedimiento descrito y se obtuvieron los siguientes datos:

- Peso de la guía del proveedor: 25550 kg
- Peso de la empresa de servicio de pesaje: 24490 kg
- Peso del transmisor de peso: 25530 kg

Considerando al peso de la guía como valor real, el sistema automatizado presenta un error relativo de 0.08%. Este valor de error se encuentra dentro de la tolerancia aceptada por la empresa, cuyo requerimiento al iniciar el proyecto fue obtener un error igual o menor a 0.1%.

Medición de tiempo de descarga y transferencia de aceite

Este parámetro es de suma importancia ya que uno de los objetivos del proyecto es mejorar el tiempo en los procesos.

Descarga de aceite

Para la descarga de 30 toneladas de aceite desde el tanquero hacia el tanque de recepción nuevo se obtuvieron los siguientes datos:

- Tiempo de descarga con bomba antigua: 2 horas y 30 minutos
- Tiempo de descarga con bomba nueva: 1 hora y 45 minutos

El porcentaje de mejora del tiempo fue de 30%.

Transferencia de aceite

Para transferir 4500 kg, desde el tanque de recepción nuevo hacia el tanque de almacenamiento 2 se obtuvieron los siguientes datos:

- Tiempo de transferencia con bomba antigua: 30 minutos
- Tiempo de transferencia con bomba nueva: 20 minutos

El porcentaje de mejora del tiempo fue de 33%.

Además, se comprobó el caudal de diseño de la bomba, que es de 66 galones por minuto.

Verificación de peso real de tanques de almacenamiento con peso calculado

Se transfirieron 3500 kg en pasos de 500 kg desde el tanque de recepción hacia el tanque de almacenamiento 2. Y se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cuadro comparativo de peso real versus peso calculado de tanque de almacenamiento

Peso transferido	Peso calculado de tanque de almacenamiento	Error relativo
500 kg	499.3286 kg	0.13%
1000 kg	1000.16 kg	0.02%
1500 kg	1493.362 kg	0.44%
2000 kg	2006.36 kg	0.32%
2500 kg	2493.87 kg	0.25%
3000 kg	3002.272 kg	0.08%
3500 kg	3495.126 kg	0.14%

El error relativo en la medida se encuentra dentro del rango del error del transmisor de presión. Por lo que el peso calculado representa una buena aproximación al peso real.

3.2 Elaboración de salsas frías

Una vez cumplidas las fases de diseño e implementación, se resumen las actividades realizadas de fabricación y/o sustitución de equipos:

- Montaje de celdas de carga en los tanques de preparación de salsas frías
- Sustitución de válvulas manuales por válvulas con actuadores neumáticos
- Fabricación y montaje de tableros de control y neumáticos
- Instalación de variador de frecuencia
- Fabricación e instalación de consolas de mando para paneles de operador

En la Figura 3.6 se muestra un tanque de dosificación con las celdas de carga, el tablero de control, una consola de mando con su panel de operador y un tablero neumático.

Figura 3.6. Montaje de elementos y equipos del proceso elaboración de salsas frías

Pruebas de funcionamiento del sistema

Haciendo uso del modo de funcionamiento manual del sistema se procedió a probar elemento por elemento en el siguiente orden:

- Apertura y cierre de cada válvula
- Encendido y apagado de bomba de dosificación de aceite
- Prueba de sensores de nivel en contacto con el aceite

En la Figura 3.7 se muestra el procedimiento para operar cada elemento individualmente.

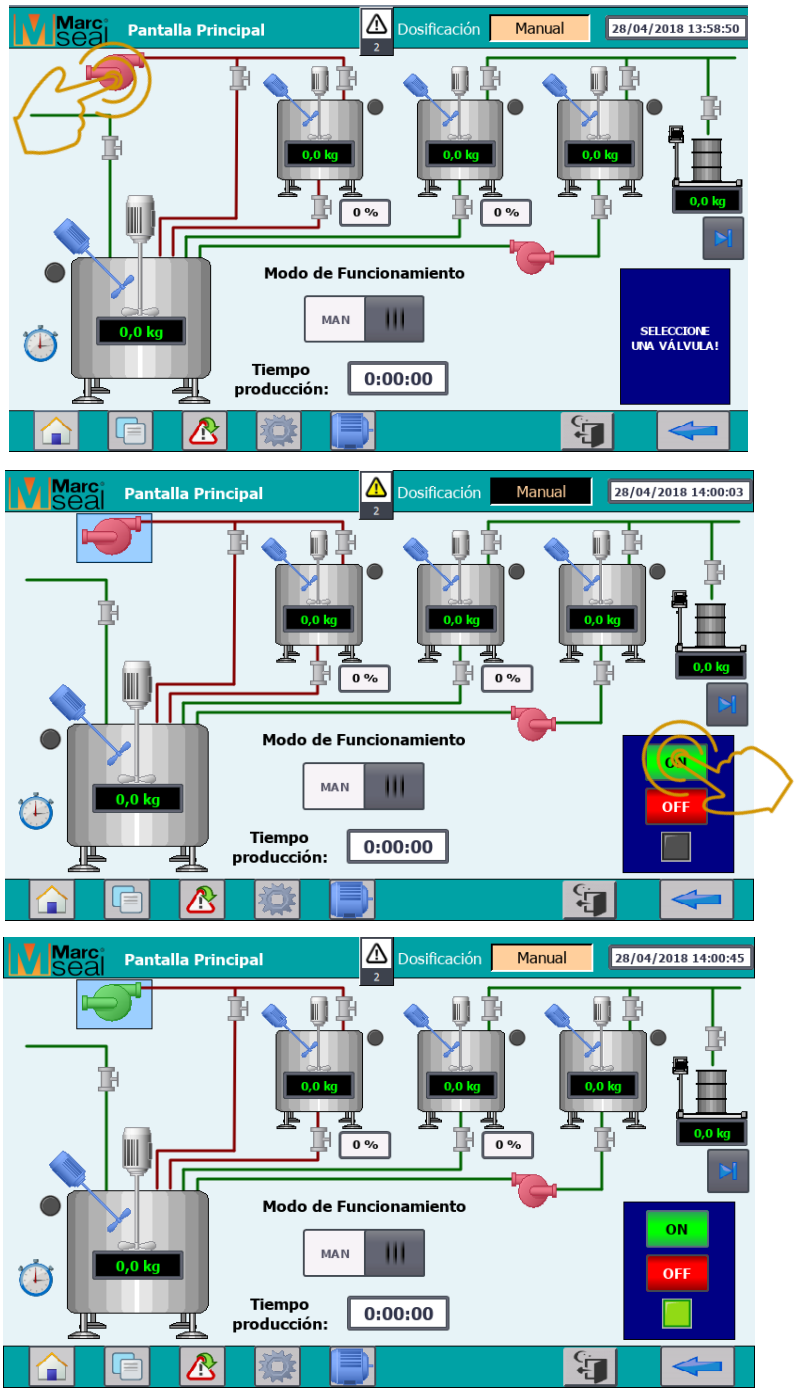


Figura 3.2. Imagen de modo manual del panel de operador de la elaboración de salsas frías

Siguiendo el procedimiento mencionado se comprobó el funcionamiento de todos los equipos.

Prueba de red de comunicación con transmisores de peso

Los parámetros configurados en los PLCs y los transmisores fueron los siguientes:

- Velocidad de transmisión: 115200 bits/s
- Transmisión de datos: registro de estado del transmisor, peso neto, peso bruto, registro de comando del transmisor

Se ha seleccionado la velocidad de transmisión más alta que dispone el transmisor ya que la respuesta del sistema de control debe ser rápida para lograr una dosificación adecuada.

A diferencia del transmisor de recepción, se transferirá también el "registro de comando" del transmisor, que permite enviar instrucciones básicas desde el PLC como puesta en cero del sistema y tara automática.

Una vez establecido el enlace de datos, se colocaron las resistencias terminadoras en cada extremo de la red MODBUS.

Adicionalmente se definió un lapso de espera al enviar los comandos de puesta en cero y tara automática al transmisor, ya que, sin este tiempo éste presentó problemas de procesamiento de datos y se desconectó de la red.

Dentro del programa de usuario del PLC se colocaron 2 segundos de espera para que el transmisor realice la petición del comando enviado. Cabe destacar que este tiempo de espera no interfiere con la transmisión de los datos de peso.

Pruebas de secuencia de funcionamiento

Después de haber realizado las pruebas de comunicación con los transmisores de peso, se procedió a probar las secuencias de funcionamiento del proceso de elaboración de salsas frías.

A continuación, se describe el proceso de elaboración del producto "Mayonesa Marcello's baja en calorías". Este proceso fue efectuado en su totalidad por el operador de la sección.

Primero, se debe importar una orden de producción válida, una vez importada la orden el sistema verifica exista el inventario suficiente en la bodega de salsas frías, después se ingresa el tiempo de limpieza de las tolvas y el número de personas que intervinieron. Este proceso se muestra en la Figura 3.3.

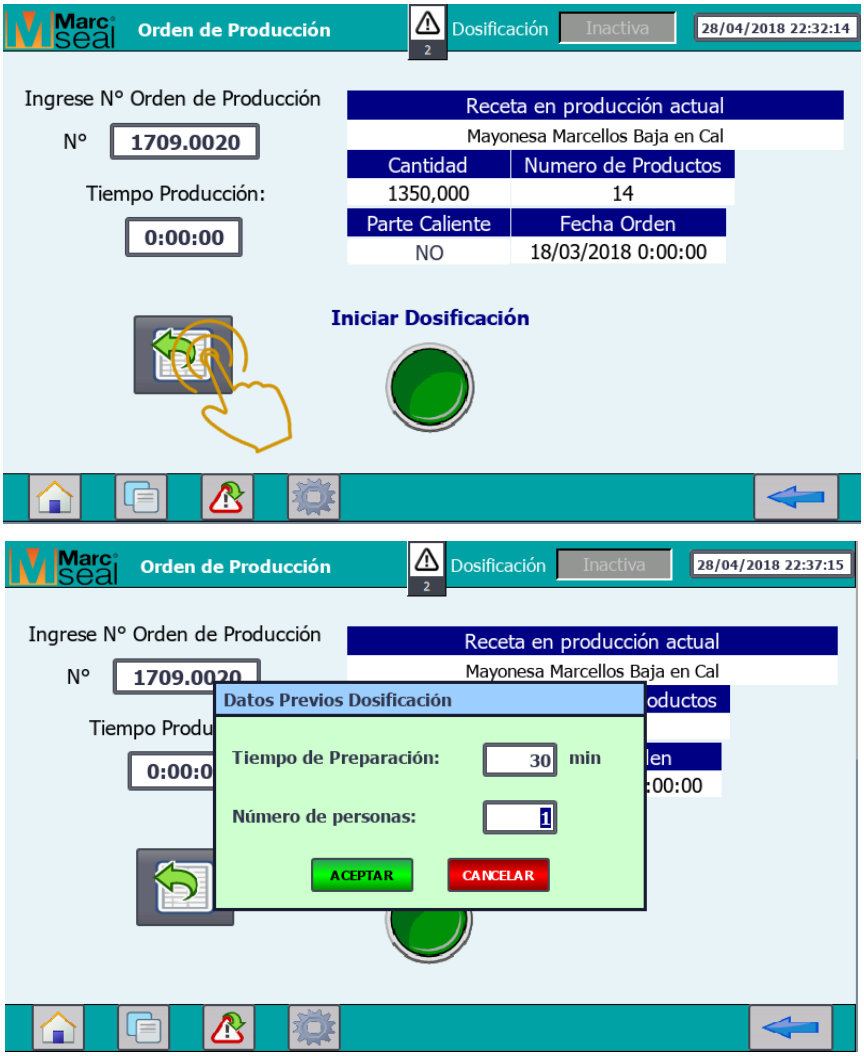


Figura 3.3. Imágenes de orden de producción

Al ingresar estos datos y después de pulsar el botón “Iniciar Dosificación” el estado de la dosificación pasa de “Inactiva” a “Iniciada”.

A partir de aquí el operador puede empezar la dosificación de aceite en la tolva de solubles en aceite, dosificación de agua en la tolva de solubles en agua o dosificación de agua en la tolva de cocción especial. Esto puede realizarse individualmente tolva por tolva o de forma simultánea.

A continuación, se muestra la dosificación de la tolva de solubles en aceite.

El proceso inicia al pulsar el botón “Iniciar Dosificación” de la pantalla de este tanque. El temporizador de producción inicia y se enciende la bomba de dosificación, junto con la válvula de llenado de aceite y la válvula de salida del tanque de almacenamiento seleccionado. Una vez que se ha llenado la cantidad requerida, se registra este consumo en la base de datos. El operador confirma el resto de los ingredientes de la tolva

seleccionándolos y pulsando el botón de “Confirmar Ingrediente”. Por último, los agitadores correspondientes se encienden automáticamente. Este proceso se muestra en la Figura 3.4.

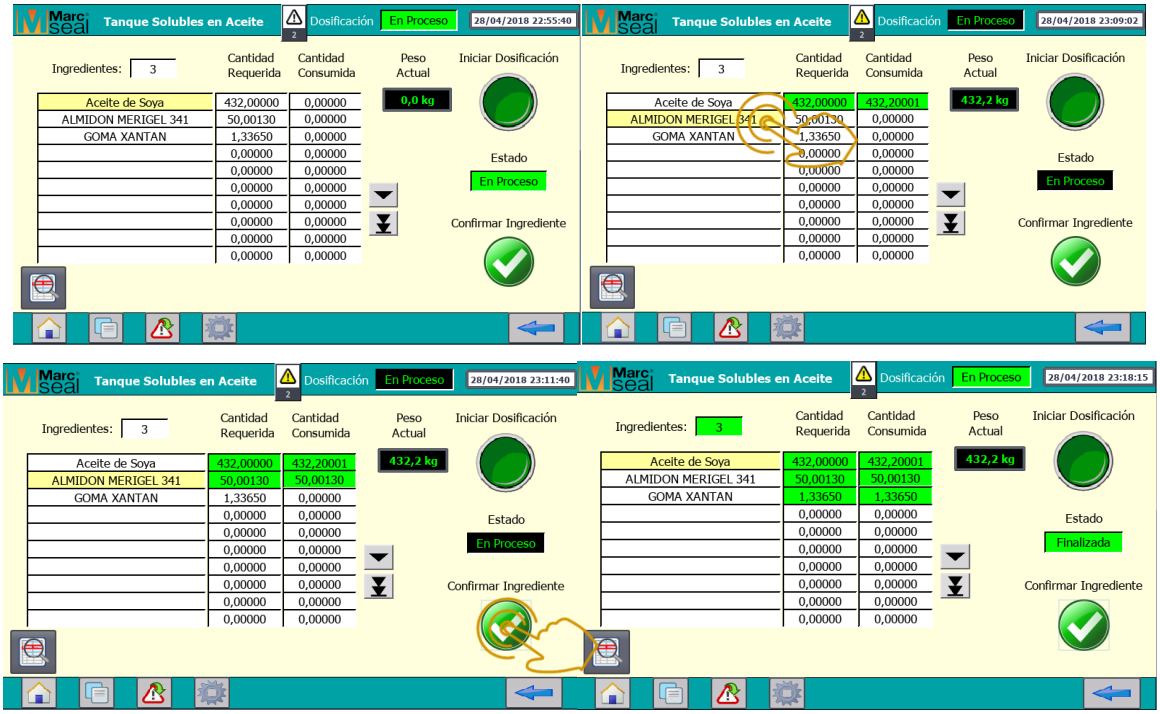


Figura 3.4. Imágenes del proceso de dosificación de los ingredientes solubles en aceite

Este proceso se repite para las dos tolvas restantes de forma similar. Y una vez concluidas las tres dosificaciones, inicia la descarga de estas tolvas hacia el mezclador principal.

Esta descarga es controlada variando el porcentaje de apertura de las válvulas proporcionales.

En el tanque “Mezclador principal” además se añaden los ingredientes restantes, que por su solubilidad han sido clasificados como “otros”, como huevos pasteurizados, ajo en polvo o ácido acético glacial, entre otros.

La elaboración de la mayonesa termina cuando todos los ingredientes han sido añadidos y el peso de producto se encuentra dentro de un rango de tolerancia del 1%, como se muestra en la Figura 3.5.

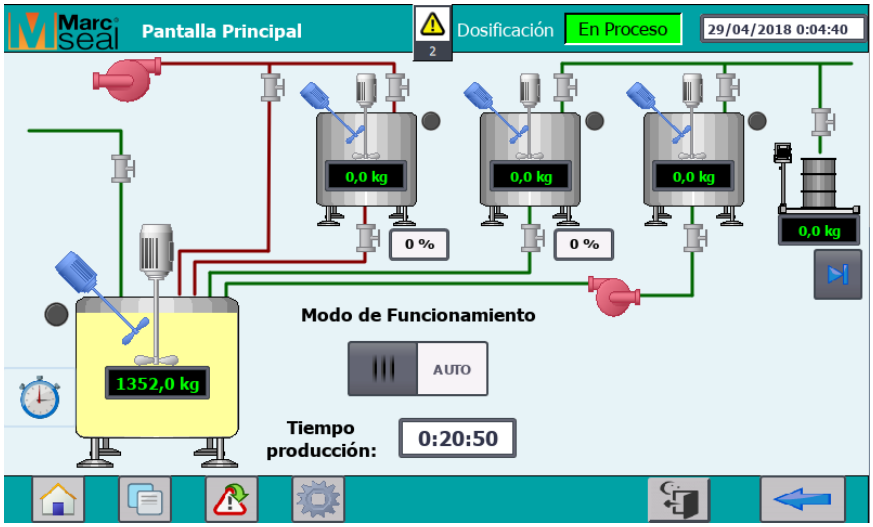


Figura 3.5. Preparación de 1350 kg mayonesa Marcello's baja en calorías

Cabe mencionar que se realizaron un gran número de pruebas con el fin de validar las secuencias de funcionamiento, la calidad de las recetas elaboradas y determinar tiempos de producción.

Repetibilidad de la dosificación de agua y aceite

Para determinar la repetibilidad del sistema se elaboraron distintas recetas en la fase de pruebas. De esta manera se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados de dosificación para los tanques de elaboración de salsas frías

Área	Tanque	Materia prima	Peso de llenado	Peso real	Error absoluto
Preparación de mayonesa	Tanque de solubles en aceite	Aceite	432 kg	432.4 kg	0.4 kg
				432.2 kg	0.2 kg
				432.2 kg	0.2 kg
				431.8 kg	-0.2 kg
				432.0 kg	0 kg
	Tanque de solubles en agua	Agua	200 kg	200 kg	0 kg
				200 kg	0 kg
				200.5 kg	0.5 kg
				200.5 kg	0.5 kg
				200 kg	0 kg
	Tanque de cocción especial / filtro	Agua	200 kg	200 kg	0 kg
				201 kg	1 kg
				200 kg	0 kg
				200.5 kg	0.5 kg
				200.5 kg	0.5 kg
	Tanque mezclador principal	Aceite	600 kg	600 kg	0 kg
				601 kg	1 kg
				599 kg	-1 kg

				598 kg	-2 kg
				601 kg	1 kg
Preparación de salsas especiales	Tanque de 600 kg	Agua	400 kg	400 kg	0 kg
				400 kg	0 kg
				400.4 kg	0.4 kg
				400.2 kg	0.2 kg
				400.4 kg	0.4 kg
	Tanque de 450 kg	Agua	200 kg	200.4	0.4 kg
				200 kg	0 kg
				200.4 kg	0.4 kg
				200.2 kg	0.2 kg
				199.6 kg	-0.4 kg
	Tanque de 200 kg	Agua	150 kg	149.8 kg	-0.2 kg
				150 kg	0 kg
				150 kg	0 kg
				149.8 kg	-0.2 kg
				149.6 kg	-0.4 kg
	Balanza de descarga manual	Agua	10 kg	10.1 kg	0.1 kg
				10.05 kg	0.05 kg
				9.95 kg	0.05 kg
				10 kg	0 kg
				10 kg	0 kg

De esta manera, se calculó la exactitud de la dosificación con respecto al valor máximo de medida de cada tanque, usando la ecuación 3.1.

$$Exactitud\ Dosificación\% = \frac{Promedio\ Error\ Absoluto}{Peso\ máximo\ tanque} x100\%$$

Ecuación 3.3. Exactitud de un sistema de dosificación

Los resultados de dosificación para cada tanque se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Exactitud de dosificación con respecto al peso máximo de cada tanque

Área	Tanque	Promedio error absoluto	Peso máximo tanque	Exactitud
Preparación de mayonesa	Tanque de solubles en aceite	0.12 kg	600 kg	0.02%
	Tanque de solubles en agua	0.2 kg	600 kg	0.033%
	Tanque de cocción especial	0.3 kg	600 kg	0.05%
	Tanque mezclador principal	0.2 kg	1350 kg	0.01%
	Tanque 600 kg	0.2 kg	600 kg	0.033%

Preparación de salsas especiales	Tanque 450 kg	0.12 kg	450 kg	0.026%
	Tanque 200 kg	-0.16 kg	200 kg	0.08%
	Balanza de descarga manual	0.04 kg	50 kg	0.08%

Los errores absolutos se encuentran dentro del rango de error del transmisor de peso. De acuerdo con el análisis de control de calidad, que se realiza después de elaborar un producto, las variaciones que se presentan no son significativas para la calidad de este.

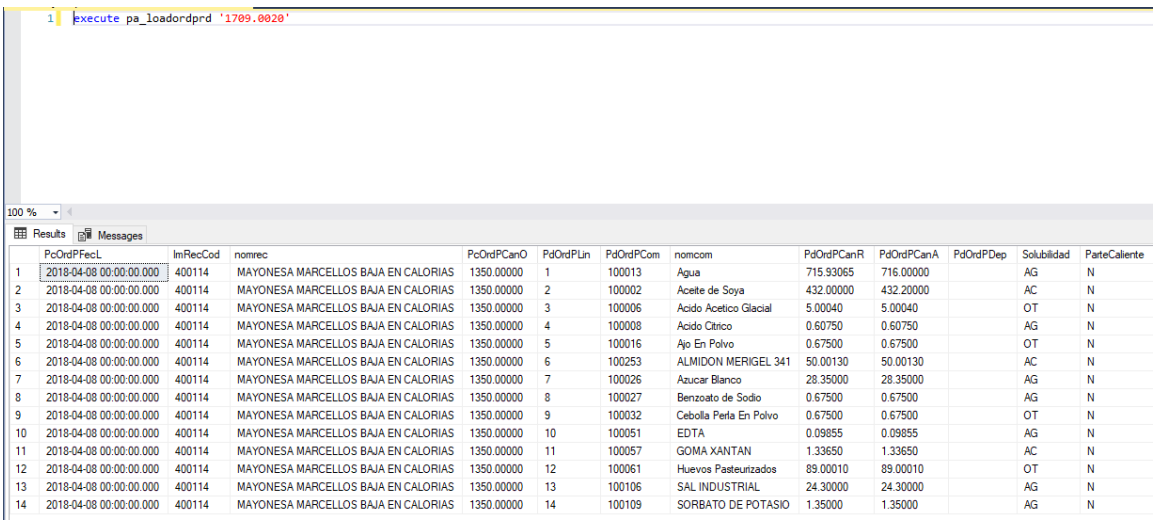
Todos los datos fueron obtenidos del sistema trabajando de forma automática. El producto elaborado pasó por control de calidad de parámetros como PH, consistencia, estabilidad y color en donde los resultados fueron óptimos.

Enlace con la base de datos del sistema ERP

Después de completar el proceso de dosificación se comprobó que los consumos de ingredientes se registraban en el sistema ERP.

Para ello se usó el programa SQL Server Management Studio.

Primero, se verificó que usando el procedimiento llamado “pa_loadordprd” se permite importar una orden de producción del sistema.



```
execute pa_loadordprd '1709.0020'
```

100 %

Results | Messages

	PcOrdPFecL	lmRecCod	nomrec	PcOrdPCanO	PdOrdPLin	PdOrdPCom	nomcom	PdOrdPCanR	PdOrdPCanA	PdOrdPDep	Solubilidad	ParteCaliente
1	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	1	100013	Agua	715.93065	716.00000		AG	N
2	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	2	100002	Aceite de Soya	432.00000	432.20000		AC	N
3	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	3	100006	Acido Acetico Glacial	5.00040	5.00040		OT	N
4	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	4	100008	Acido Citrico	0.60750	0.60750		AG	N
5	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	5	100016	Ajo En Polvo	0.67500	0.67500		OT	N
6	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	6	100253	ALMIDON MERIGEL 341	50.00130	50.00130		AC	N
7	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	7	100026	Azucar Blanco	28.35000	28.35000		AG	N
8	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	8	100027	Benzoato de Sodio	0.67500	0.67500		AG	N
9	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	9	100032	Cebolla Perla En Polvo	0.67500	0.67500		OT	N
10	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	10	100051	EDTA	0.09855	0.09855		AG	N
11	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	11	100057	GOMA XANTAN	1.33650	1.33650		AC	N
12	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	12	100061	Huevos Pasteurizados	89.00010	89.00010		OT	N
13	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	13	100106	SAL INDUSTRIAL	24.30000	24.30000		AG	N
14	2018-04-08 00:00:00.000	400114	MAYONESA MARCELLOS BAJA EN CALORIAS	1350.00000	14	100109	SORBATO DE POTASIO	1.35000	1.35000		AG	N

Figura 3.6. Ejecución del proceso de importación de una orden de producción

En la Figura 3.6. se muestra el resultado de la ejecución del procedimiento “pa_loadordprd”. Este procedimiento devuelve una tabla en donde consta el nombre del producto a elaborarse, la cantidad, los componentes, sus cantidades y su clasificación por solubilidad.

```
2
3  select * from pdordp where pcordpnum = '1709.0020'
```

100 %

Results | Messages

	AmComCod	AmInsCod	PcOrdPNum	PcOrdPSeq	PdOrdPLin	PdOrdPCom	PdOrdPCanR	PdOrdPCanC	PdOrdPCanA
1	1	1	1709.0020	1	1	100013	715.93065	716.00000	0.00000
2	1	1	1709.0020	1	2	100002	432.00000	432.20000	0.00000
3	1	1	1709.0020	1	3	100006	5.00040	5.00040	0.00000
4	1	1	1709.0020	1	4	100008	0.60750	0.60750	0.00000
5	1	1	1709.0020	1	5	100016	0.67500	0.67500	0.00000
6	1	1	1709.0020	1	6	100253	50.00130	57.00130	0.00000
7	1	1	1709.0020	1	7	100026	28.35000	28.35000	0.00000
8	1	1	1709.0020	1	8	100027	0.67500	0.67500	0.00000
9	1	1	1709.0020	1	9	100032	0.67500	0.67500	0.00000
10	1	1	1709.0020	1	10	100051	0.09855	0.09855	0.00000
11	1	1	1709.0020	1	11	100057	1.33650	1.83650	0.00000

Figura 3.7. Consulta de ingredientes consumidos

Después de verificar este procedimiento se comprobó que los consumos se hayan realizado de manera correcta. La columna “PdOrdPCanC” de la figura 3.7., muestra los valores consumidos y la columna “PdOrdPCanR” los valores requeridos. Aquí es posible observar que se han escrito los valores reales de peso de agua y aceite, cuyos códigos son “100013” y “100002” respectivamente, mostrados en la columna “PdOrdPCom”.

Finalmente, y uno de los procedimientos más importantes, es la verificación de que los consumos se hayan realizado de los lotes correspondientes de la bodega de salsas frías. Los lotes deben consumirse de acuerdo con su fecha de caducidad, así, se consumirán aquellos que estén más próximos a caducar.

```
3  execute pa_PdOrdPLInsert '1709.0020'
4  select * from pdordpl where pcordpnum = '1709.0020'
```

100 %

Results | Messages

	AmComCod	AmInsCod	PcOrdPNum	PcOrdPSeq	PdOrdPLin	PdOrdPLSeq	ImUbiCod	ImLotCod	PdOrdPLCanA	PdOrdPLCanC	PdOrdPLBod	PdOrdPLCom
1	1	1	1709.0020	1	2	1	00	47/17/11	432.00000	432.00000	BSF	100002
2	1	1	1709.0020	1	3	1	00	LTBP 16 06 17/08	5.00040	5.00040	BSF	100006
3	1	1	1709.0020	1	4	1	00	M703762-09	0.60750	0.60750	BSF	100008
4	1	1	1709.0020	1	6	1	00	KO16I92950	50.00130	6.99980	BSF	100253
5	1	1	1709.0020	1	7	1	00	L15GZ-17/10	28.35000	28.35000	BSF	100026
6	1	1	1709.0020	1	8	1	00	170617/10	0.67500	0.67500	BSF	100027
7	1	1	1709.0020	1	9	1	00	M1218417/09	0.67500	0.54030	BSF	100032
8	1	1	1709.0020	1	10	1	00	EA-TD03170214/06	0.09860	0.07130	BSF	100051
9	1	1	1709.0020	1	11	1	00	20160626272/10	1.33650	0.00300	BSF	100057
10	1	1	1709.0020	1	13	1	00	L36-2017/10	24.30000	9.04480	BSF	100106
11	1	1	1709.0020	1	14	1	00	1031705262/10	1.35000	0.85680	BSF	100109

Figura 3.8. Consumo de ingredientes de lotes correspondientes

En la Figura 3.8. se muestra la Tabla con los consumos correspondientes, aquí se puede verificar además que para el ingrediente 1, 5 y 12 (columna “PdOrdPLin”) no se realizaron consumos. Esto se debió a que dichos lotes presentaban una fecha de caducidad que fue ingresada de manera errónea al sistema. Una vez corregido este valor los datos de consumo fueron comprobados satisfactoriamente.

Es importante mencionar además que todos estos procedimientos son ejecutados de manera automática mediante Scripts desarrollados en Visual Basic desde la interfaz en PC de WINCC ADVANCED.

3.3 Generación de reportes

Uno de los puntos más importantes del proyecto es poder analizar los datos arrojados por el sistema automatizado e interpretarlos para corregir errores, mejorar tiempos de producción y maximizar el rendimiento de la planta.

Por lo que el sistema genera 5 tipos de reportes en Excel.

- Reporte de producción. Figura 3.9.
- Reporte de consumo de materiales. Figura 3.10.
- Reporte de materia prima vs producto. Figura 3.11.
- Reporte de inventario de aceite. Figura 3.12.
- Reporte de variaciones de inventario vs consumos y transacciones. Figura 3.13.

Con estos reportes, se realizó un balance de masa entre lo que se produjo con respecto a lo que se envasó, de esta manera fue posible determinar cuánta cantidad de producto sobrante se queda en las tolvas, en la tubería o la cantidad de desperdicio de materiales que existe.

A continuación, se muestran los reportes generados.

CÓDIGO	PRODUCTO	CANTIDAD PLANIFICADA	CANTIDAD PRODUCIDA	DIFERENCIA	VARIACIÓN
400121	Mayonesa Marcello´s premium	1350	1352	2	0.15%
400114	Mayonesa Marcello´s baja en calorías	2700	2704	4	0.15%
400020	Vinagre blanco	2400	2403	3	0.12%
TOTAL		**6450**	**6459**	**9**	**0.14%**

Figura 3.9. Reporte de producción

CÓDIGO	MATERIAL	CONSUMO ESTÁNDAR	CONSUMO REAL	DIFERENCIA	VARIACIÓN
100013	Agua	1000	1003	3	0.30%
100002	Aceite de soya	5000	5001	1	0.02%
100006	Ácido acético glacial	100	100	0	0.00%
100008	Ácido cítrico	20	20	0	0.00%
TOTAL		**6120**	**6124**	**4**	**0.07%**

Figura 3.10. Reporte de consumo de materiales

CÓDIGO PRODUCTO	PRODUCTO	CÓDIGO MATERIAL	MATERIAL	CONSUMO ESTÁNDAR	CONSUMO REAL	DIFERENCIA	VARIACIÓN
400121	Mayonesa Marcello´s premium	100013	Agua	1000	1003	3	0.30%
		100002	Aceite de soya	5000	5001	1	0.02%
		100006	Ácido acético glacial	100	100	0	0.00%
		100008	Ácido cítrico	20	20	0	0.00%
		TOTAL		**6120**	**6124**	**4**	**0.07%**
400114	Mayonesa Marcello´s baja en calorías	100013	Agua	1000	999	-1	-0.10%
		100002	Aceite de soya	5000	4898	-102	-2.04%
		100006	Ácido acético glacial	100	100	0	0.00%
		100008	Ácido cítrico	20	20	0	0.00%
		TOTAL		**6120**	**6017**	**-103**	**-1.68%**
400020	Vinagre blanco	100013	Agua	1000	1004	4	0.40%
		100008	Ácido cítrico	20	20	0	0.00%
		TOTAL		**1020**	**1024**	**4**	**0.39%**

Figura 3.11. Reporte de materia prima vs producto

TANQUE	INVENTARIO INICIAL	RECEPCIONES	TRANSFERENCIAS	CONSUMOS	INVENTARIO FINAL
Principal	10000	15000	10000	0	15000
Planta 1	4000	1000	0	1100	3900
Planta 2	3000	5000	0	4000	4000
TOTALES	**17000**	**21000**	**10000**	**5100**	**22900**

Figura 3.12. Reporte de inventario de aceite

TANQUE	INVENTARIO VS TRANSACCIONES	INVENTARIO VS SENSORES	DIFERENCIA	VARIACIÓN
Principal	15000	14990	-10	-0.07%
Planta 1	3900	3910	10	0.26%
Planta 2	4000	3995	-5	-0.12%
TOTALES	**22900**	**22895**	**-5**	**-0.02%**

Figura 3.13. Reporte de variaciones de inventario vs consumos y transacciones

3.4 Análisis de costos

El costo total detallado del proyecto, que se muestra en el ANEXO IV, es de USD 114,429.76.

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa, el desfase de aceite anual es de 10 toneladas, lo que representa aproximadamente USD 11,500.

Con el nuevo sistema, los reportes que se proporcionan y de acuerdo con la precisión obtenida de las pruebas, se estima que no existirá un desfase superior al 1% de la capacidad del tanque de recepción. Esto representa 300 kilogramos anuales, por lo cual se estaría ahorrando USD 11,000 al año en desfase de aceite.

Debido a que el peso de aceite es determinado por el nuevo sistema, ya no es necesario contrastar la medida en una empresa de servicio de pesaje externa, con lo cual se ahorra USD 200 en cada recepción, con una frecuencia de 2 a 3 veces al mes.

Adicionalmente, el costo de mano obra baja considerablemente. El tiempo necesario para la elaboración de una salsa con el sistema anterior era de aproximadamente 35 minutos, con el nuevo sistema es de 22 minutos, con lo cual se ahorra 13 minutos de mano de obra por salsa. Considerando que en promedio se preparan 10 salsas al día, existe un ahorro de 2 horas en mano de obra al día.

Además del desfase de aceite y el tiempo de producción, el líder del área de producción tenía que ingresar los datos de consumo al sistema CANORUS ERP, lo que le tomaba una hora diaria. El sistema realiza este proceso automáticamente, por lo que este tiempo bajó a 15 minutos, que es lo que le toma verificar que los datos hayan sido ingresados correctamente.

Tomando en cuenta la información planteada, se muestran los datos aproximados de ahorro anual en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ahorro anual con el sistema automatizado

Ítem	Descripción	Ahorro Anual (USD)
Desfase inventario de aceite	Desfase de aceite existente debido a la falta de herramientas para monitoreo y control	11,000
Mano de obra preparación salsas frías	Tiempo de preparación de una salsa en el área de elaboración de salsas frías: 10 horas a la semana, por 48 semanas.	1041,60
Mano de obra registro de datos	5 horas a la semana por 48 semanas.	520,80
Contraste de la medida del peso en una empresa de servicio de pesaje externa	Medida realizada dos veces al mes	4,800
	TOTAL	17,362.4

De esta manera se concluye que la inversión se recuperará en un tiempo aproximado de 7 años.

4. CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

- Se ha diseñado un sistema automatizado que permite tener un control en la recepción y consumo de aceite y agua para la elaboración de salsas frías, con lo cual se han cumplido todos los objetivos y alcances planteados en el presente proyecto.

- Los procedimientos para la elaboración de salsas fueron determinados con un levantamiento detallado en campo y esquematizados mediante diagramas de flujo descritos en el presente documento. A pesar de que las cantidades de materias primas en la elaboración de salsas son distintas para cada tipo, los procesos de preparación cumplen las mismas condiciones y restricciones, lo que hizo posible que se sinteticen dichos procedimientos en un diagrama. Con esta información se definió el sistema automatizado más adecuado para el proceso.

- El diseño e implementación de los sistemas de control para las dos etapas del proyecto ha demostrado que las ventajas que presenta la automatización de máquinas y/o plantas justifica la inversión inicial. Dichos sistemas automáticos permitieron mejorar la productividad y minimizar errores humanos.

- La automatización de un proceso en la mayoría de las industrias, y en especial en la industria alimenticia, debe ir acompañada de la operación de una persona. Por lo que el diseño e implementación de interfaces de usuario en el proyecto fue fundamental para obtener supervisión del proceso, visualización y modificación de parámetros de funcionamiento del sistema e importación de recetas y órdenes de producción.

- La implementación de un sistema de adquisición e intercambio de datos ha permitido la integración de los distintos niveles de automatización del proceso. La importación de recetas, escritura de consumo de materia prima y registro de tiempos de producción han integrado el nivel de control con el sistema ERP de la empresa. La lectura y visualización de datos de transmisores y sensores, al nivel de campo con el nivel de control y supervisión; y finalmente, la generación de reportes e indicadores de rendimiento logra un vínculo directo entre el departamento de producción de la empresa con el departamento de gestión de calidad y planificación.

- Se realizaron la mayor cantidad de pruebas posibles con el fin de validar el funcionamiento del sistema, las secuencias de recetas y lo más importante, se comprobó que las salsas elaboradas con el sistema automatizado cumplen con los estándares de calidad definidos por la empresa.

- Una vez determinada la mejor alternativa para automatizar el área de recepción, transferencia y almacenaje de aceite mediante el uso de celdas de carga se diseñó un sistema automatizado que cumplió con el objetivo trazado por la empresa de facilitar y asegurar que las tareas de recepción y transferencia de aceite se realicen de forma automática y se cuente con un registro diario de movimientos.

- La implementación del nuevo sistema de elaboración de salsas requirió una adecuada y dedicada capacitación a los operadores en el uso de éste obteniéndose excelentes resultados tanto en mejora de tiempos de producción como en calidad de producto terminado.

- Los diseños intuitivos de las interfases de usuario tanto en el área de recepción, transferencia y almacenaje de aceite como en el área de preparación de aceite facilitan las operaciones que se realizan en los procesos de elaboración de las diferentes salsas, estos diseños siguieron un proceso de mejora continua gracias a las recomendaciones de los operadores que al final son los favorecidos con la optimización de estos.

4.2 Recomendaciones

- A pesar de que los elementos de control como válvulas, paneles de operador y sensores cuentan con un grado de protección IP adecuado para las condiciones ambientales de trabajo, se recomienda que dichos elementos sean tratados con el mayor cuidado posible para garantizar una vida útil de 12 años o más.

- Con el fin de maximizar la precisión de la dosificación se recomienda que no se generen tensiones externas en los tanques en donde se encuentran montadas las celdas de carga. Esto implica que las tuberías y conexiones hacia éstos no pueden estar soldadas o acopladas mecánicamente, ya que esta tensión genera una variación de peso significativa.

- Se recomienda la capacitación y explicación detallada del funcionamiento del sistema para que los operadores se acostumbren al uso de las nuevas herramientas. La falta de información generará incertidumbre y desconfianza hacia el sistema automatizado.

- Se recomienda una calibración del peso de los tanques una vez al año o cada dos años, porque con el paso del tiempo la sensibilidad de las celdas de carga variará.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. Rodríguez, “Sistema de gestión ambiental en la empresa MARCSEAL S.A. con la norma ISO 14001”, Proyecto de Titulación, UCE, Quito, Ecuador, 2015.

[2] A. Creus Solé, Instrumentación industrial. México, D.F.: Alfaomega, 2011.

[3] O. Engineering, "¿Qué es una célula de carga y cómo funciona? Tipos de celda", Es.omega.com, 2009. [Online]. Available: https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html.

[4] L. Elettronica, "Load cells and Mounting kits - LAUMAS", Laumas.com, 2018. [Online]. Available: https://www.laumas.com/en/products/load-cells-and-mounting-kits/.

[5] J. Villajulca, "Caudalímetros másicos Coriolis: principio de medición – Instrumentación, Control y Automatización Industrial", Instrumentacionycontrol.net, 2010. [Online]. Available: https://instrumentacionycontrol.net/caudalimetros-masicos-coriolis-principio-de-medicion/.

[6] CLM8 Manual de Instalación y Uso, LAUMAS Elettronica, Montechiarugolo, Italia, 2017

[7] M. Viejo, Bombas. Teoría, Diseño y Aplicaciones, 2da ed. México, D.F.: Editorial Limusa, 2000.

[8] Catálogo de Productos Hidromac, Hidromac S.A., Barranquilla, Colombia, 2007

[9] Q. PUMPS, Eicsa.com, 2018. [Online]. Available: http://eicsa.com/assets/bombas-serieqc.pdf.

[10] R. Greene, “Válvulas”, 1a ed. México: McGraw-Hill, 1999.

[11] D. JOY, "Pneumatic butterfly valve - China Donjoy Technology Co., Ltd", Cndonjoy.com, 2015. [Online]. Available: http://www.cndonjoy.com/Sanitary-Butterfly-Valve/Sanitary-Butterfly-Valves/pneumatic-butterfly-valve.htm.

[12] S. PNEUMATICS, "5 PORT SOLENOID VALVES", Smcpneumatics.com, 2010. [Online]. Available: http://www.smcpneumatics.com/pdfs/SY_EU.pdf.

[13] O. Engineering, "Sensores de nivel", Es.omega.com, 2018. [Online]. Available: https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html.

[14] I. ELECTRONICS, "Instrucciones de uso Sensor de nivel binario", Ifm.com, 2012. [Online]. Available: https://www.ifm.com/mounting/80223649ES.pdf.

[15] D. INSTRUMENTS, "Series 673 | Pressure Transmitter", Dwyer-inst.com, 2011. [Online]. Available: http://www.dwyer-inst.com/Product/Pressure/SinglePressure/Transmitters/Series673.

[16] “Ingeniería Electrónica y Automática: Autómatas Programables” apuntes de clase para 12796, Ingeniería Industrial, Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, invierno 2017

[17] SIEMENS AG, "SIMATIC HMI Panels", W5.siemens.com, 2014. [Online]. Available: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/Documents/brochure_panels_es.pdf.

[18] SIEMENS AG, "Convertidor SINAMICS V20", Cache.industry.siemens.com, 2013. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf.

[19] SIEMENS AG, "SITRANS LVL100 - Instrumentación de procesos", W3.siemens.com, 2014. [Online]. Available: https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-nivel/detecci%C3%B3n-de-nivel/vibraci%C3%B3n/pages/sitrans-lvl100.aspx. [Accessed: 28- May- 2018].

[20] A. Rodríguez, “Sistemas SCADA”, 3a. ed. México: Ed. Alfaomega Grupo Editor. 2013.

[21] F. Chiesa, Metodología para la selección de un ERP, UCLA Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado, 2004. Disponible en: ‹http://www.ucla.edu.ve/dac/departamentos/informatica-II/metodologia-para-seleccion-desistemas-erp.pdf›

[22] “Introducción a las redes de comunicación industrial” apuntes de clase de Comunicaciones Industriales, I.E.S. Linares, invierno 2008

[23] N. Instruments, "The Modbus Protocol In-Depth - National Instruments", Ni.com, 2018. [Online]. Available: http://www.ni.com/white-paper/52134/es/.

[24] Data Transmission Circuits-Line Circuits, Texas Instruments, 1996.

[25] PROFINET, SIEMENS AG, 2006

6. ANEXOS

ANEXO I: Diagrama de tuberías e instrumentación del proyecto

ANEXO II: Planos constructivos mecánicos del tanque de recepción

ANEXO III: Diagrama de control y planos del sistema automatizado

ANEXO IV: Proforma del proyecto de automatización

ANEXO V: Manual de usuario del sistema de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

ANEXO VI: Manual de usuario del sistema de elaboración de salsas frías.

ANEXO I

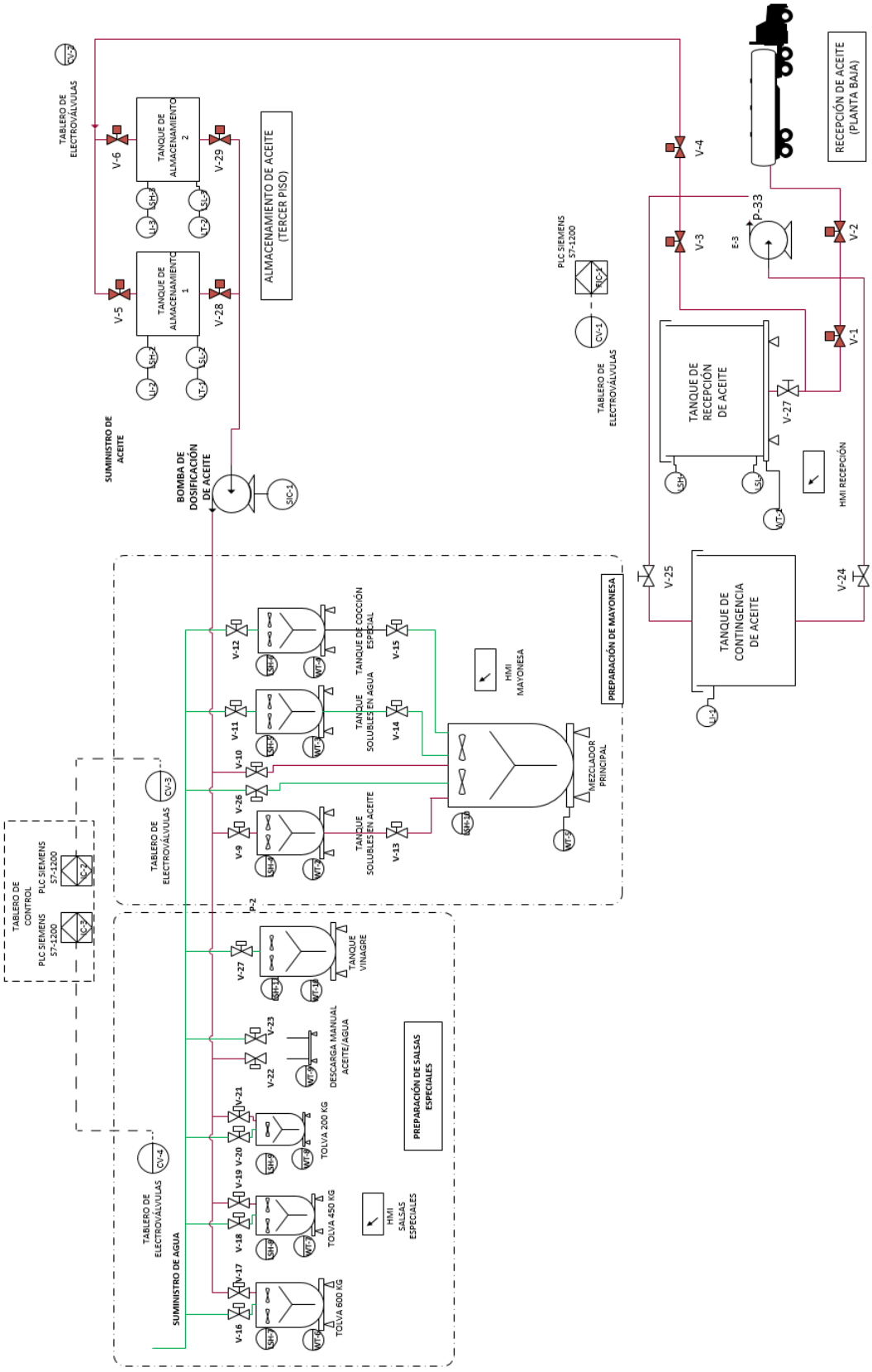


Figura I.1. Diagrama del Sistema Automatizado

ANEXO II

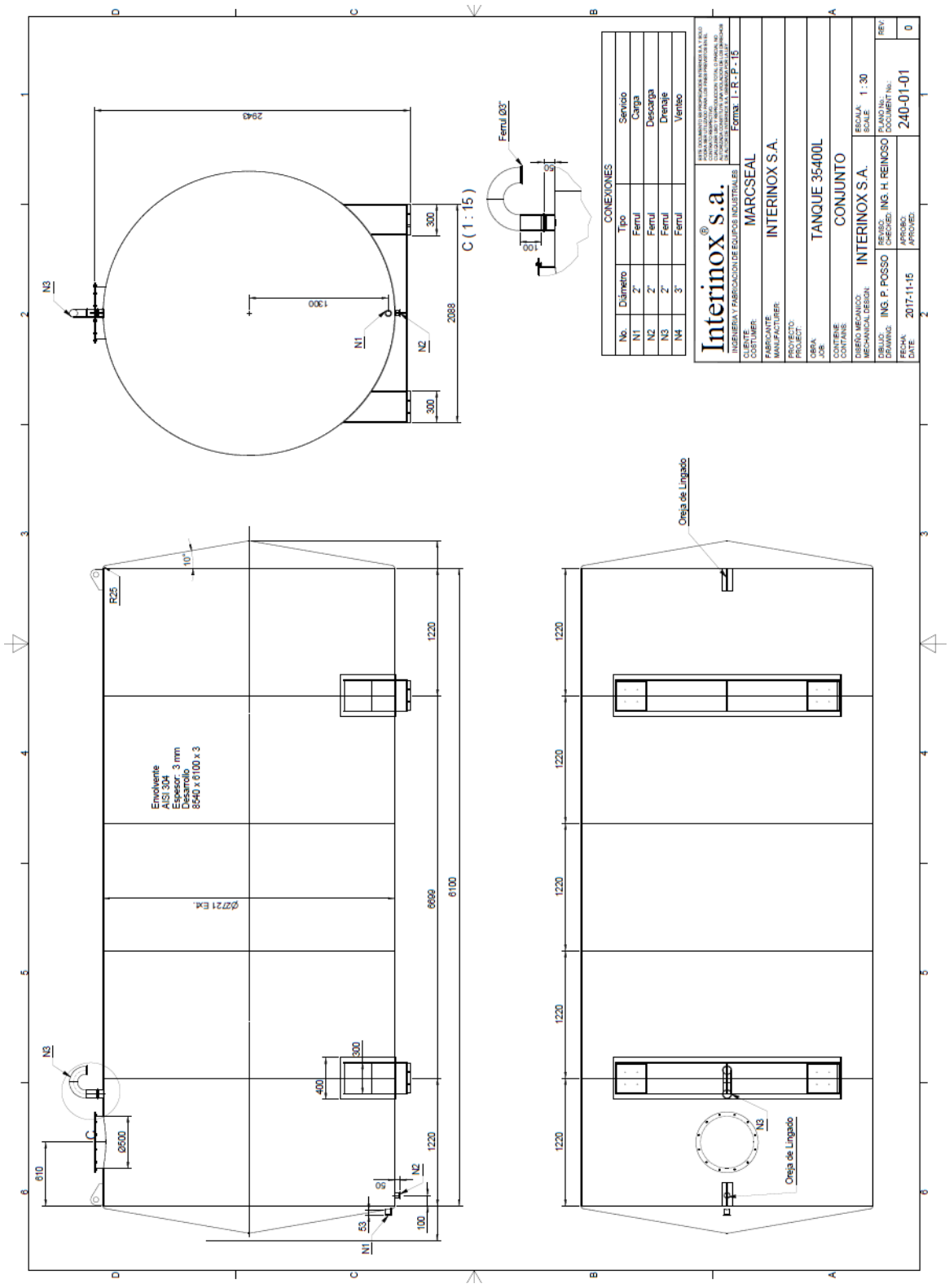


Figura II.1. Plano Mecánico del Tanque de Recepción

ANEXO III

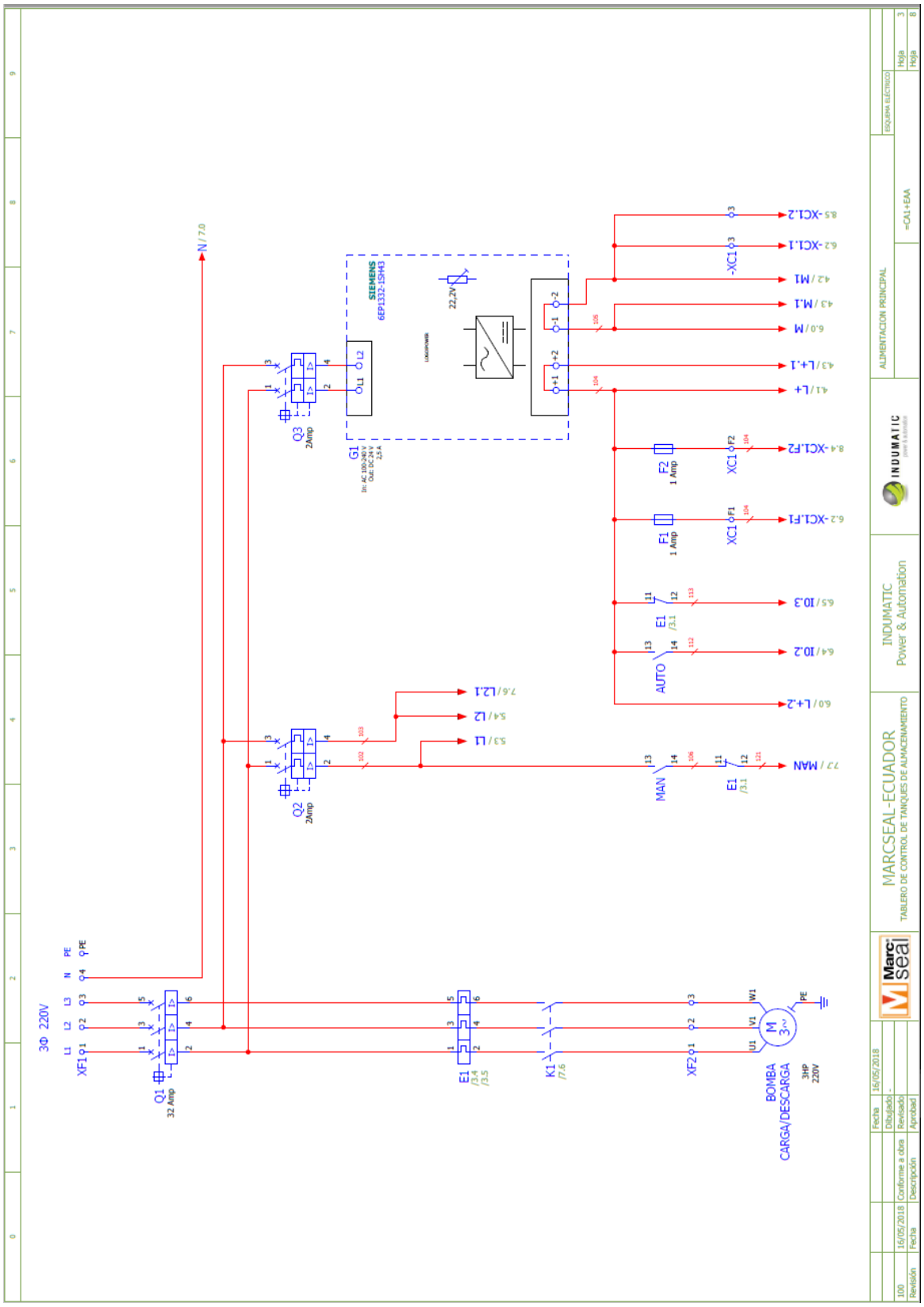


Figura III.1 Alimentación Principal Tablero Recepción

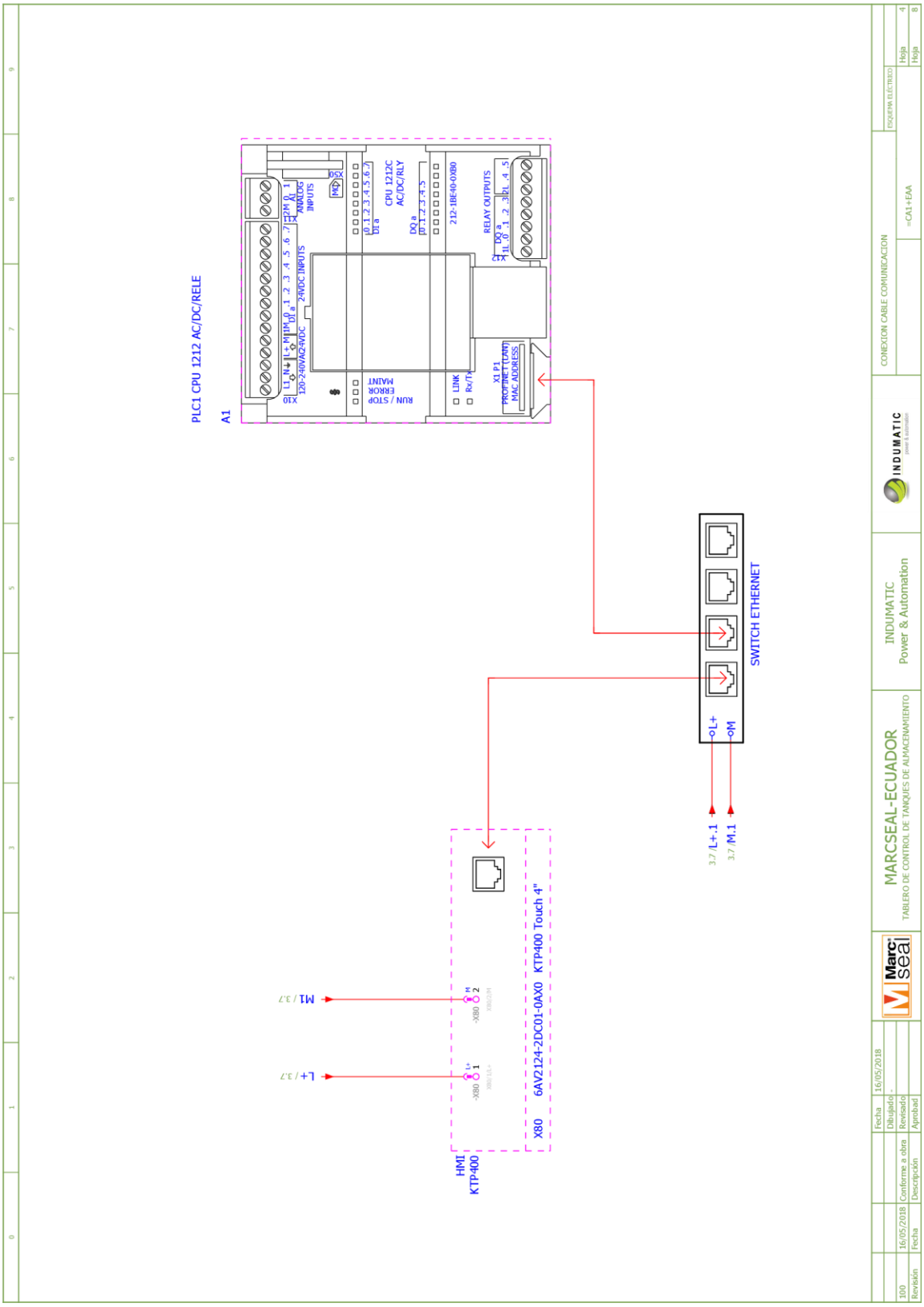


Figura III.2 Conexión Cable Comunicación Tablero Recepción

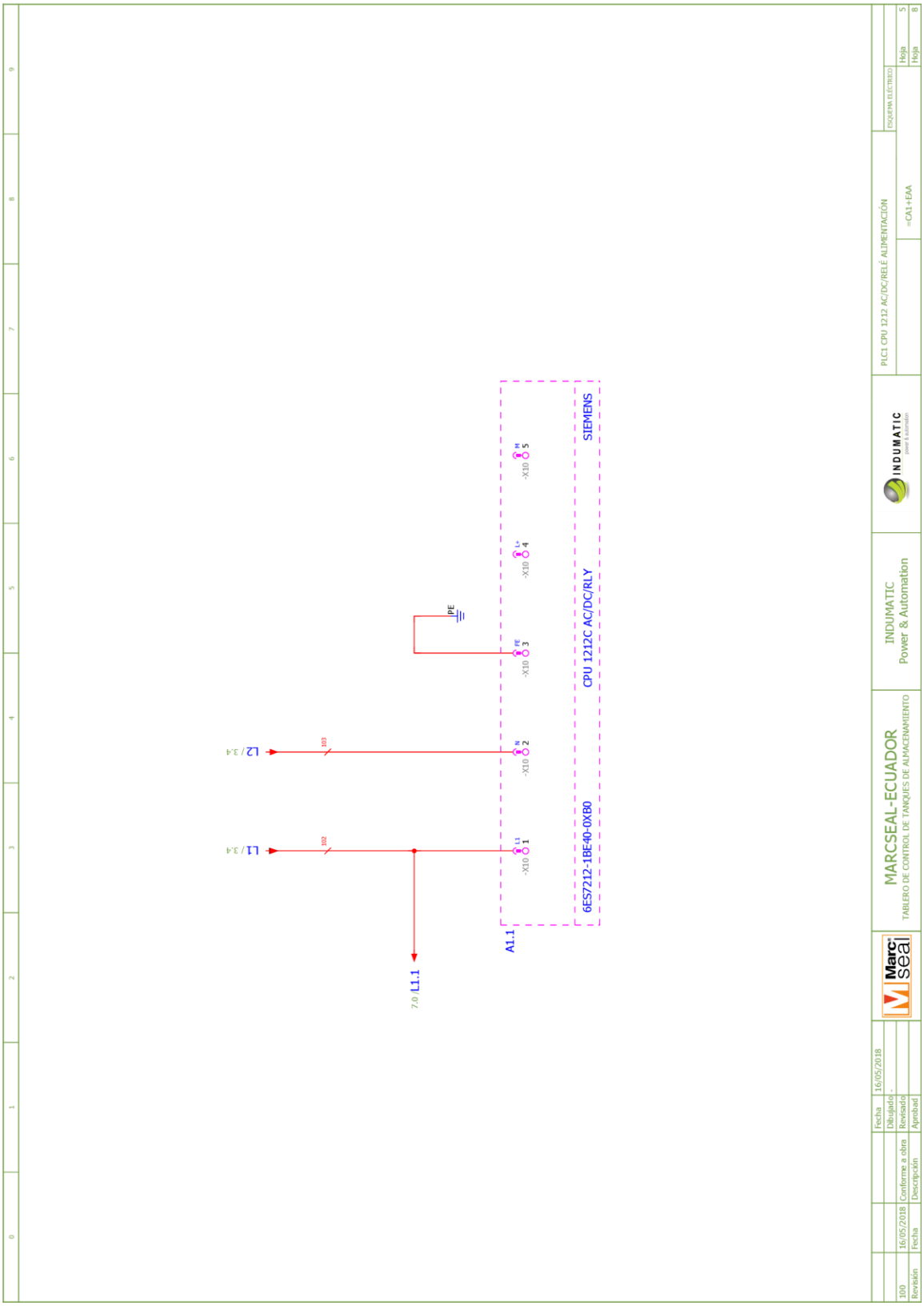


Figura III.3 PLC S71212 AC/DC/RLY Alimentación Tablero Recepción

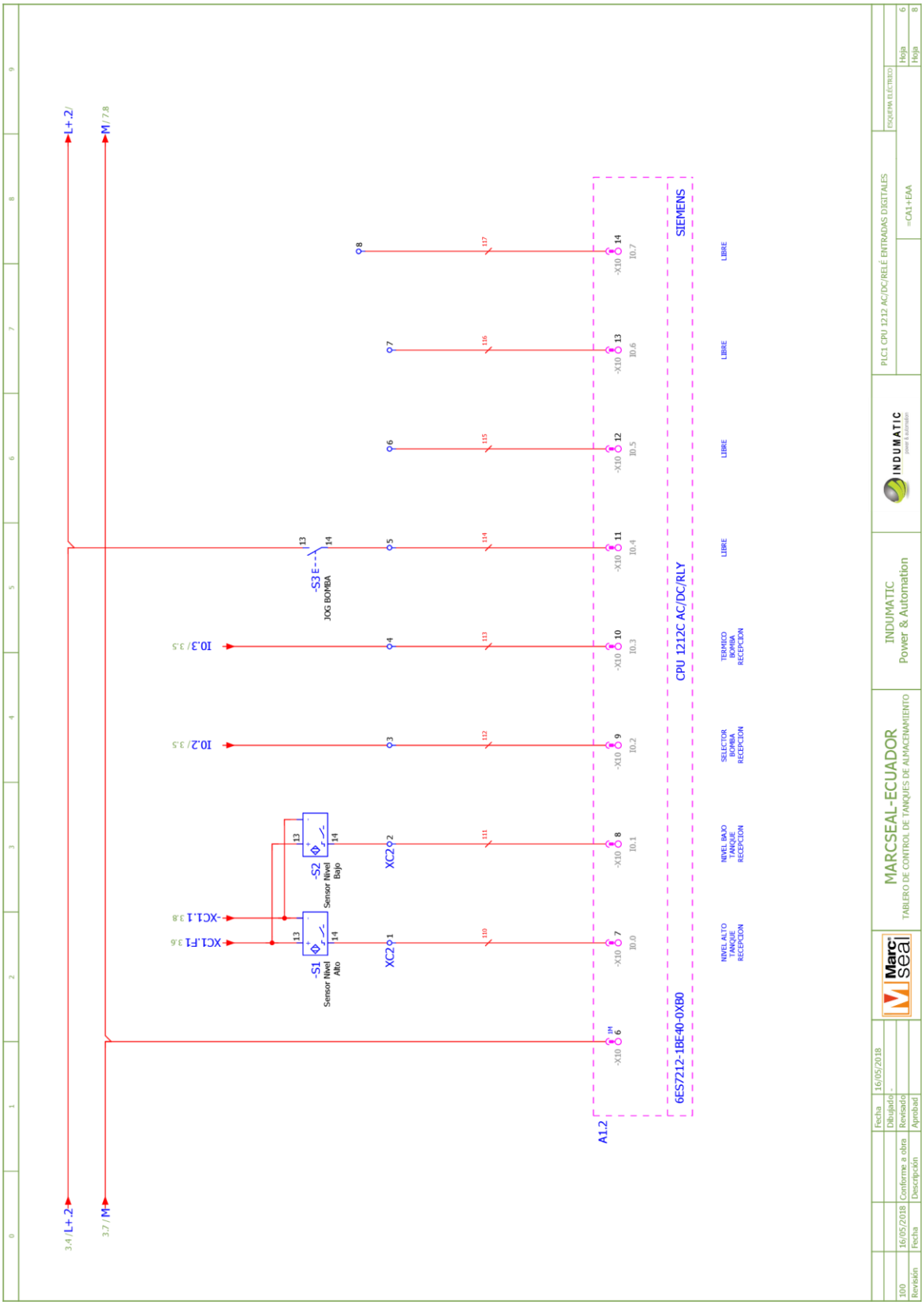


Figura III.4 PLC S71212 AC/DC/RLY Entradas Digitales Tablero Recepción

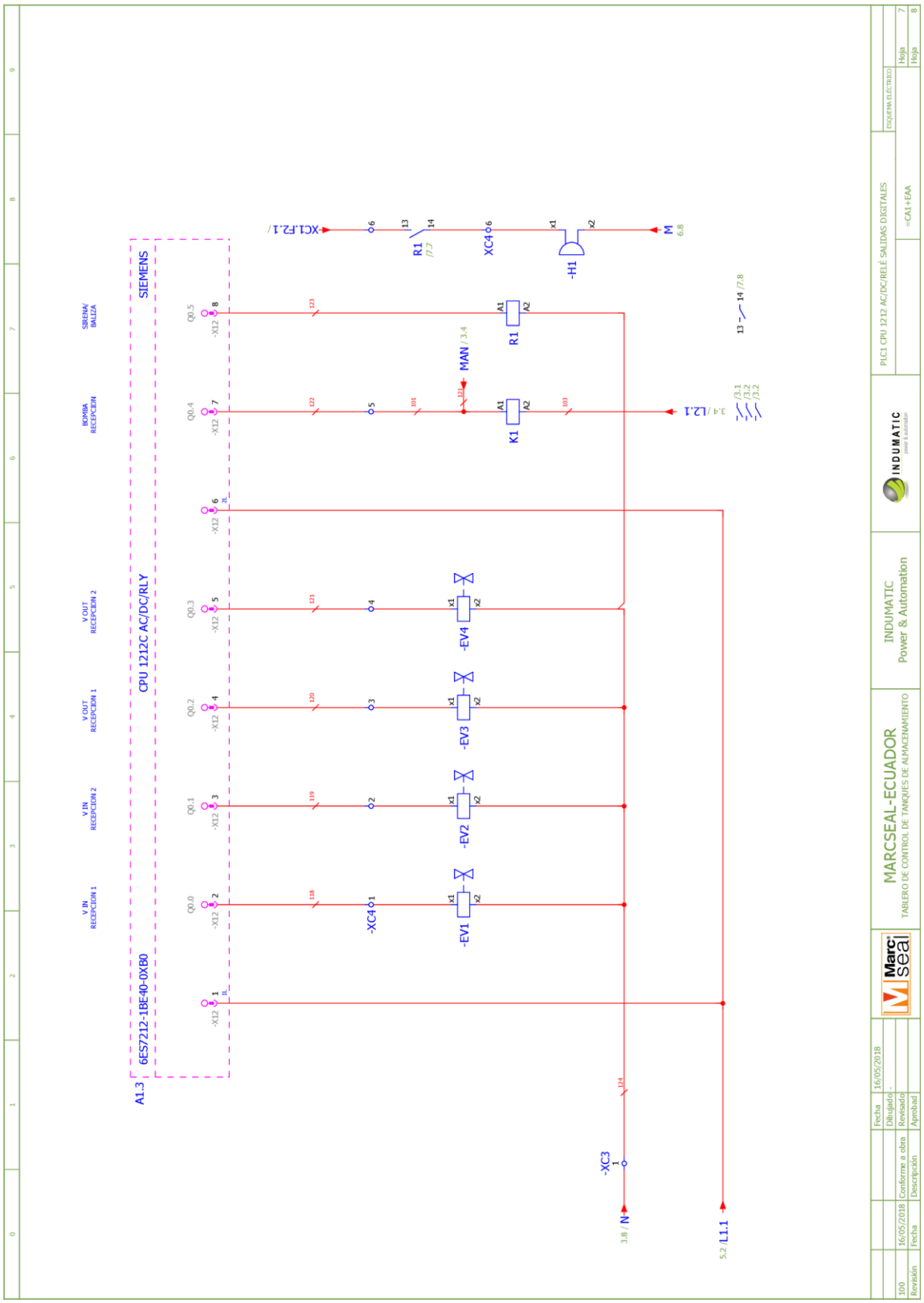


Figura III.5 PLC S71212 AC/DC/RLY Salidas Digitales Tablero Recepción

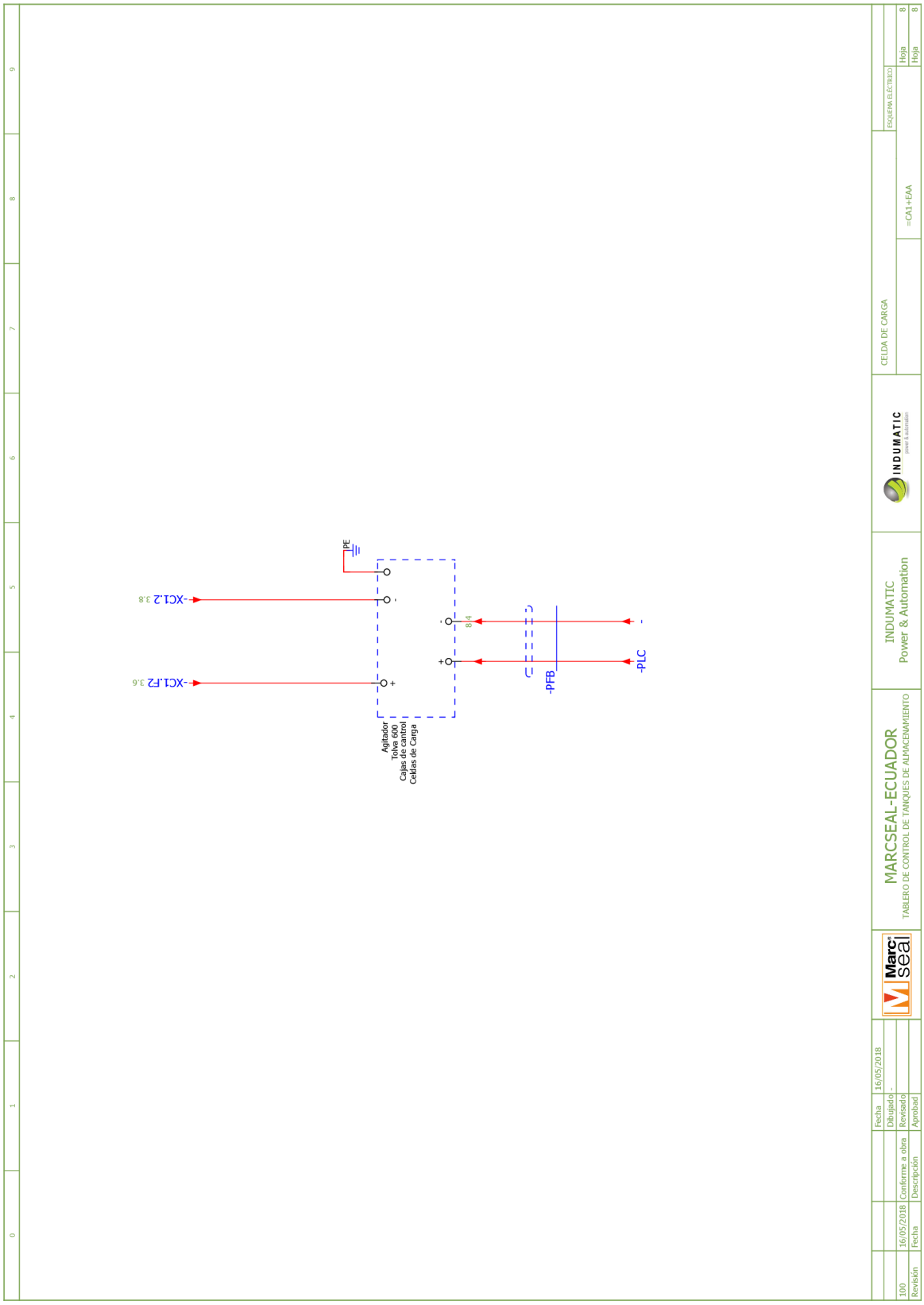


Figura III.6 Transmisor de Peso Tablero Recepción

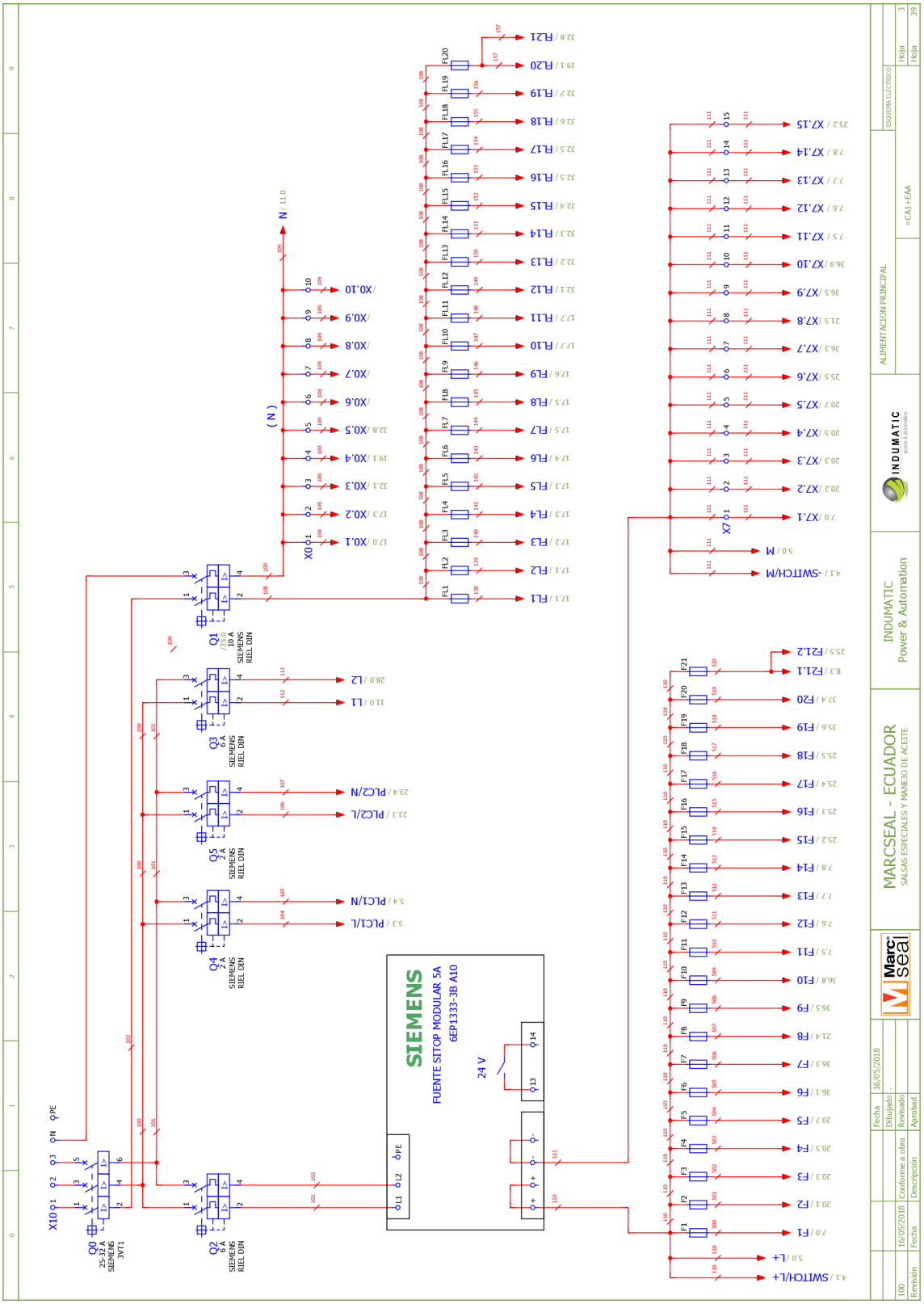


Figura III.7 Alimentación Principal Tablero Salsas Frías

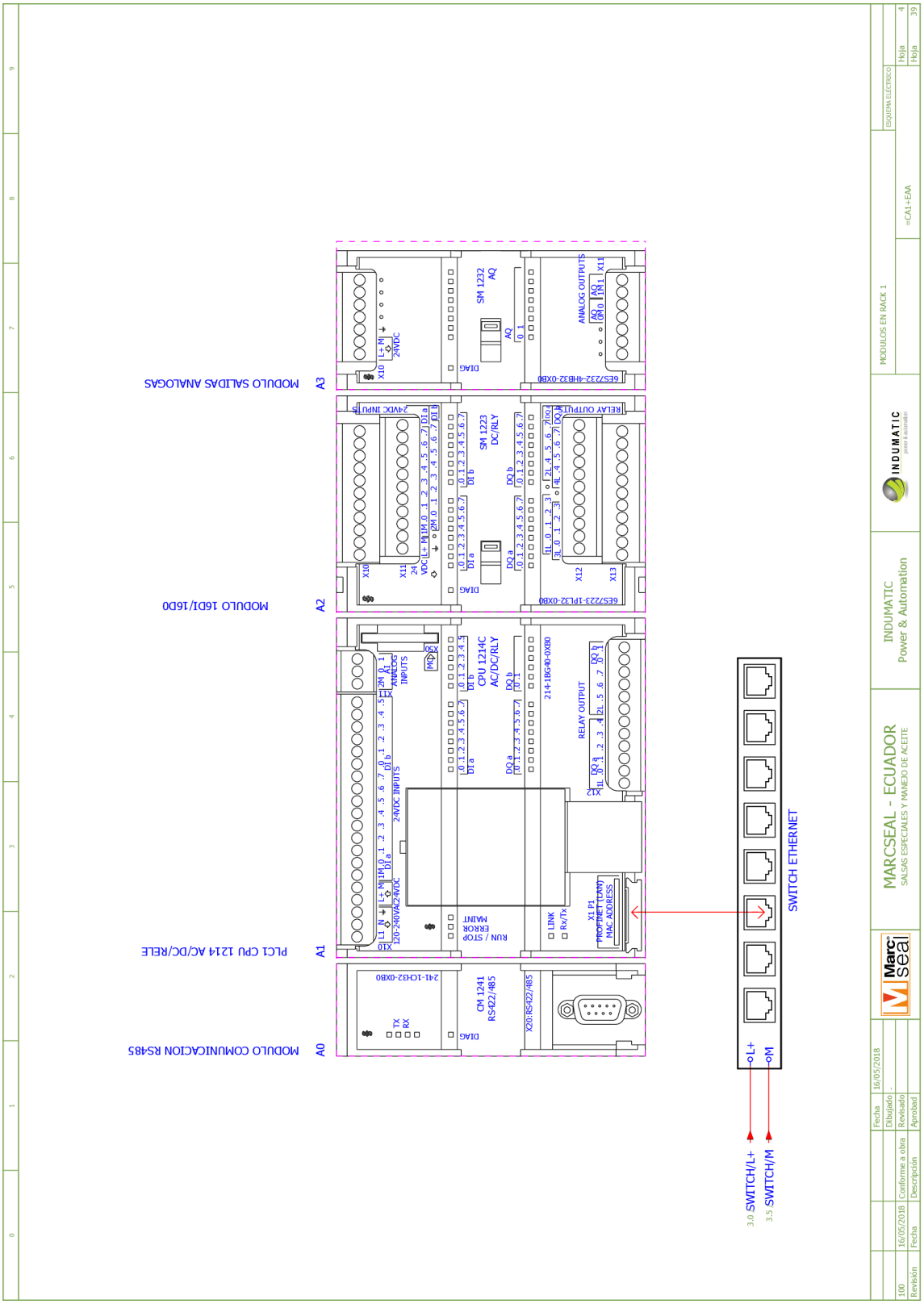


Figura III.8 Módulos en Rack 1 Tablero Salsas Frías

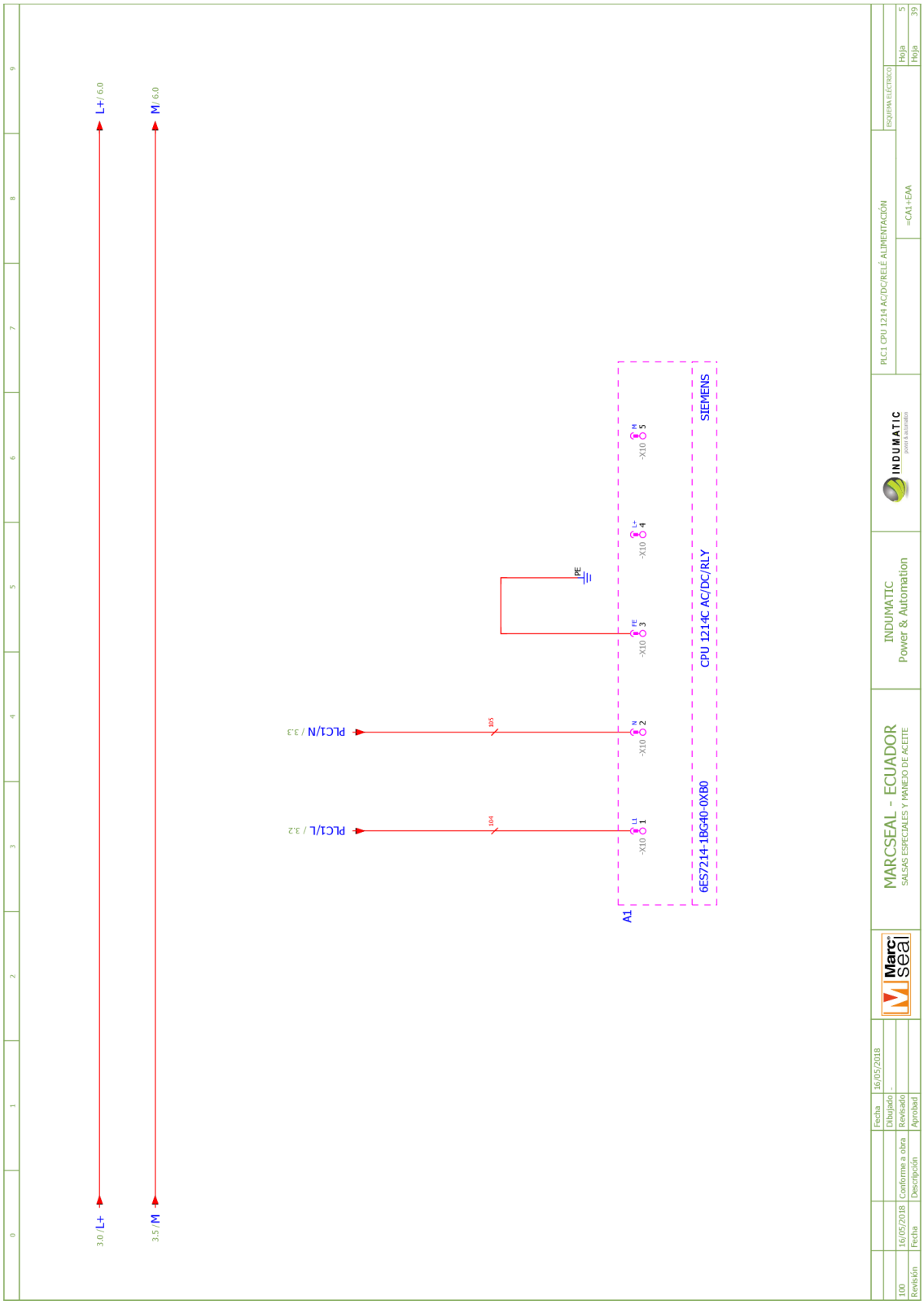


Figura III.9 PLC 1214 AC/DC/RLY Alimentación Tablero Salsas Frías

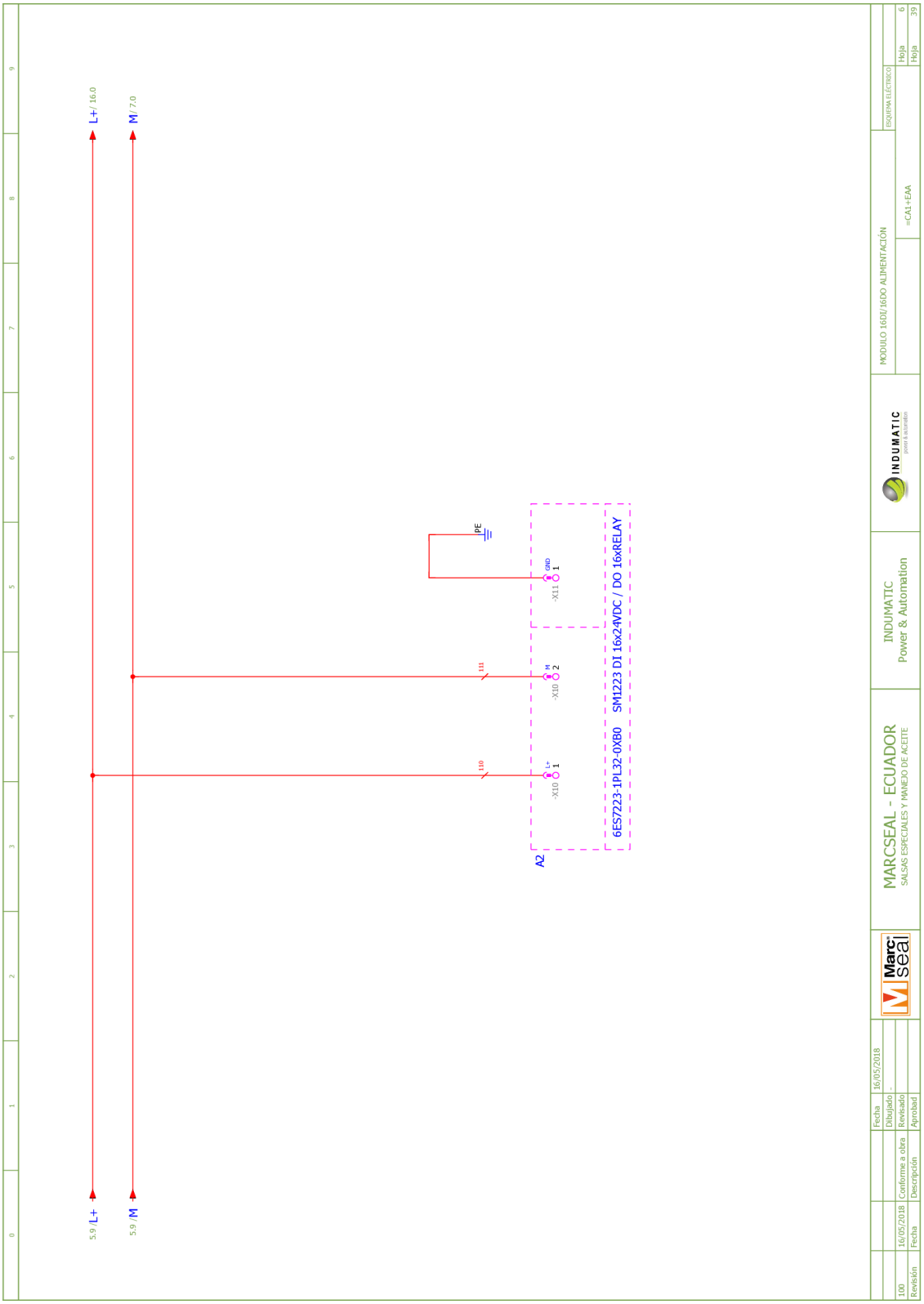


Figura III.10 Módulo 16DI/16DO Alimentación Tablero Salsas Frías

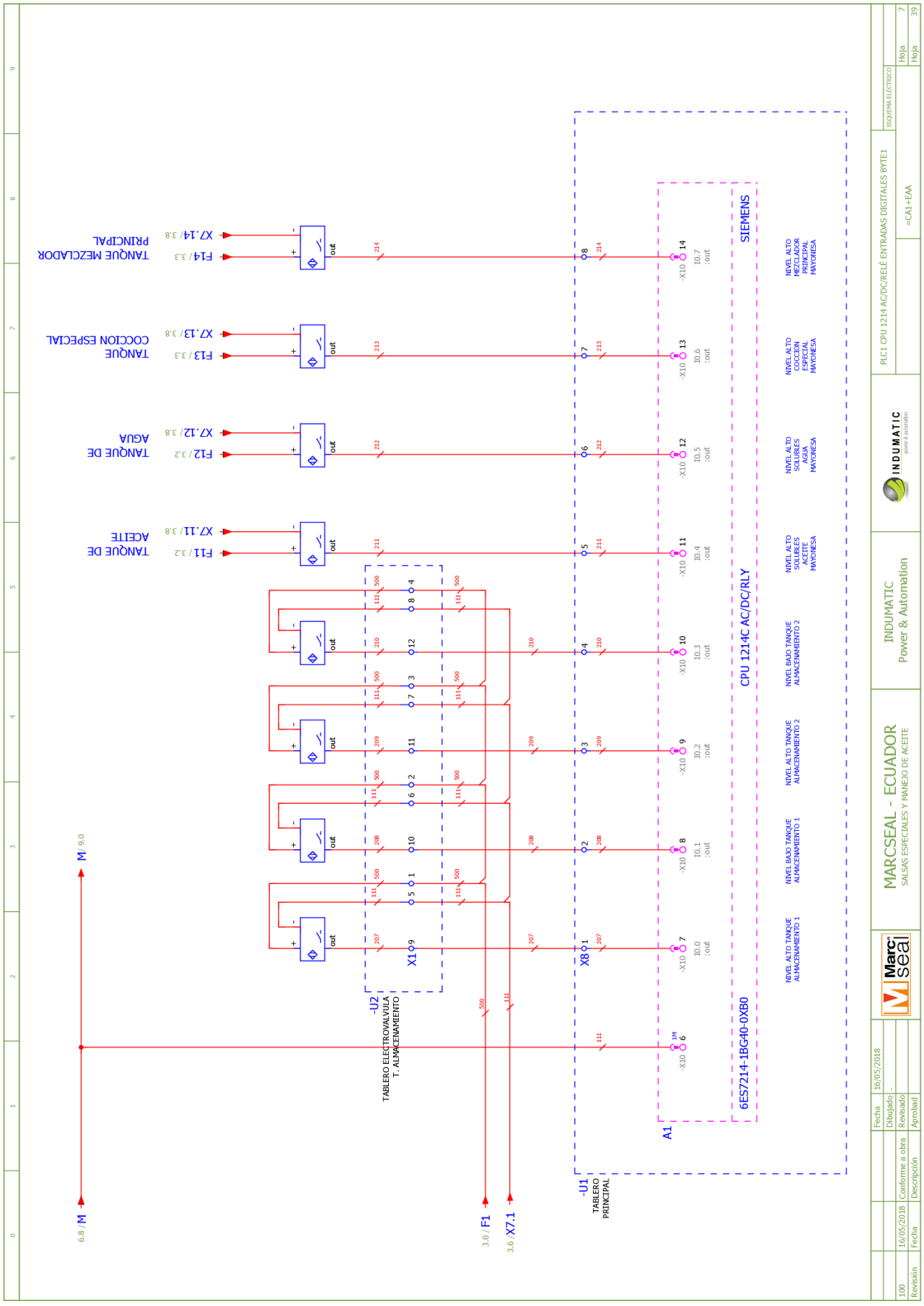


Figura III.11 PLC 1214 Entradas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

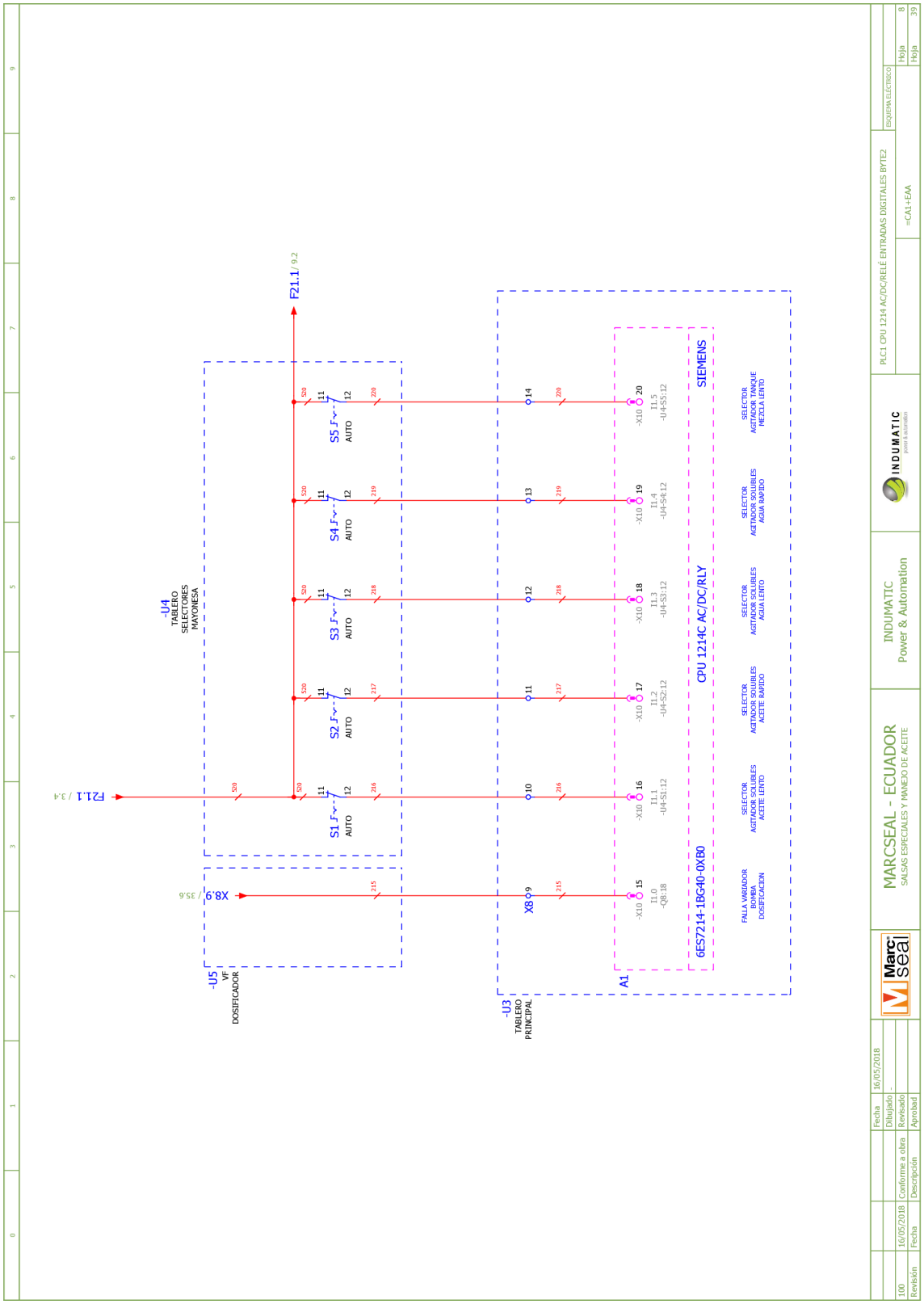


Figura III.12 PLC 1214 Entradas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

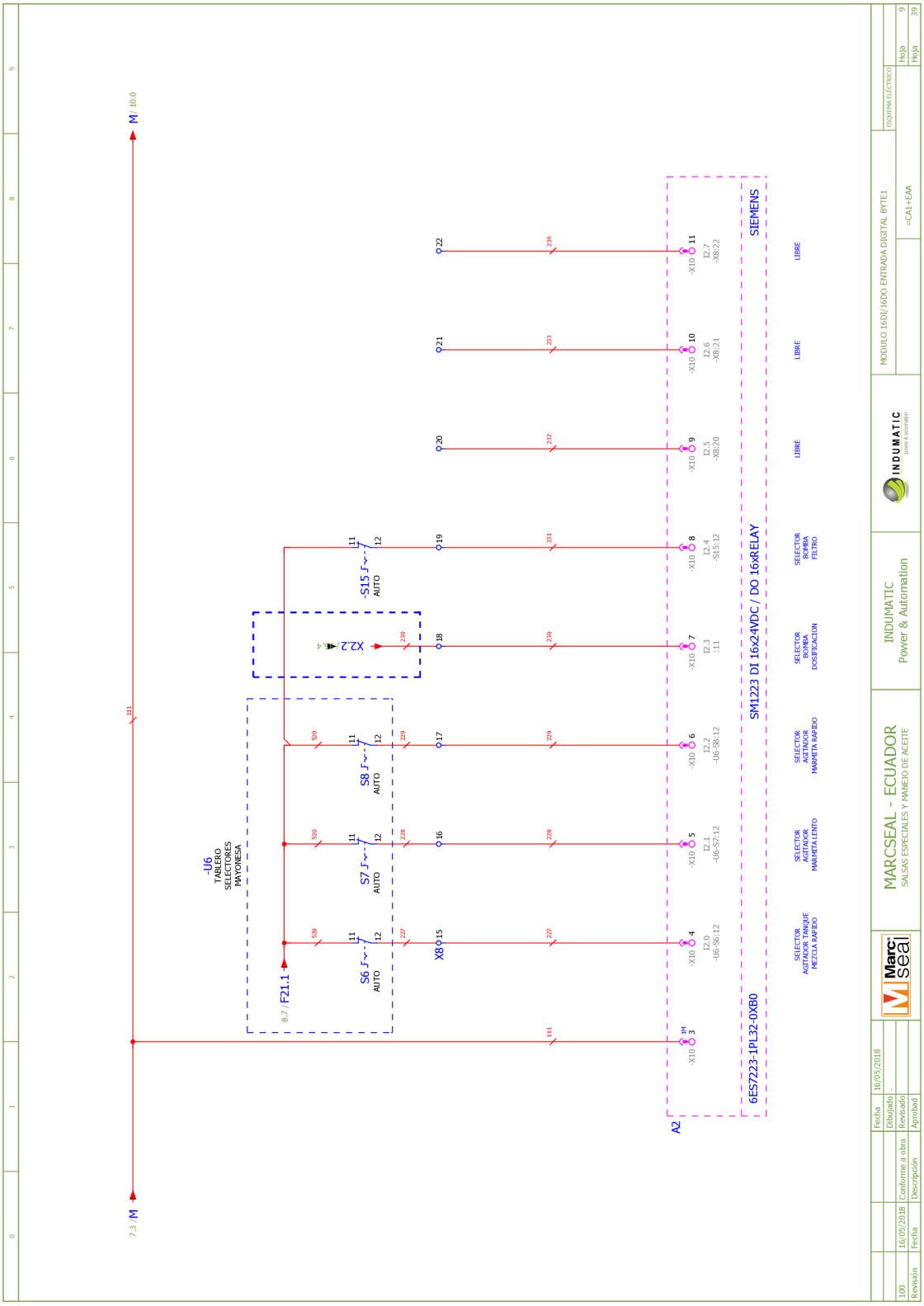


Figura III.13 Módulo 16DI/16DO Entradas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

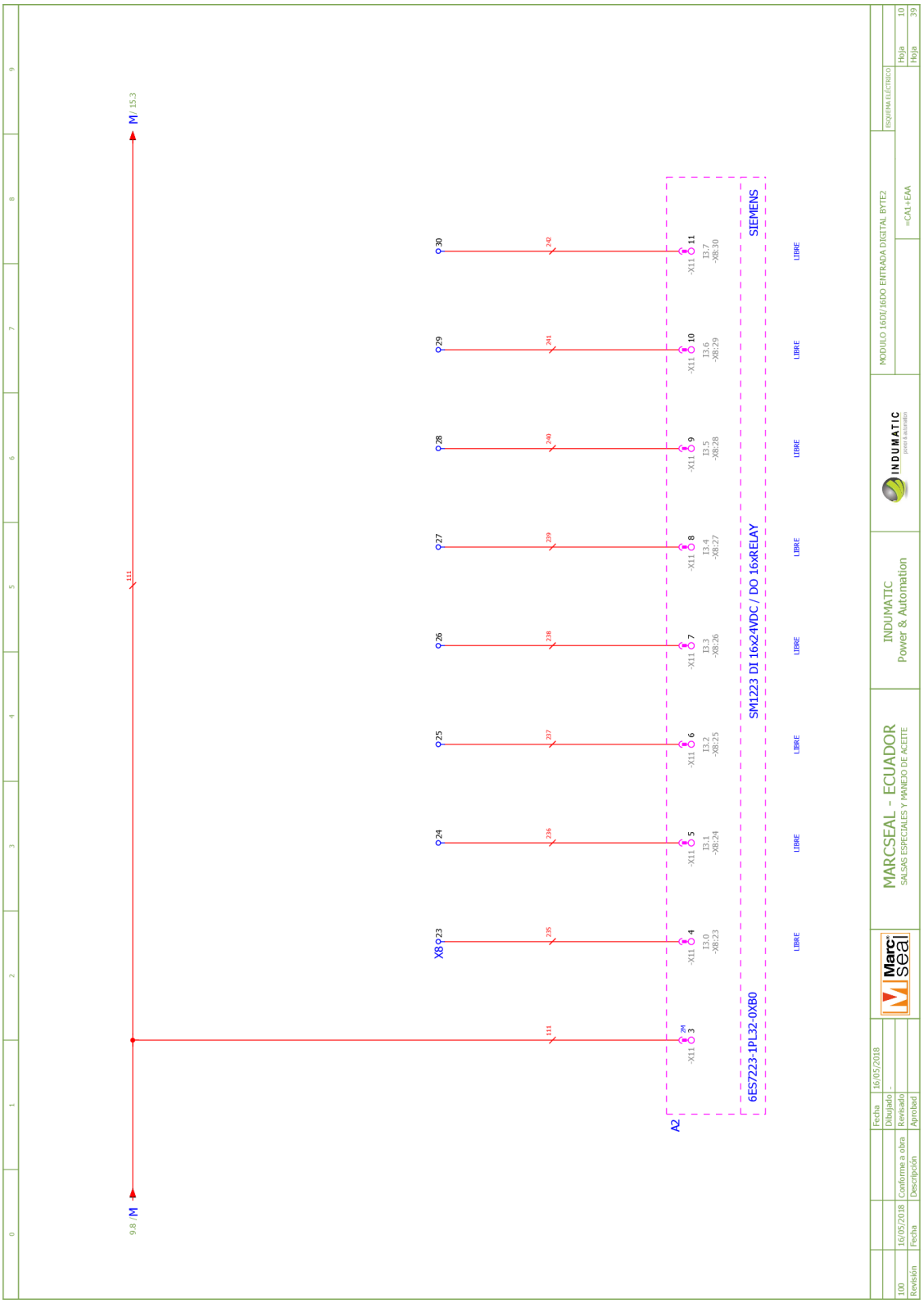


Figura III.14 Módulo 16DI/16DO Entradas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

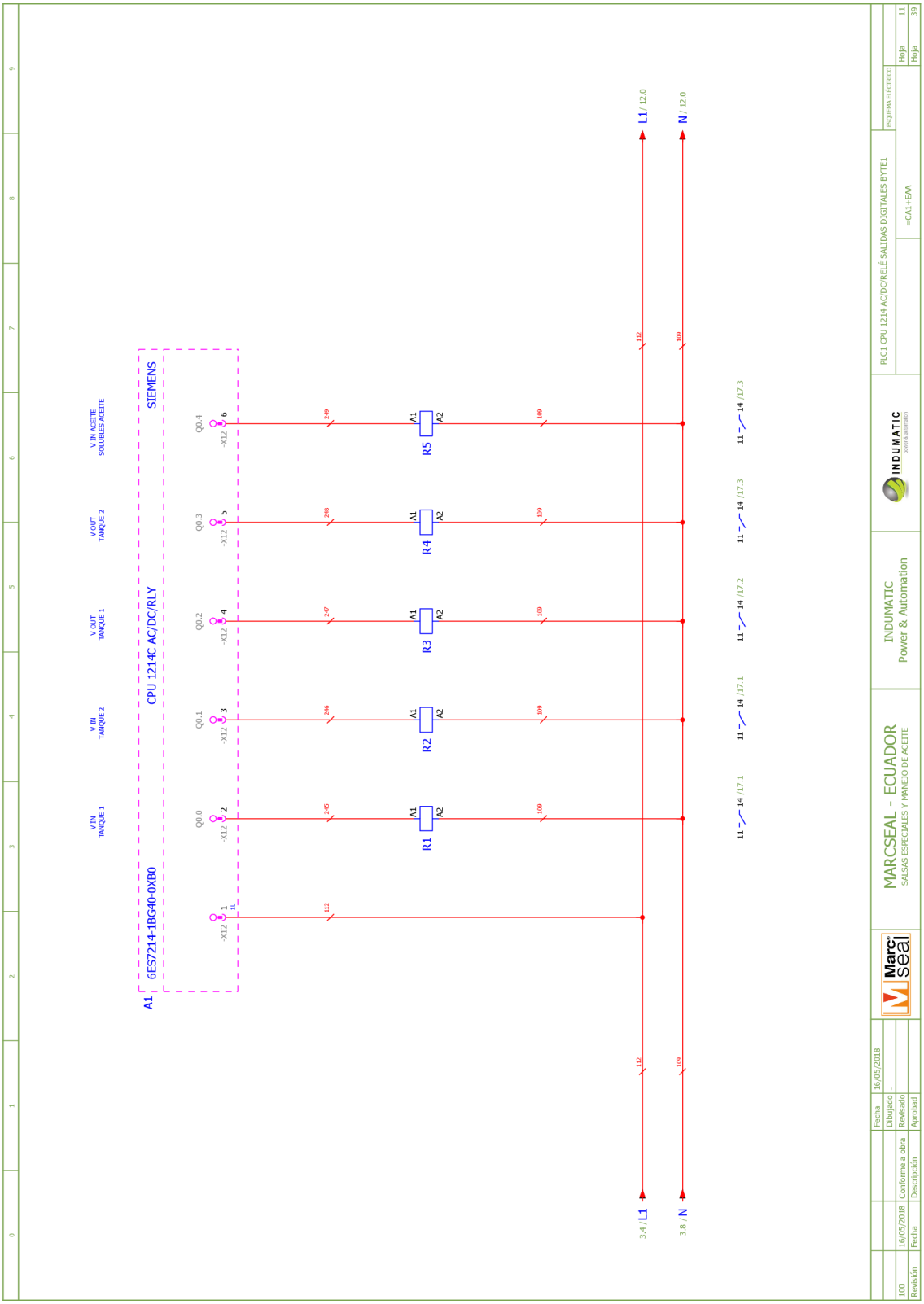


Figura III.15 PLC 1214 Salidas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

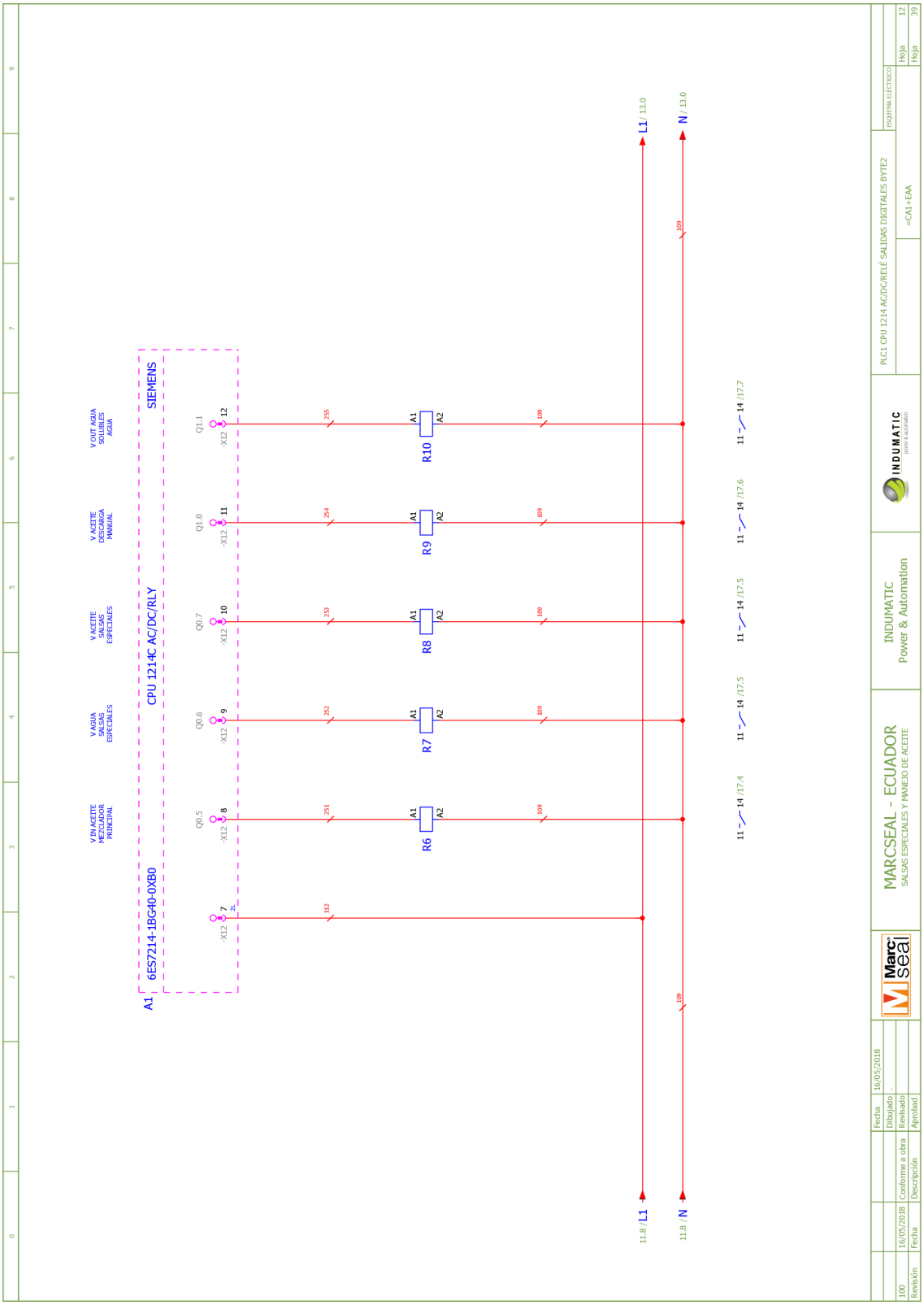


Figura III.16 PLC 1214 Salidas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

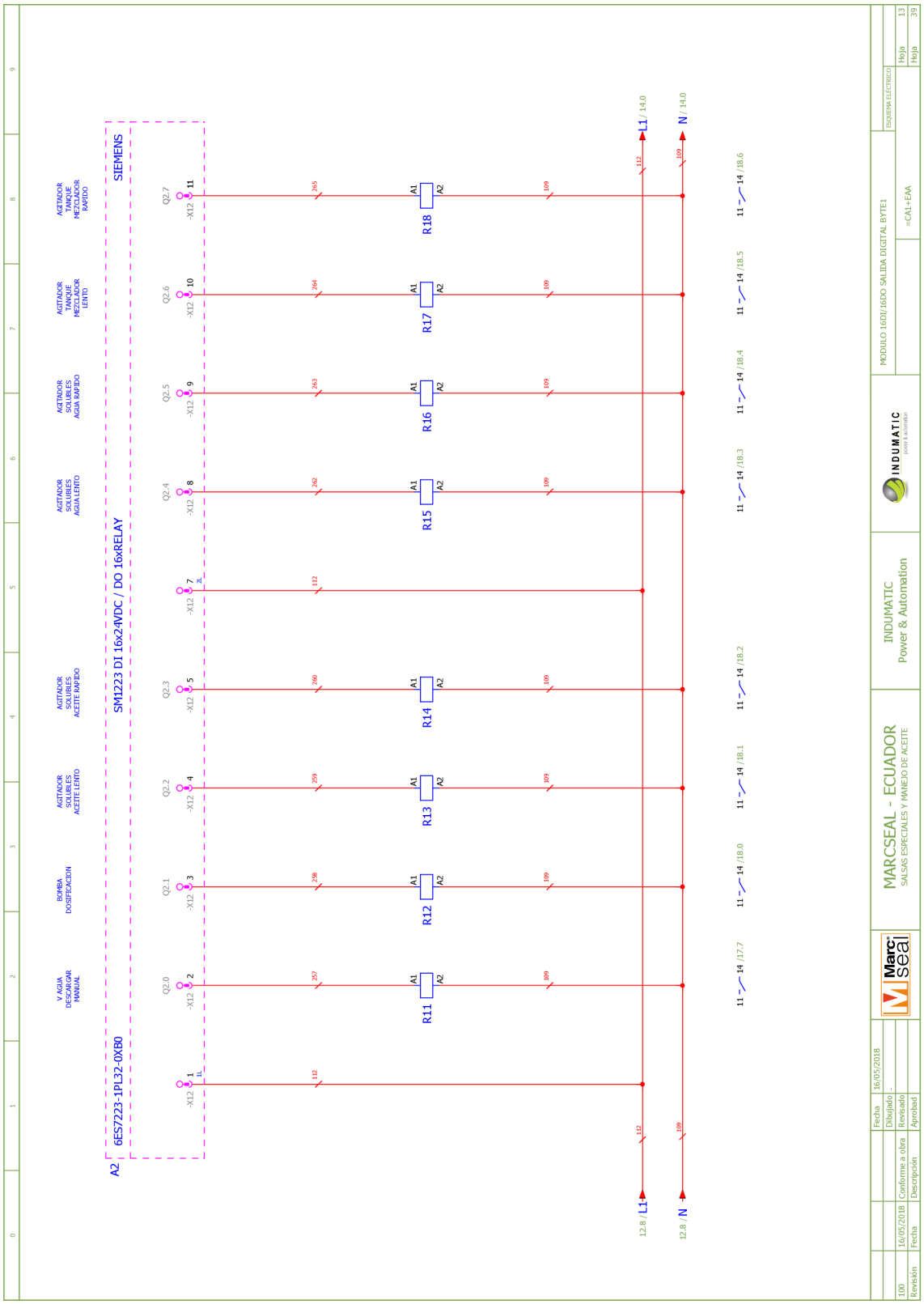


Figura III.17 Módulo 16DI/16DO Salidas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

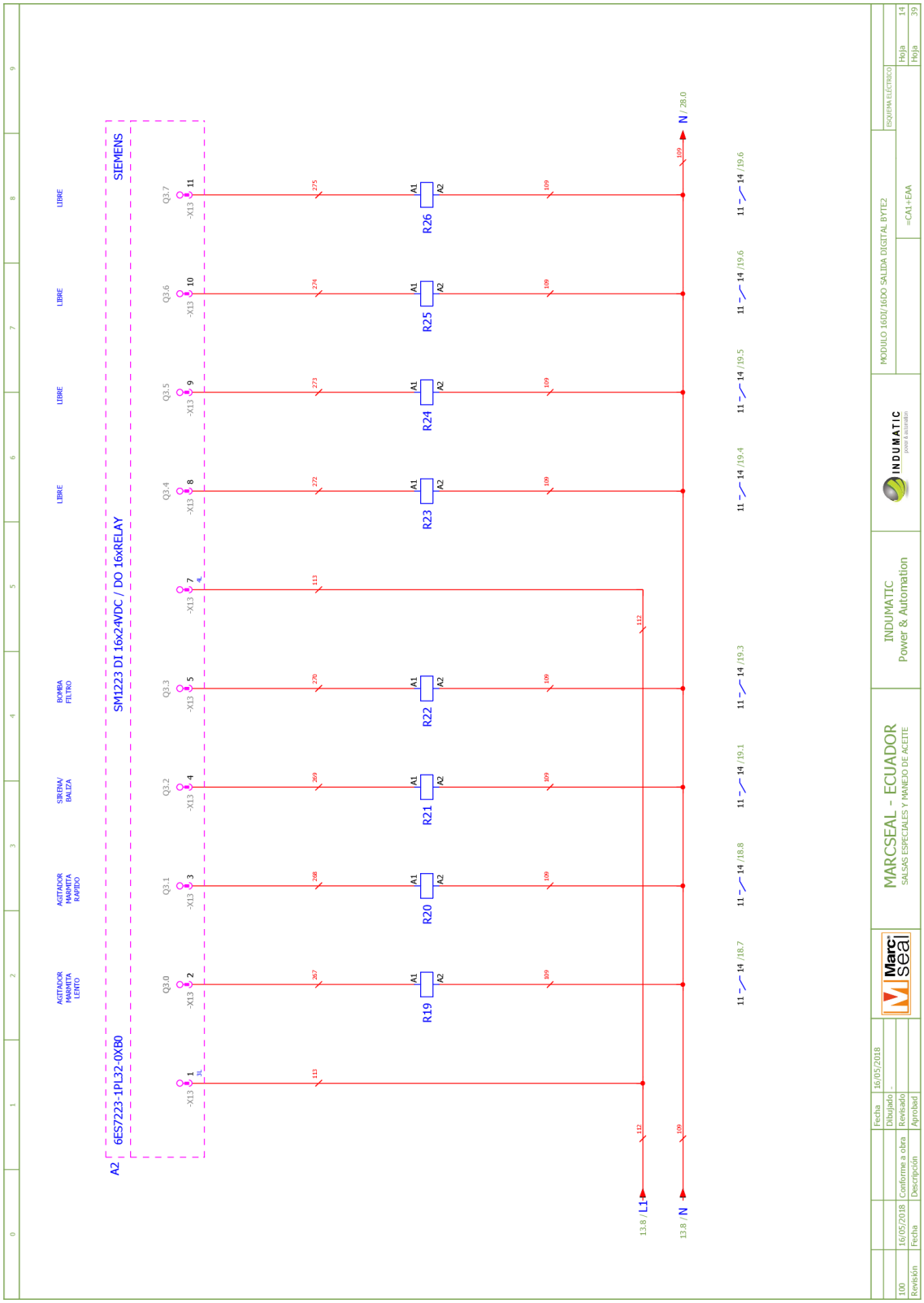


Figura III.18 Módulo 16DI/16DO Salidas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

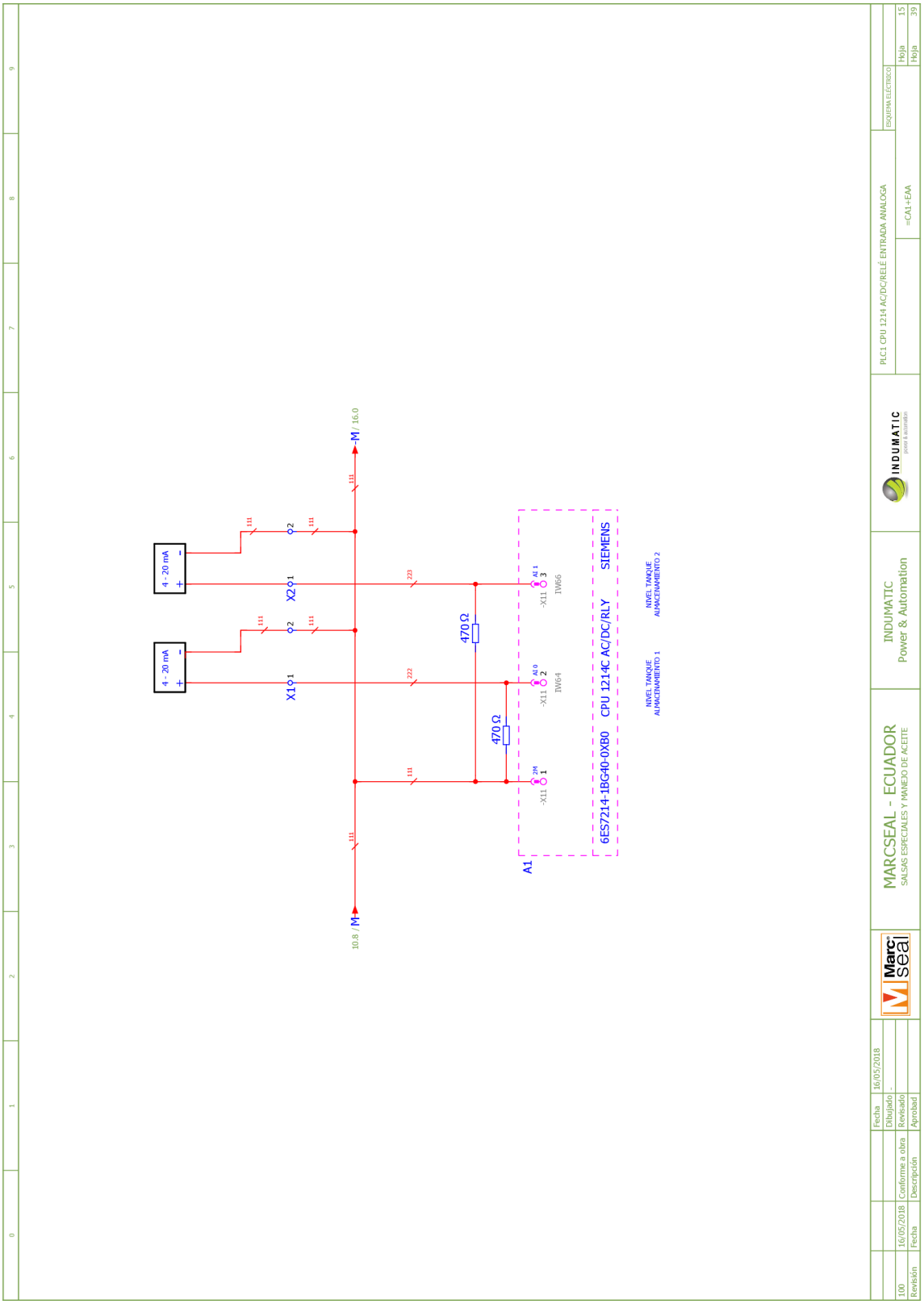


Figura III.19 PLC 1214 Entrada Análoga Tablero Salsas Frías

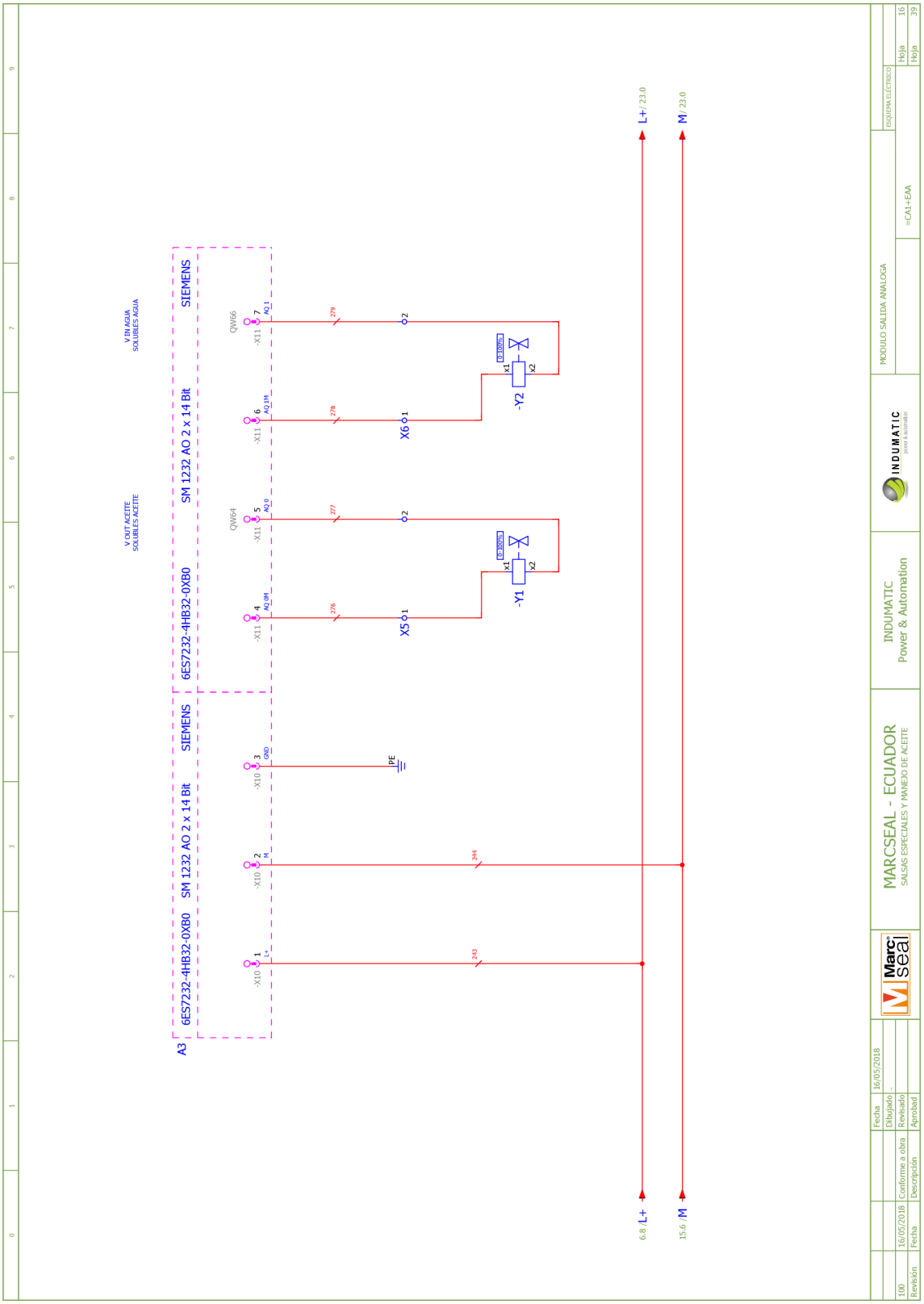


Figura III.20 Módulo Salidas Análogas Tablero Salsas Frías

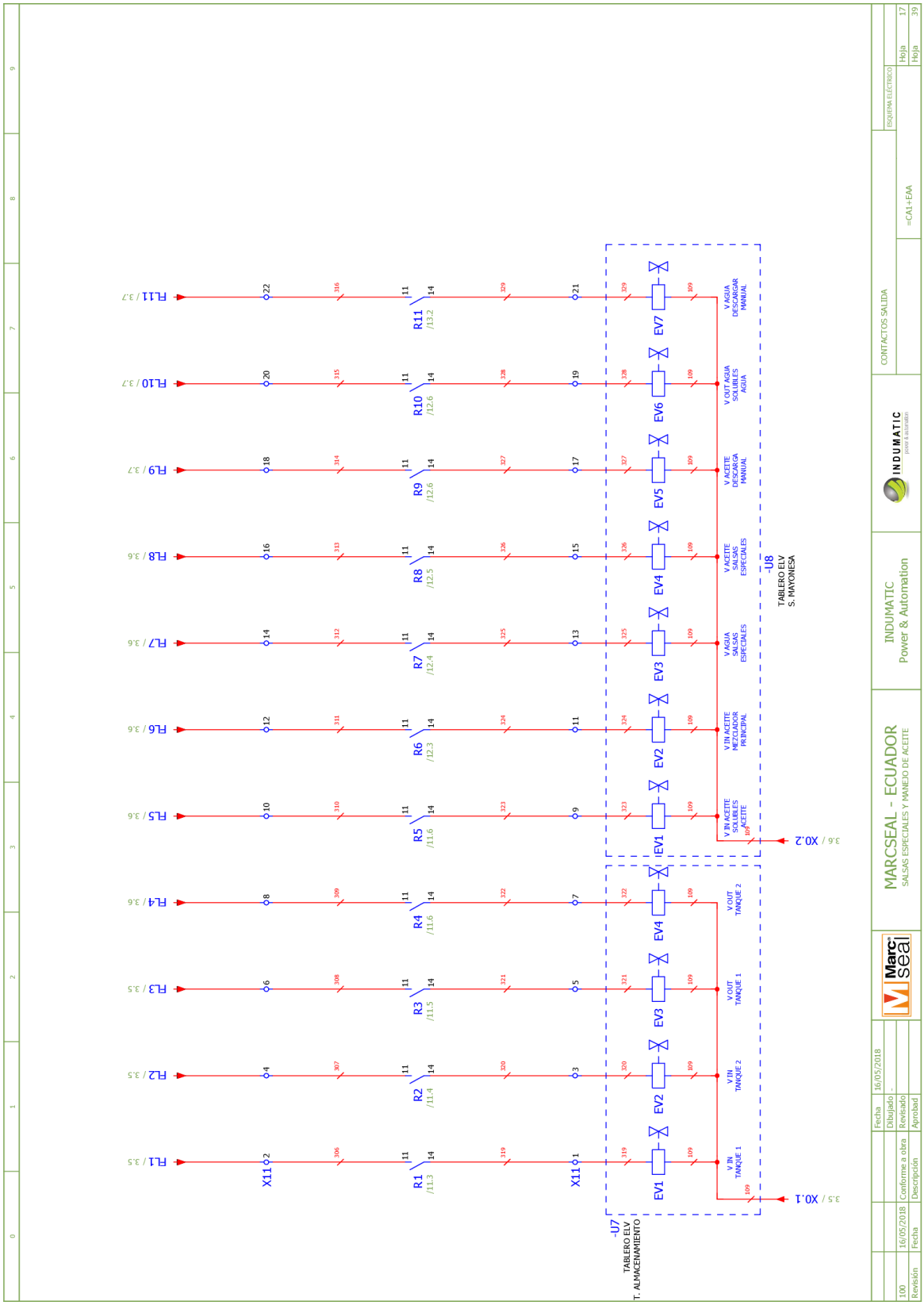


Figura III.21 Contactos Salida Tablero Salsas Frías

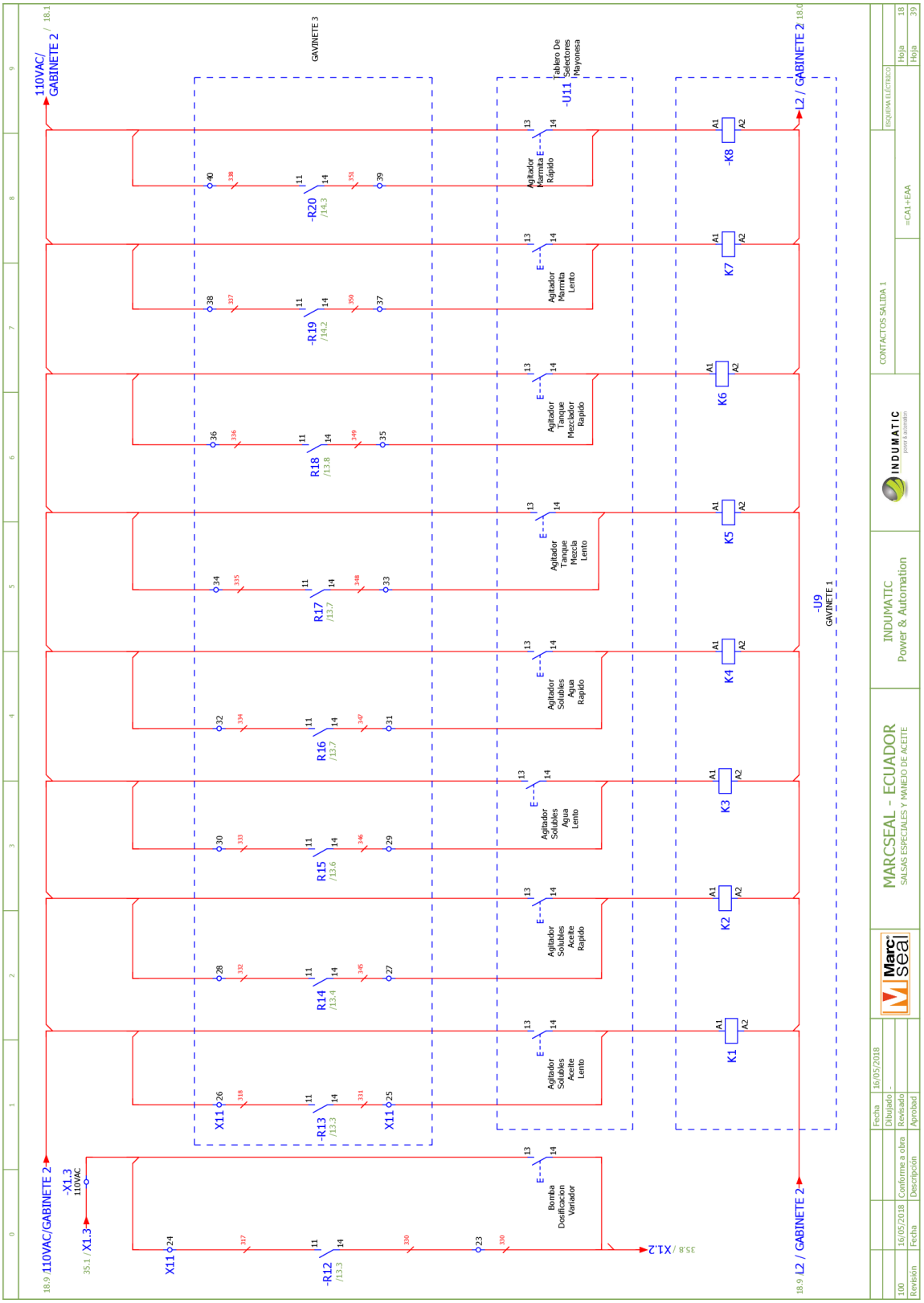


Figura III.22 Contactos Salida 1 Tablero Salsas Frías

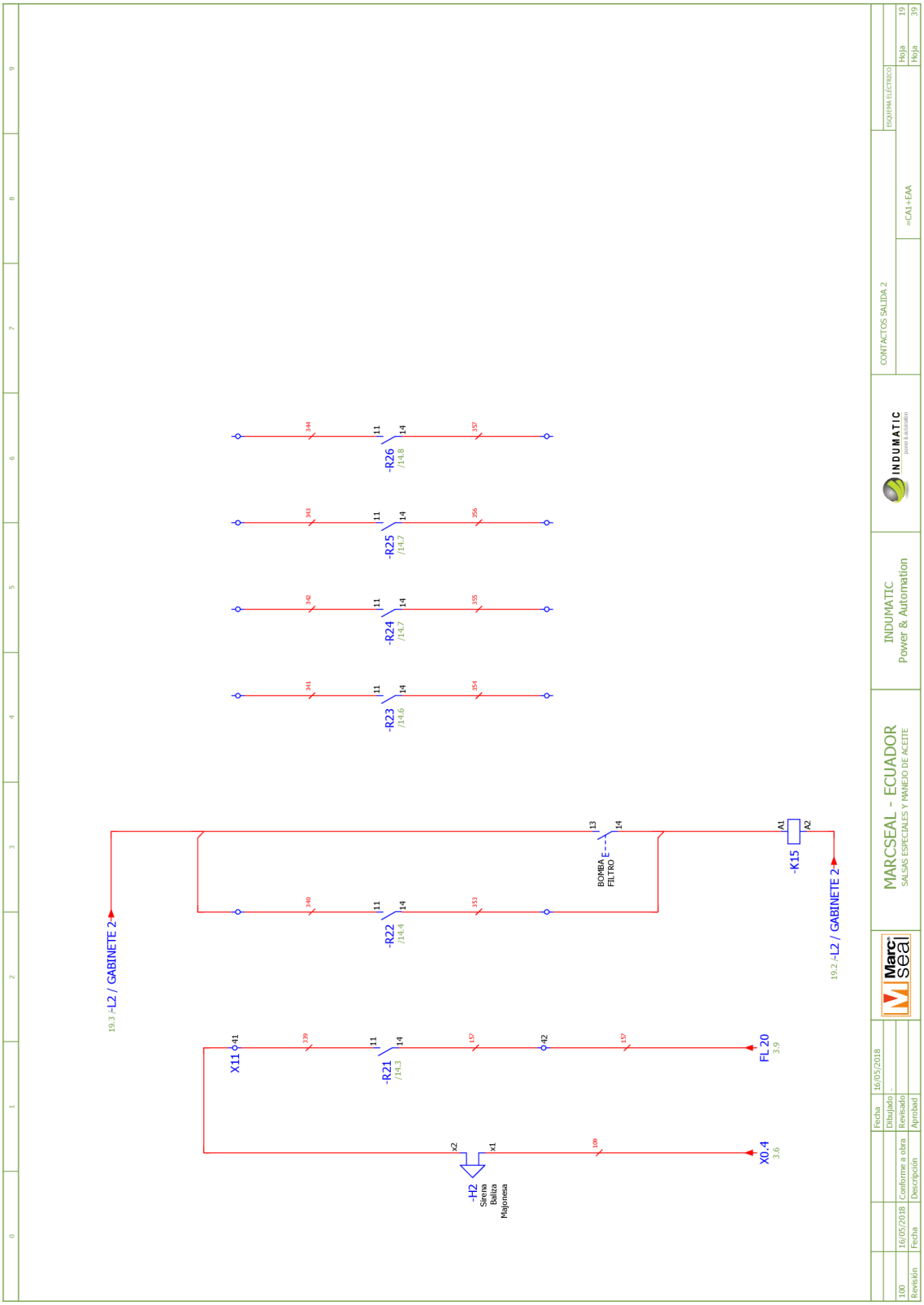


Figura III.23 Contactos Salida 2 Tablero Salsas Frías

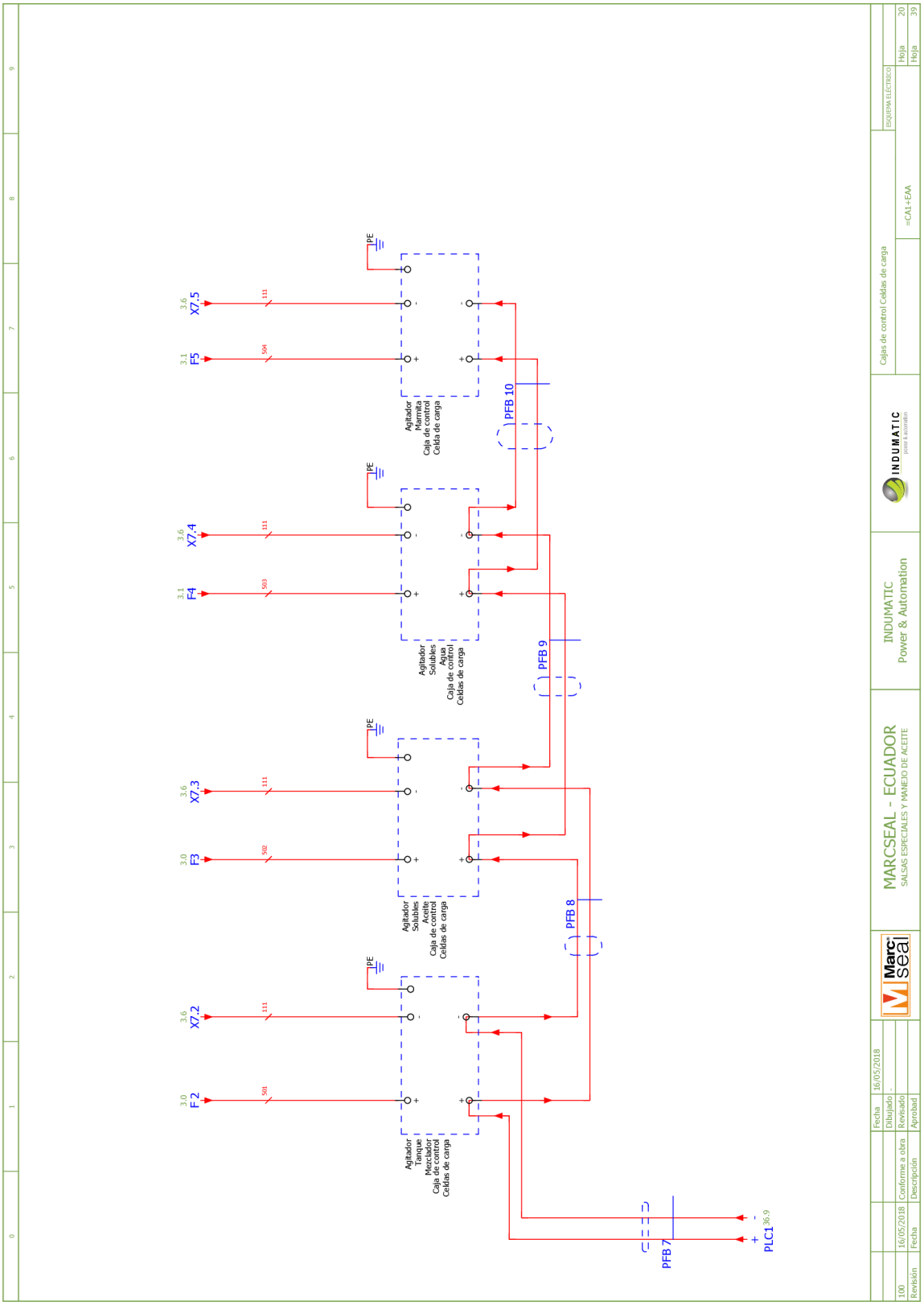


Figura III.24 Caja de control transmisores de peso Tablero Salsas Frías

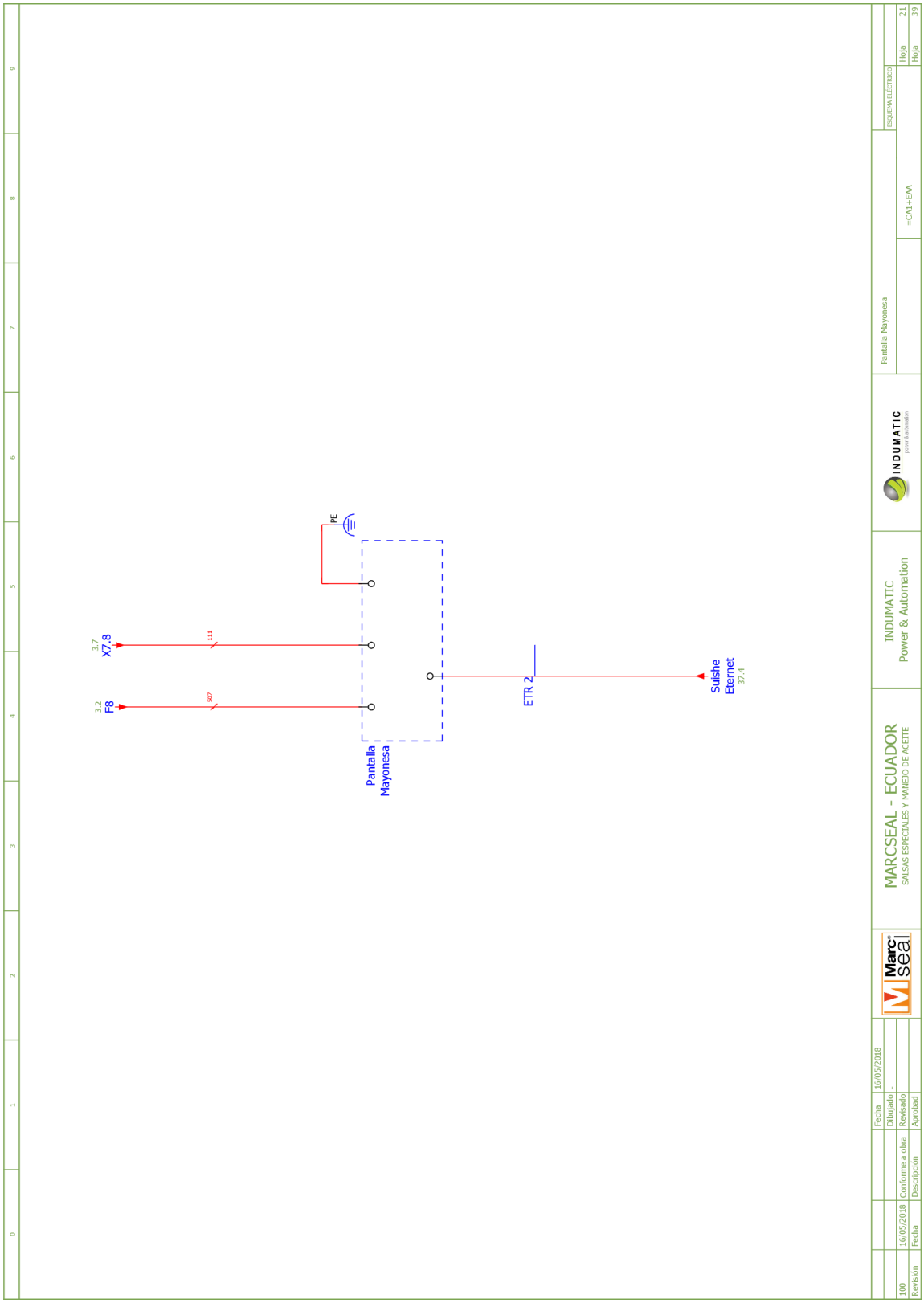


Figura III.25 Pantalla Mayonesa

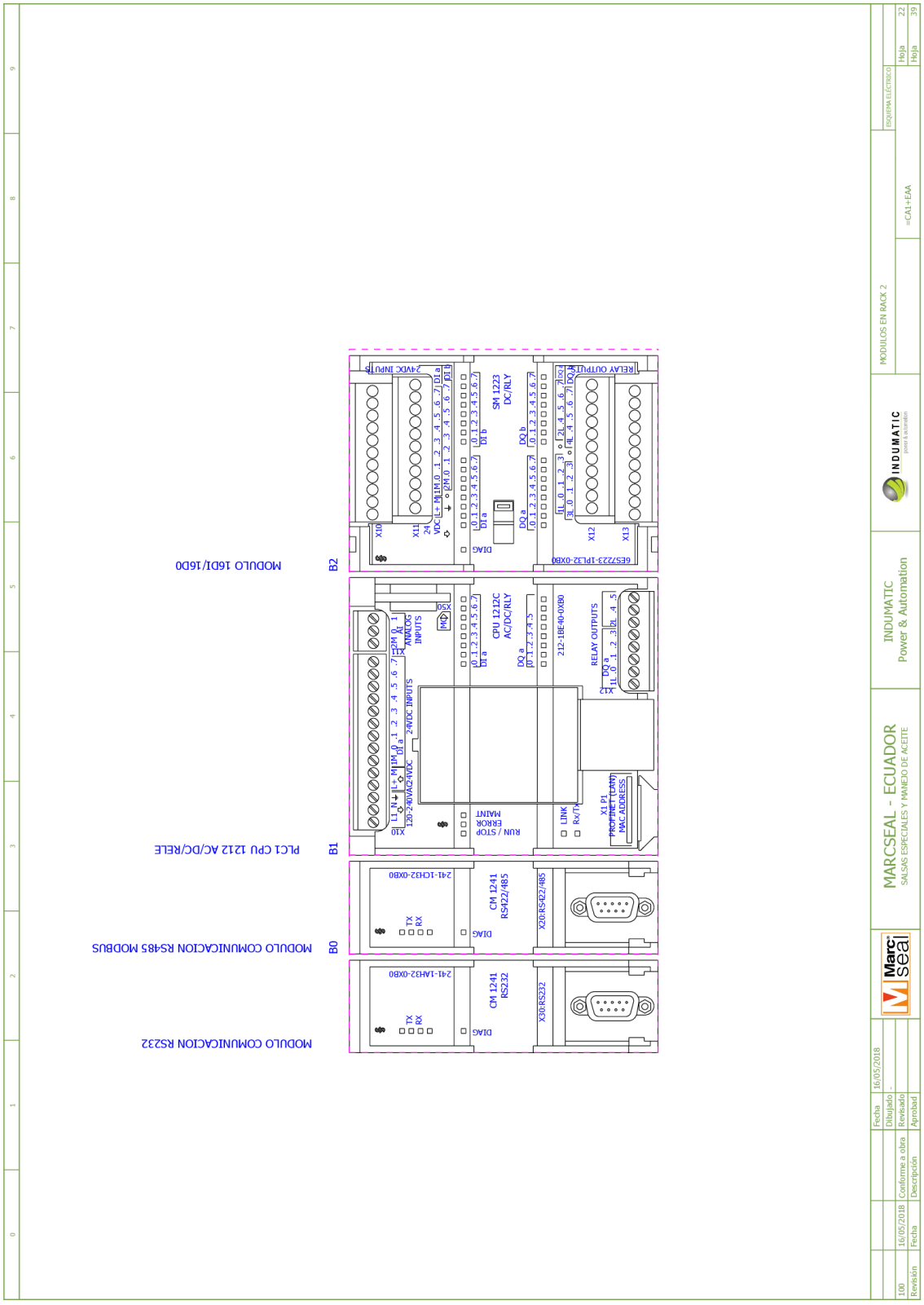


Figura III.26 Módulos en Rack 2 Tablero Salsas Frías

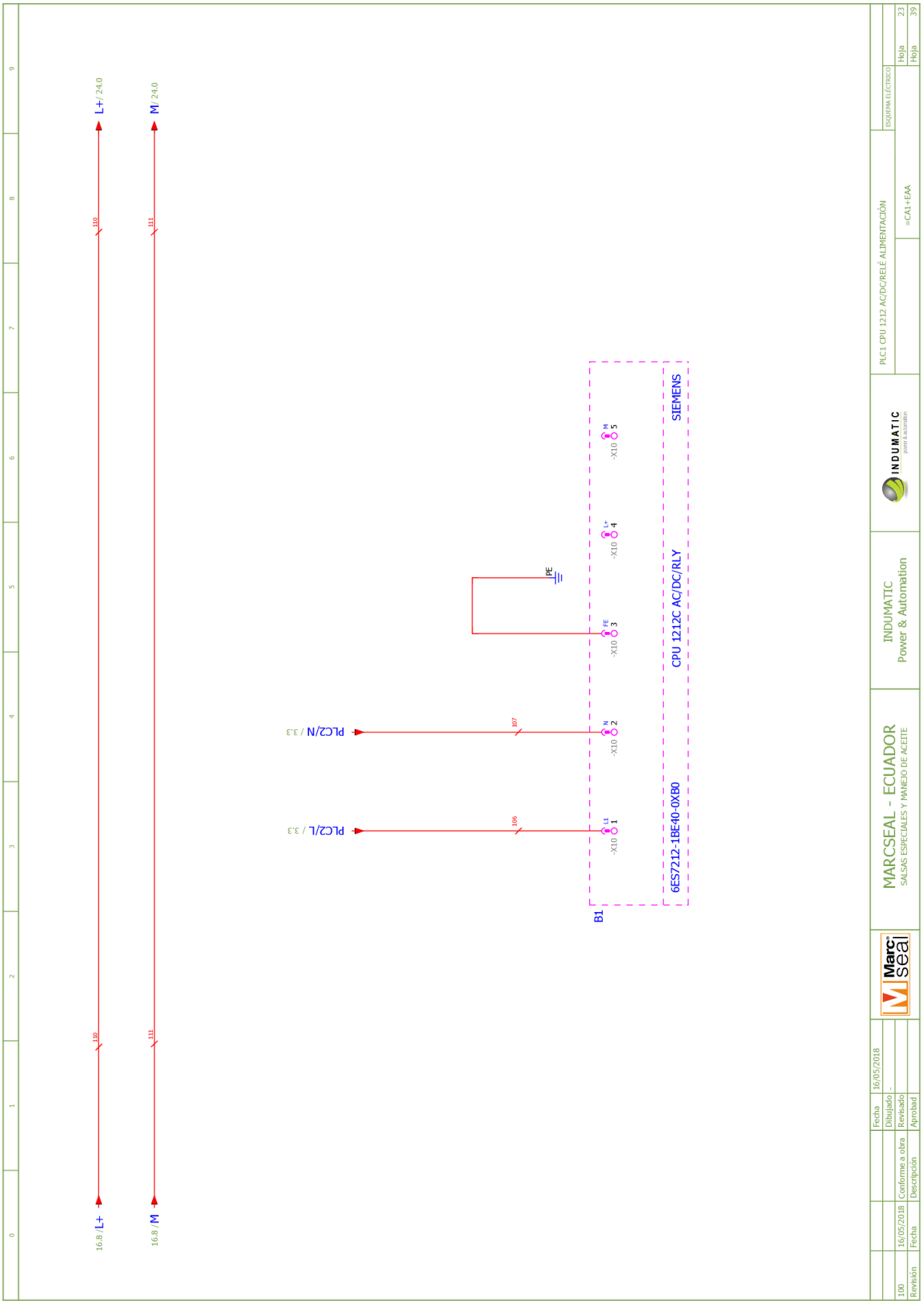


Figura III.27 PLC1 1212 AC/DC/RLY Alimentación Tablero Salsas Frías

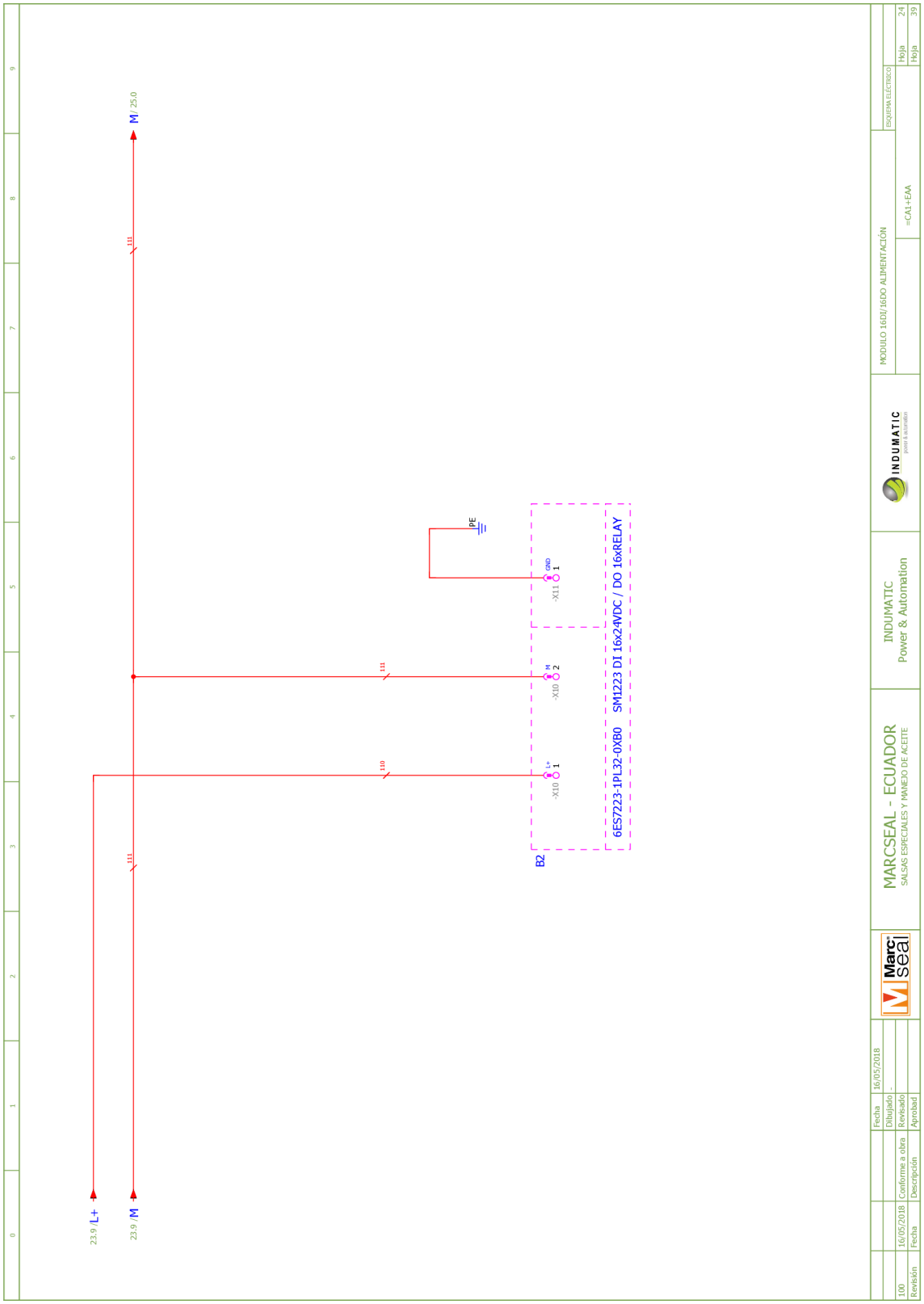


Figura III.28 Módulo 16DI/16DO Alimentación Tablero Salsas Frías

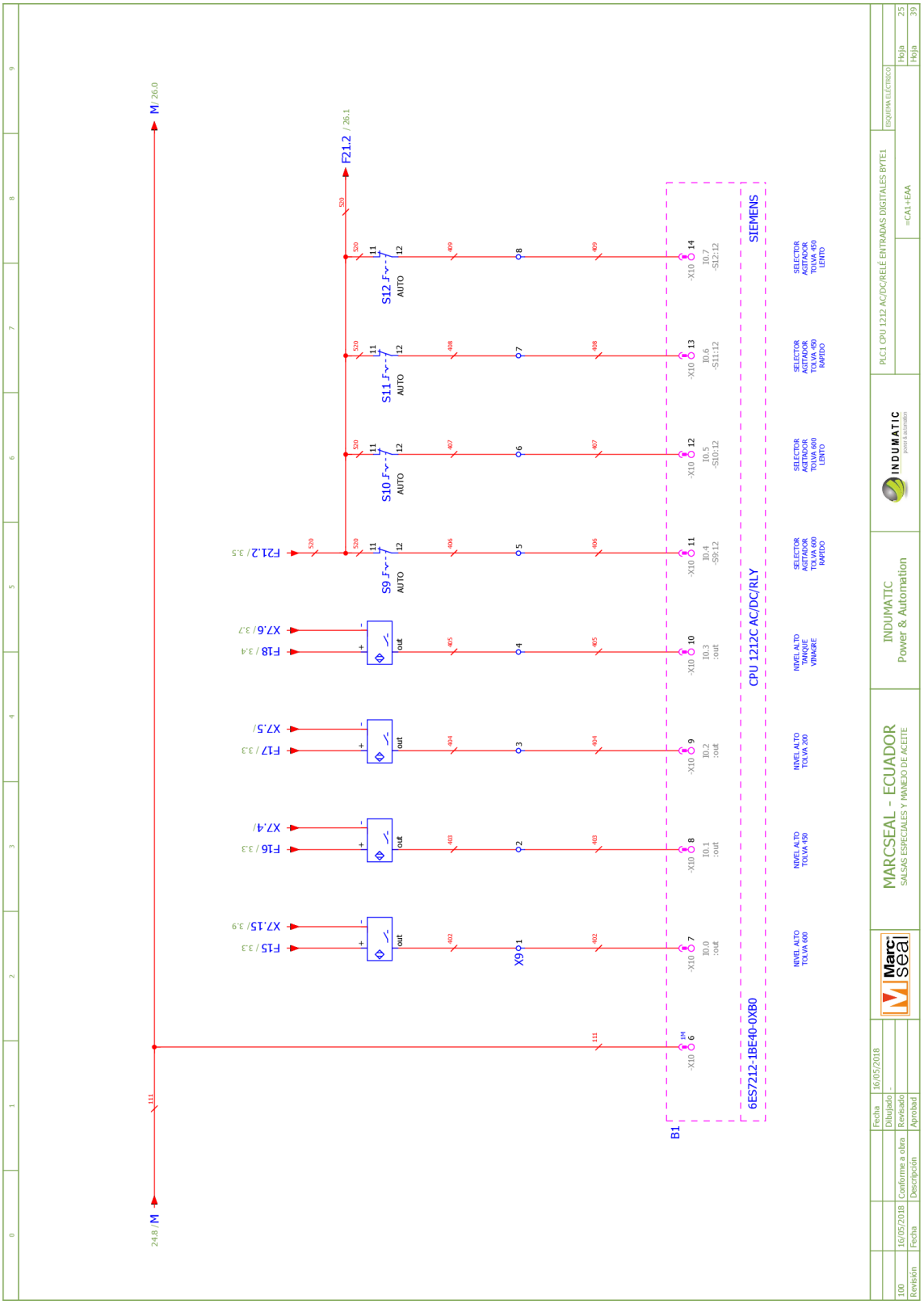


Figura III.29 PLC1 1212 Entradas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

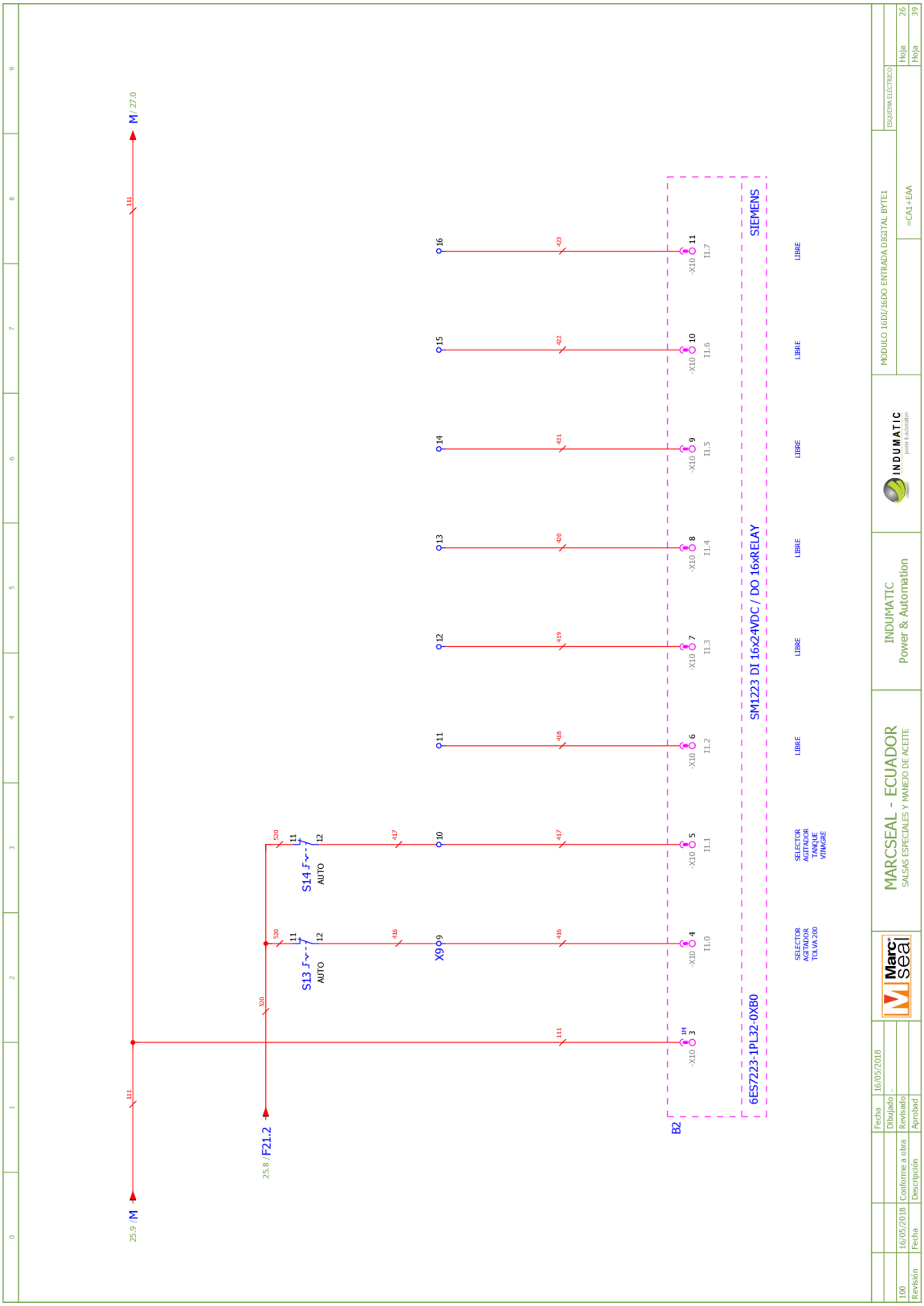


Figura III.30 Módulo 16DI/16DO Entradas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

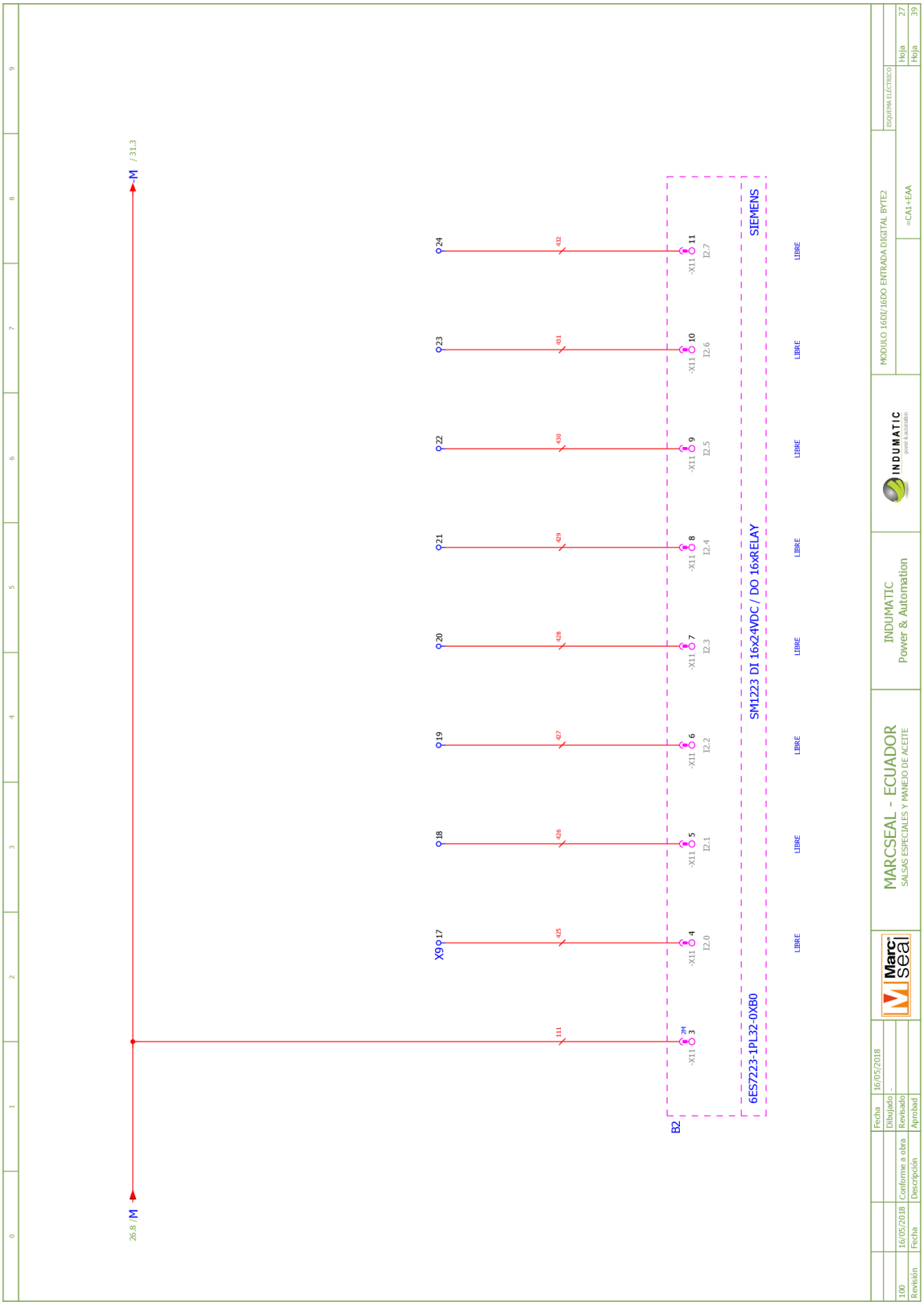


Figura III.31 Módulo 16DI/16DO Entradas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

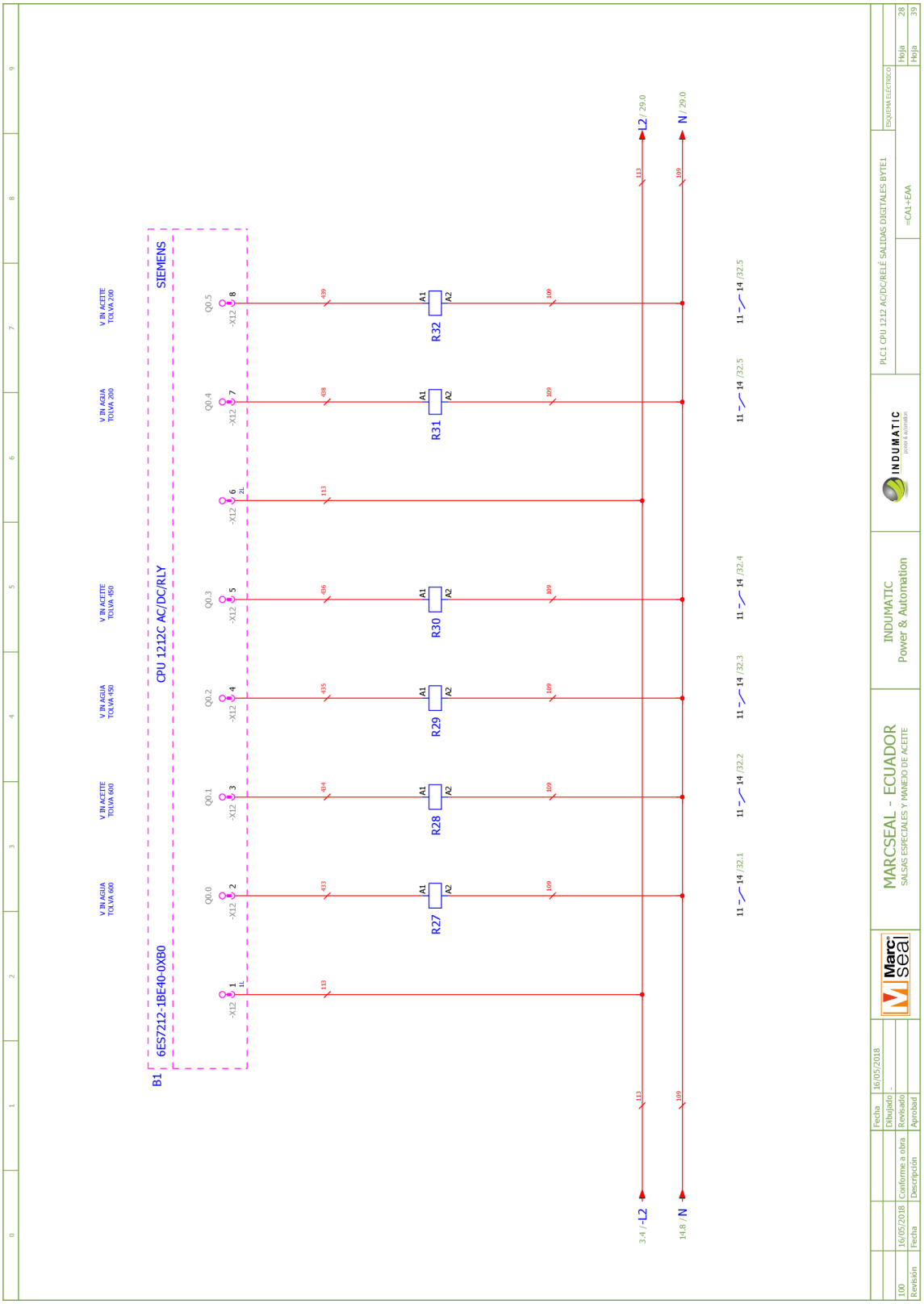


Figura III.32 PLC1 1212 Salidas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

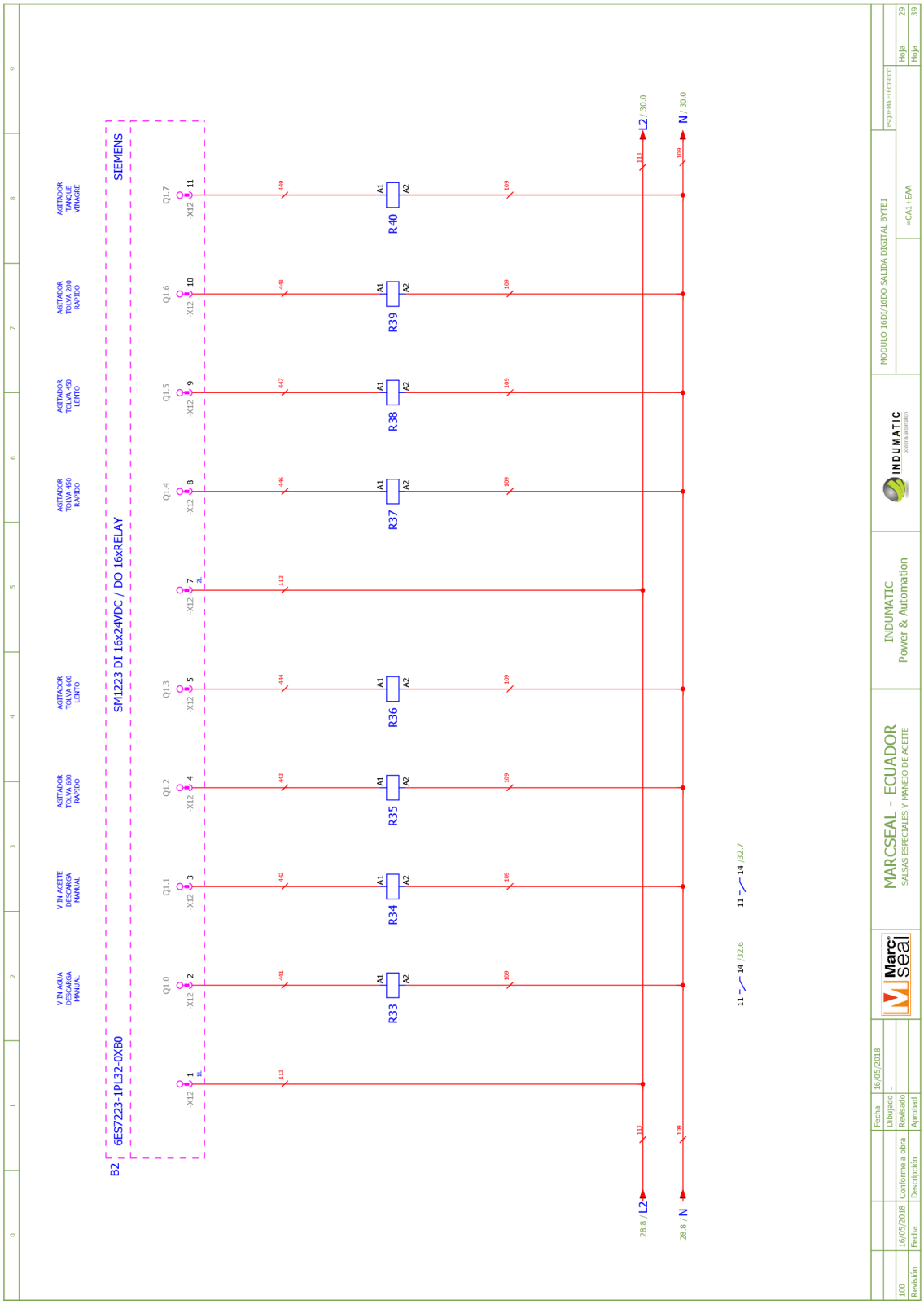


Figura III.33 Módulo 16DI/16DO Salidas Digitales Byte 1 Tablero Salsas Frías

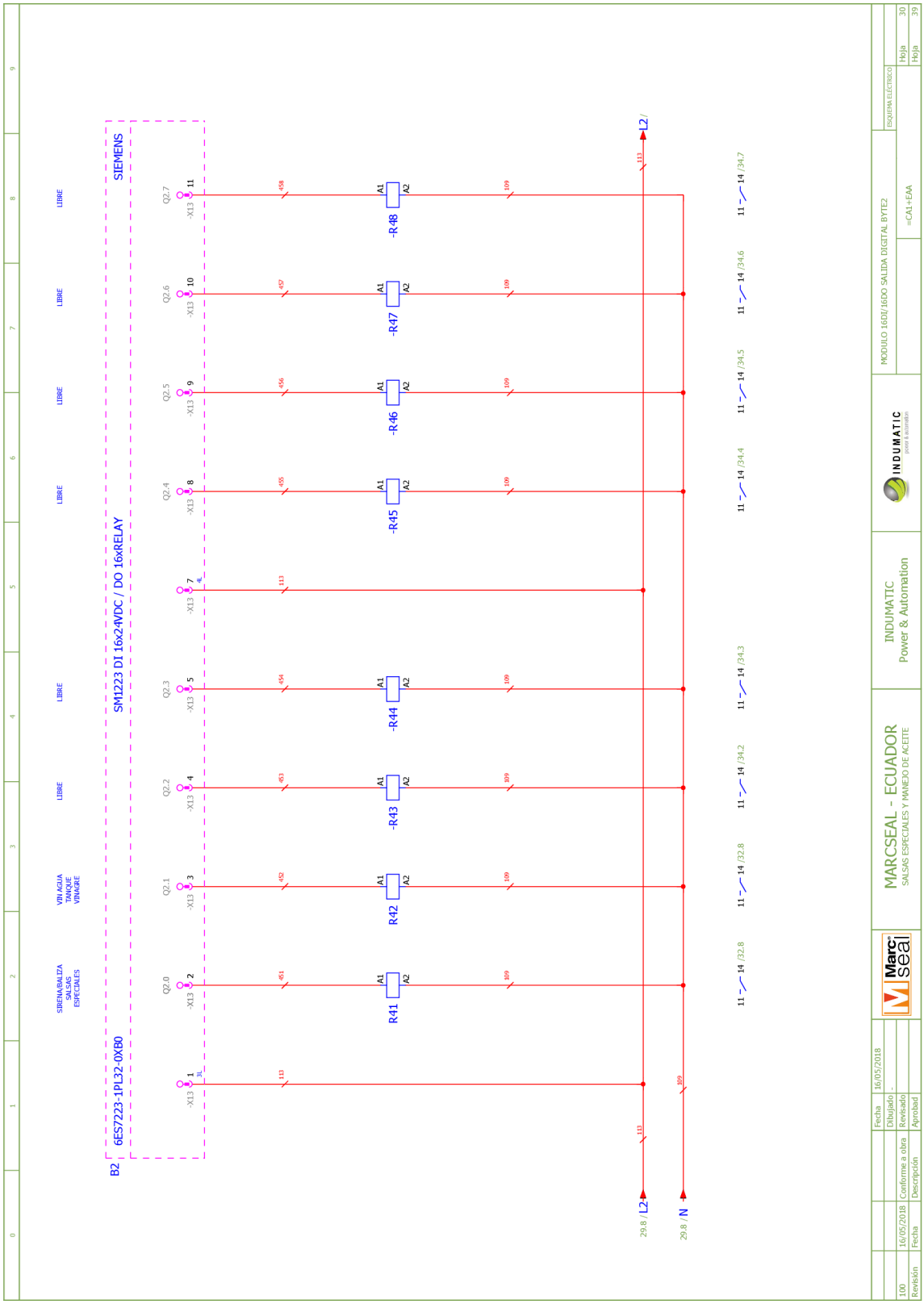


Figura III.34 Módulo 16DI/16DO Salidas Digitales Byte 2 Tablero Salsas Frías

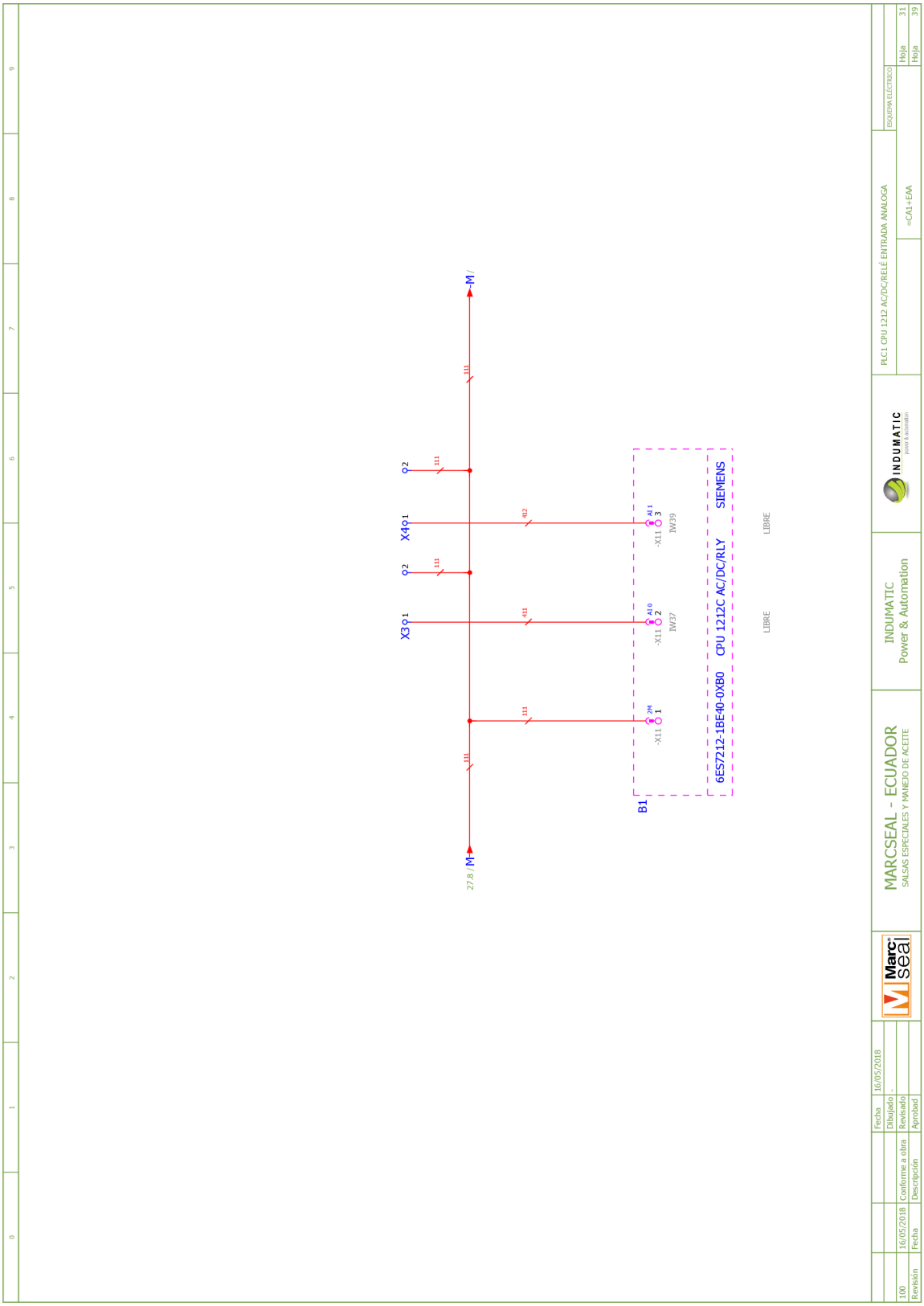


Figura III.35 PLC1 1212 Entrada Análoga Tablero Salsas Frías

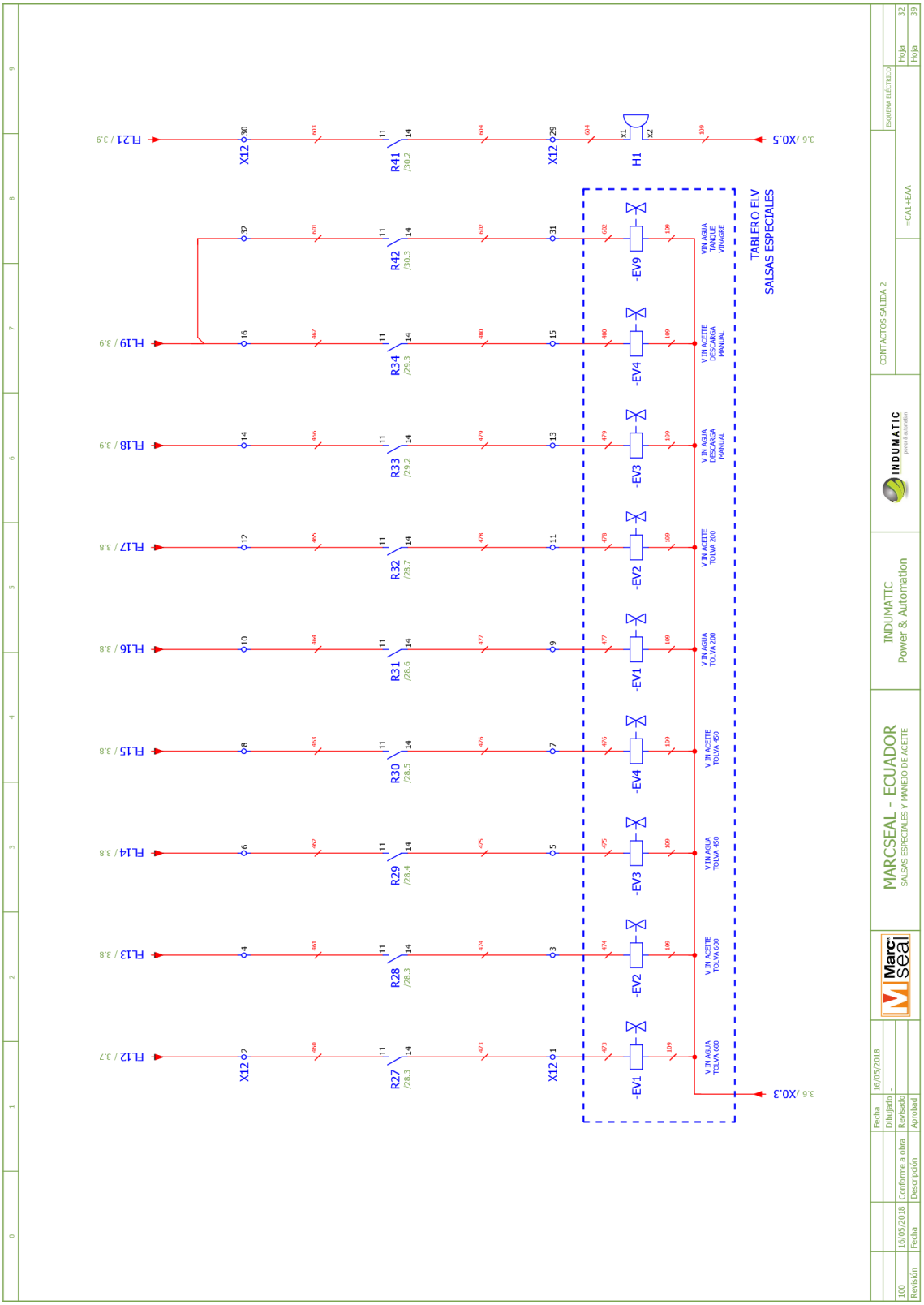


Figura III.36 Contactos Salida 2 Tablero Salsas Frías

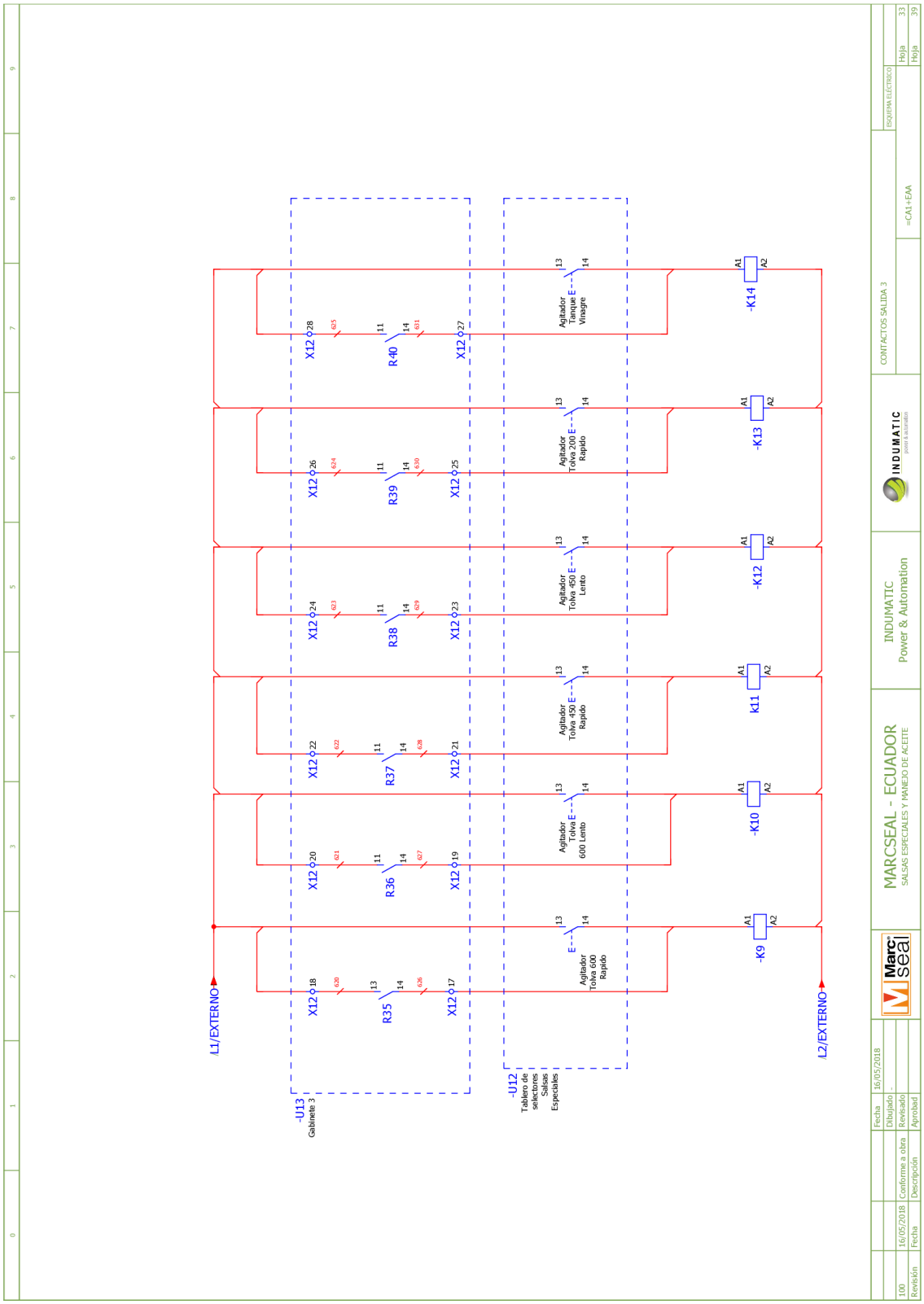


Figura III.37 Contactos Salida 3 Tablero Salsas Frías

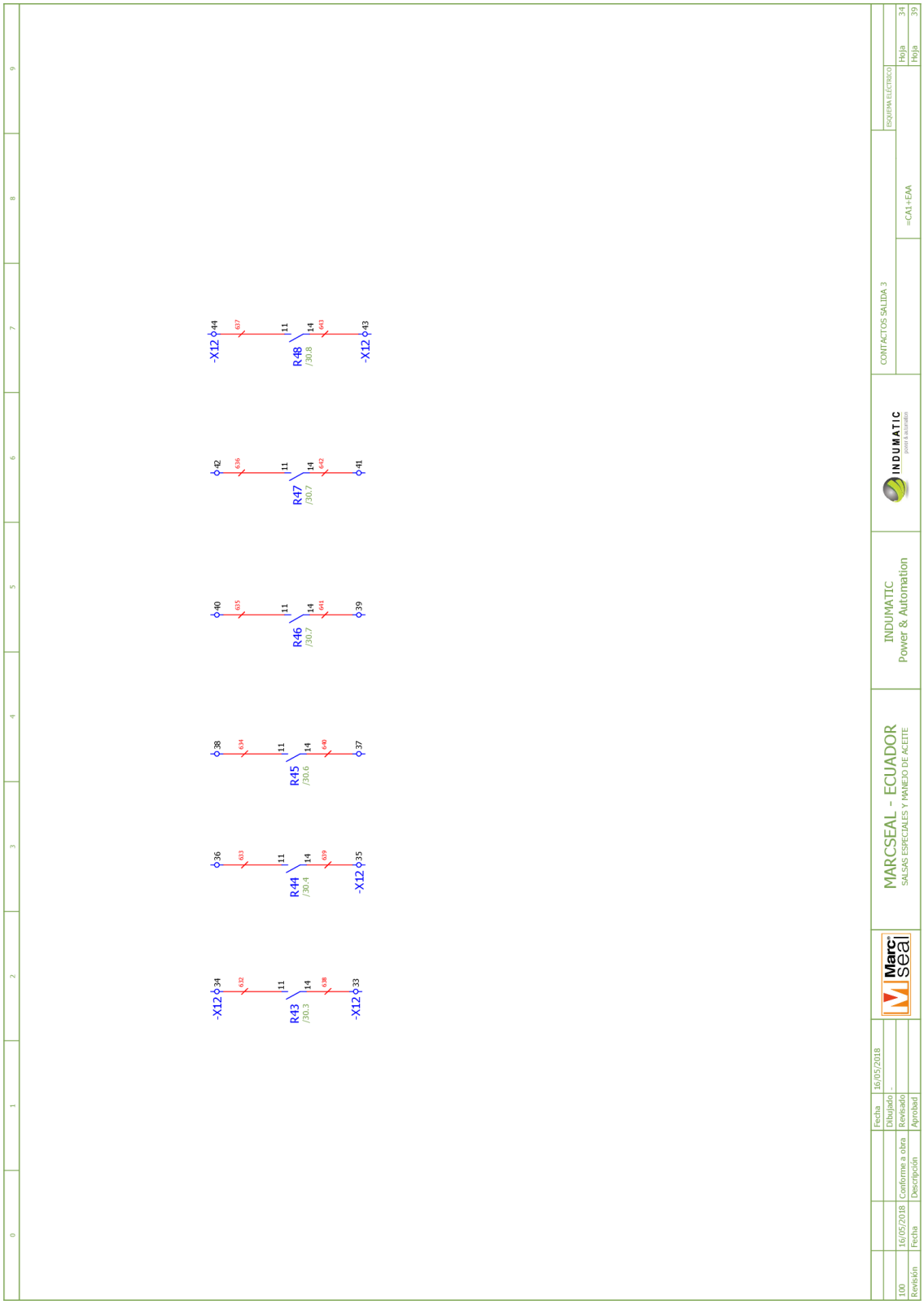


Figura III.38 Contactos Salida 3.2 Tablero Salsas Frías

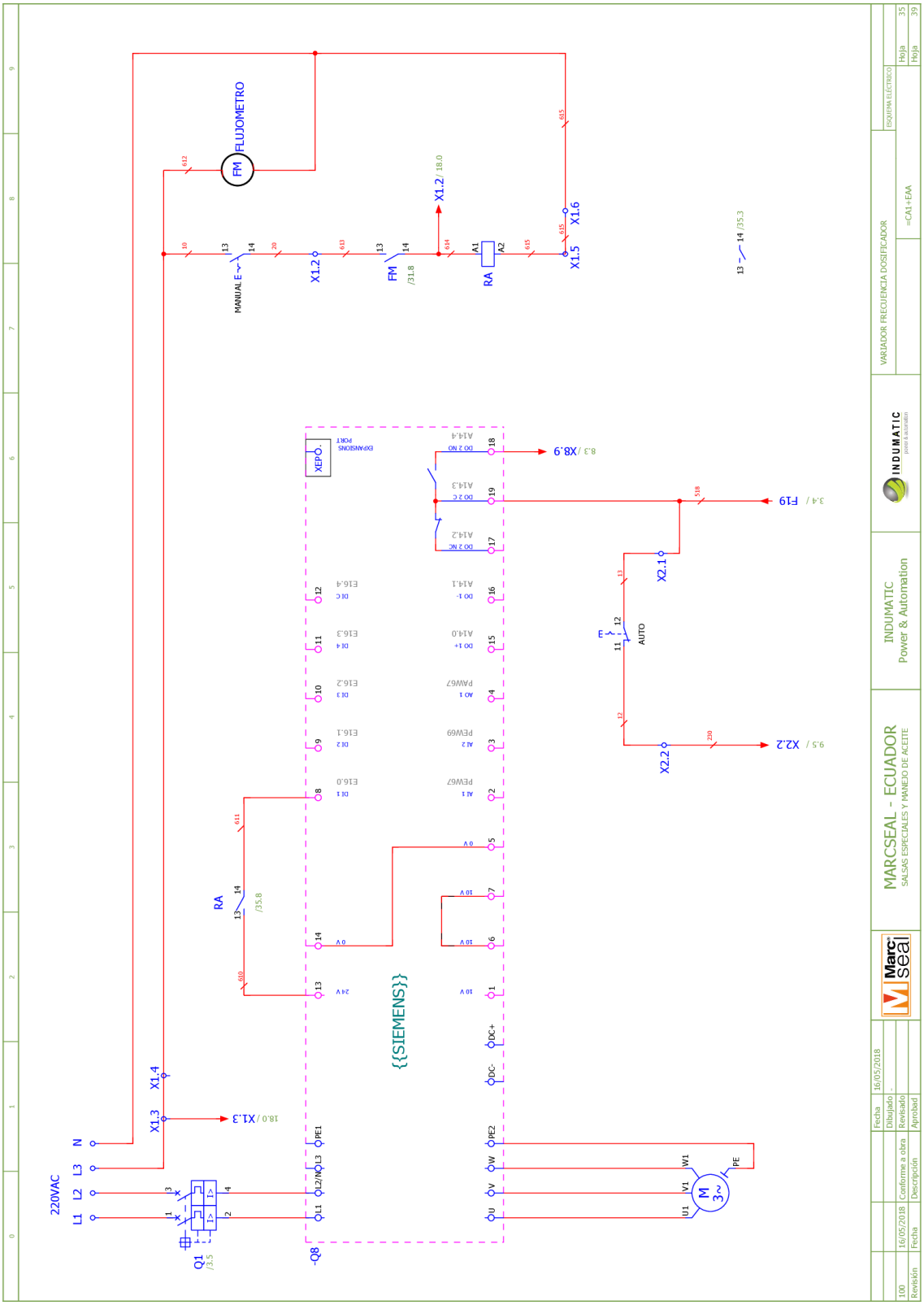


Figura III.39 Variador de Frecuencia Dosificador Tablero Salsas Frías

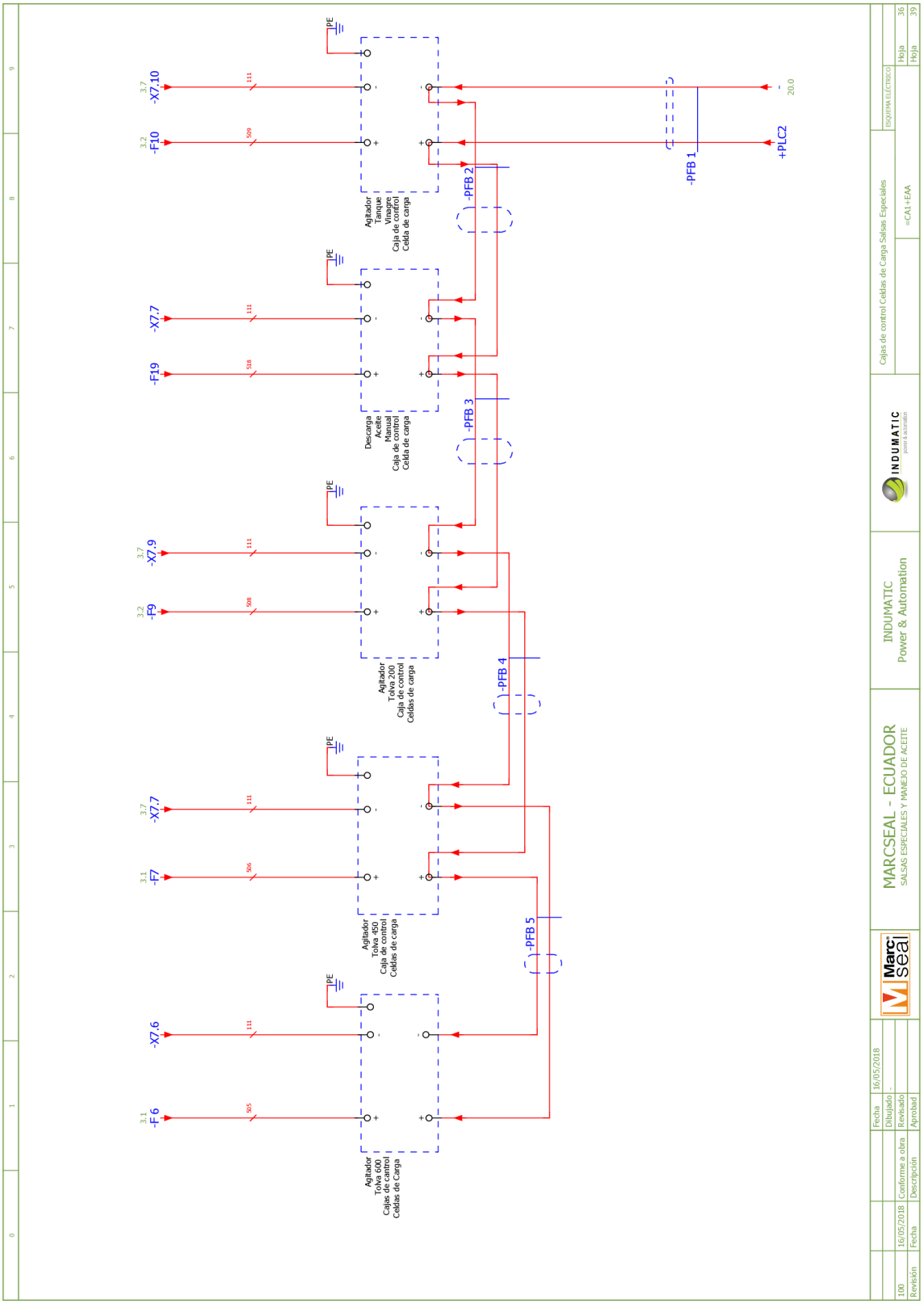


Figura III.40 Caja de control celdas de carga salsas especiales Tablero Salsas Frías

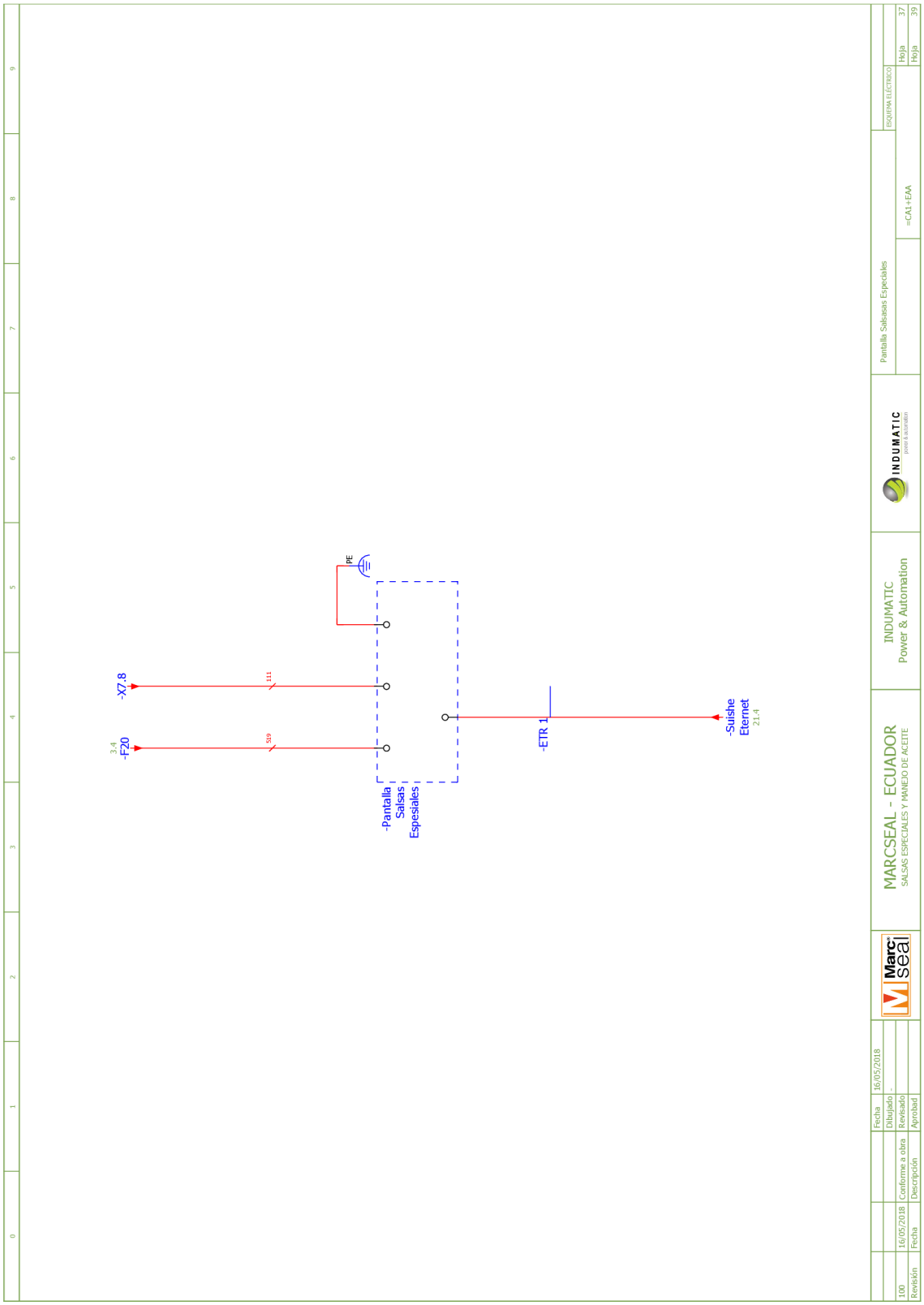


Figura III.41 Pantalla Salsas Especiales

ANEXO IV

Tabla IV.1 Proforma del proyecto de automatización

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNIT. US$	V. TOTAL US$
	ETAPA DE RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ACEITE: CONTROL DE PESO CON CELDAS DE CARGA		
1	TANQUE PARA ACEITE EN AISI304 INDUSTRIAL CAP: 32.000 KG CILÍNDRICO HORIZONTAL DIAM: 2720 X L: 6600 MM TAPAS CÓNICAS, MAHOLE SUPERIOR Y VENTEO CONEXIONES SANITARIAS 2" DOS BASES TIPO SILLA EN ACERO AL CARBONO PARA APOYO SOBRE SISTEMA DE PESAJE NO INCLUYE TRANSPORTE, NI MONTAJES Y DESMONTAJES EN SITIO ENTREGA SOBRE CAMIÓN EN BODEGA INTERMAQ, NO INCLUYE EQUIPO DE TRANSPORTE Y GRÚA PARA MONTAJE EN PLANTA DEL CLIENTE	18,250.00	18,250.00
1	SISTEMA DE PESAJE PARA TANQUE DE ACEITE 3 CELDAS DE CARGA DE BAJO PERFIL 15.000 KG 3 MÓDULOS DE CELDAS EN AISI304 1 DISPLAY DE PESO WDESK-L CON SALIDA RS 485 A PLC	5,900.00	5,900.00
1	MONTAJE, CALIBRACIÓN EN PLANTA MARCSEAL DEL SISTEMA DE PESAJE	900.00	900.00
1	TABLERO CON PLC SIEMENS S7 1200 Y PANTALLA SIEMENS PARA VISUALIZACIÓN DE NIVEL Y STOCKS EN TANQUE DE RECEPCIÓN CON MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS	2,000.00	2,000.00
4	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 2" (4 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA RECEPCIÓN ACEITE	460.00	1,840.00
2	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 2" (2 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA RECEPCIÓN ACEITE TANQUES DE ALMACENAMIENTO SUPERIORES	460.00	920.00
2	TABLERO NEUMÁTICO CON 4 / 4 VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS 3/2 24 V SOBRE MANIFOLD SMC O SIMILAR PARA ACTUADORES DE VÁLVULAS	1,250.00	2,500.00

2	SENSOR DE NIVEL TIPO HIDROSTÁTICO PARA TANQUES SUPERIORES	550.00	1,100.00
	ETAPA DE AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN PREPARACIÓN DE SALSAS MEDIANTE CELDAS DE CARGA		
	DOSIFICACIÓN SALSAS ESPECIALES		
1	MEZCLADOR SALSAS ESPECIALES: 4 CELDAS DE CARGA FTP INOX IP68 Y SOPORTES ANTIVIBRACIÓN INOX CAP. TOTAL 900 KG TRANSMISOR DE PESO CLM8 MODBUS EN CAJA INOXIDABLE IP67 FUENTE DE PODER 12 VDC REGULADA 220 VAC	2,725.00	2,725.00
1	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 2” (2 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE AGUA	460.00	460.00
1	ADAPTACIÓN DE PATAS DE TANQUES PARA INSTALACIÓN DE CELDAS	200.00	200.00
1	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 1,5" (4 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE ACEITE	390.00	390.00
1	TABLERO CON PANTALLA TÁCTIL 7" SIEMENS KTP PARA OPERADORES: ESCOGER RECETAS, OPERACIONES AUTOMÁTICAS Y MANUALES	1,500.00	1,500.00
1	TABLERO NEUMÁTICO CON 3 VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS 3/2 24 V SOBRE MANIFOLD SMC O SIMILAR PARA ACTUADORES DE VÁLVULAS	1,250.00	1,250.00
	DOSIFICACIÓN PREPARACIÓN DE MAYONESA		
1	MEZCLADOR SOLUBLES AGUA 4 CELDAS DE CARGA FTP INOX IP68 Y SOPORTES ANTIVIBRACIÓN INOX CAP. TOTAL 900 KG TRANSMISOR DE PESO CLM8 MODBUS FUENTE DE PODER 12 VDC REGULADA 220 VAC	2,725.00	2,725.00

1	MEZCLADOR SOLUBLES EN ACEITE 4 CELDAS DE CARGA FTP INOX IP68 Y SOPORTES ANTIVIBRACIÓN INOX CP. TOTAL 900 KG TRANSMISOR DE PESO CLM8 MODBUS FUENTE DE PODER 12 VDC REGULADA 220 VAC	2,725.00	2,725.00
1	MEZCLADOR PRINCIPAL 4 CELDAS DE CARGA FTP INOX IP68 Y SOPORTES ANTIVIBRACIÓN INOX CAP. TOTAL 2700 KG TRANSMISOR DE PESO CLM8 MODBUS FUENTE DE PODER 12 VDC REGULADA 220 VAC	3,065.00	3,065.00
3	ADAPTACIÓN DE PATAS DE TANQUES PARA INSTALACIÓN DE CELDAS	200.00	600.00
1	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 2” (2 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE AGUA	460.00	460.00
3	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 1,5" (4 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE ACEITE	390.00	1,170.00
2	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 1,5" (2) UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE ACEITE (SALIDA TANQUES SUPERIORES)	390.00	780.00
3	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACT. NEU 2" CLAMP (2 UND) AISI 304 PROPORCIONALES 0-100% 4-20 mA	987.00	2,961.00
1	MONTAJE E INSTALACIÓN DE CELDAS DE PESAJE, TRANSMISOR, CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA EN QUITO (4 SISTEMA DE PESO). SE INCLUYE CABLE DE TRANSMISIÓN DE DATOS BLINDADO HASTA 6 METROS.	2,725.00	2,725.00
1	TABLERO NEUMÁTICO CON 5 VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS 3/2 24 V SOBRE MANIFOLD SMC O SIMILAR PARA ACTUADORES DE VÁLVULAS	1,250.00	1,250.00
1	TABLERO DE CONTROL CON PLC SIEMENS S7 1200 14 ENTRADAS 10 SALIDAS, 2 ENTRADAS ANÁLOGAS, CON UN MODULO DE COMUNICACIÓN MODBUS RS 485, UN MODULO DE EXPANSIÓN 16 ENTRADAS, 16 SALIDAS, JUEGO DE BORNERAS, SWITCH ETHERNET SIEMENS, FUENTE 24 VDC SIEMENS	2,200.00	2,200.00

1	TABLERO CON PANTALLA TÁCTIL 7" SIEMENS KTP PARA OPERADORES: ESCOGER RECETAS, OPERACIONES AUTOMÁTICAS Y MANUALES	1,500.00	1,500.00
1	TABLERO CON VARIADOR DE FRECUENCIA 10 HP, 220 V, CON BREAKER DE PROTECCIÓN	2,150.00	2,150.00
1	LICENCIA 512 TAGS SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL WINCC RT ADVANCED SIEMENS	3,218.00	3,218.00
1	PROGRAMACIÓN DE PLC, PANTALLAS Y PC DE CLIENTE PARA ENTREGA DE DATOS, NO SE SUMINISTRA PC	2,500.00	2,500.00
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE COMUNICACIÓN DE SEÑALES DE PESOS Y PANTALLAS INCLUYE CONECTORES Y TUBERÍA	2,300.00	2,300.00
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE CONTROL PARA ACCIONAMIENTOS DE VÁLVULAS DE CONTROL	1,300.00	1,300.00
1	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA: PLANOS, PROGRAMAS DESARROLLADOS, MANUALES	500.00	500.00
1	MONTAJE DE VÁLVULAS, ACOPLES Y TUBERÍAS, ACCESORIOS Y MATERIAL MENUDO	5,000.00	5,000.00
16	MONTAJE NEUMÁTICO DE TABLEROS Y VÁLVULAS	30.00	480.00
1	MÓDULO DE COMUNICACIÓN RS-232 (PARA LECTURA DE CÓDIGO DE BARRAS Y DESCARGA DE INVENTARIO)	270.00	270.00
	SEGURIDADES ADICIONALES		
6	SENSORES DE NIVEL ALTO/BAJO PARA SEGURIDAD DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y TANQUE DE RECEPCIÓN DE ACEITE	439.00	2,634.00
	CONTROL DE MOTORES AGITADORES EN TANQUES DE PREMEZCLA Y MEZCLA PRINCIPAL		
12	SELECTORES CON LLAVE DE 3 POSICIONES PARA FUNCIONAMIENTO MANUAL/AUTOMÁTICO PARA MOTORES AGITADORES	39.23	470.76
	ADICIONALES ACCESORIOS		
3	MANGUERAS SANITARIAS MEZCLADORES 400 mm 2"	60.00	180.00
6	RACORDS MANGUERA SANITARIOS Y SELLADO 2"	70.00	420.00

4	CLAMPS PARA SENSORES PRESIÓN 1-1/2 "	21.00	84.00
4	MONTAJE CLAMPS PARA SENSORES EN TANQUE 1-1/2"	4.00	16.00
3	ADAPTADORES NPT / CLAMP 2" VÁLVULAS AGUA 2"	3.00	9.00
3	TUBOS INOX 2" CON CLAMP 40-60 CM ENTRADAS AGUA	3.00	9.00
1	PLATAFORMA PESAJE 120 KG 40 X 40 CON MONO CELDA	480.00	480.00
1	TRANSMISOR DE PESO CLM8 Y FUENTE DE PODER	546.00	546.00
1	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACT. NEU 1-1/2" CLAMP AISI 304	320.00	320.00
	TANQUES ADICIONALES: COCCIÓN, VINAGRE, TOLVA 400, TOLVA 200		
4	SISTEMAS DE CELDAS DE PESAJE	2,725.00	10,900.00
4	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 2" (2 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE AGUA	460.00	1,840.00
4	ADAPTACIÓN DE PATAS DE TANQUES PARA INSTALACIÓN DE CELDAS	200.00	800.00
4	VÁLVULAS SANITARIAS CON ACTUADOR NEUMÁTICO SE 1,5" (4 UND) EN AISI 304 CONEXIÓN CLAMP. PARA DOSIFICACIÓN DE ACEITE	390.00	1,560.00
2	MÓDULOS ADICIONALES DE 16 ENTRADAS 16 SALIDAS	567.00	1,134.00
1	MEMORY PARA PLC	139.00	139.00
1	ACCESORIOS DE MONTAJE VALVULERÍA TANQUES ADICIONALES, MONTAJES ELÉCTRICOS CABLE SENSORES TODOS LOS TANQUES	5,000.00	5,000.00
16	SENSORES DE NIVEL ALTO BAJO TODOS LOS TANQUES DE PROCESO	439.00	7,024.00
30	CANALETAS Y MONTAJE SOPORTES PARA MANG. AIRE	35.00	1,050.00
		SUBTOTAL	114,429.76
		IVA	13,731.57
		TOTAL	128,161.33

ANEXO V

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN, TRANSFERENCIA Y ALMACENAMIENTO DE ACEITE

V.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de recepción, transferencia y almacenaje de aceite está diseñado para trabajar con 6 modos de funcionamiento.

- Descarga Tanquero – Tanque Nuevo
- Transferencia Tanque Nuevo – Planta
- Descarga Tanquero – Tanque Antiguo
- Transferencia Tanque Nuevo – Tanque Antiguo
- Transferencia Tanque Antiguo – Tanque Nuevo
- Transferencia Tanque Antiguo – Planta

El diagrama del sistema se muestra en la Figura V.1., y cuenta con los elementos y equipos descritos en la Tabla V.1.

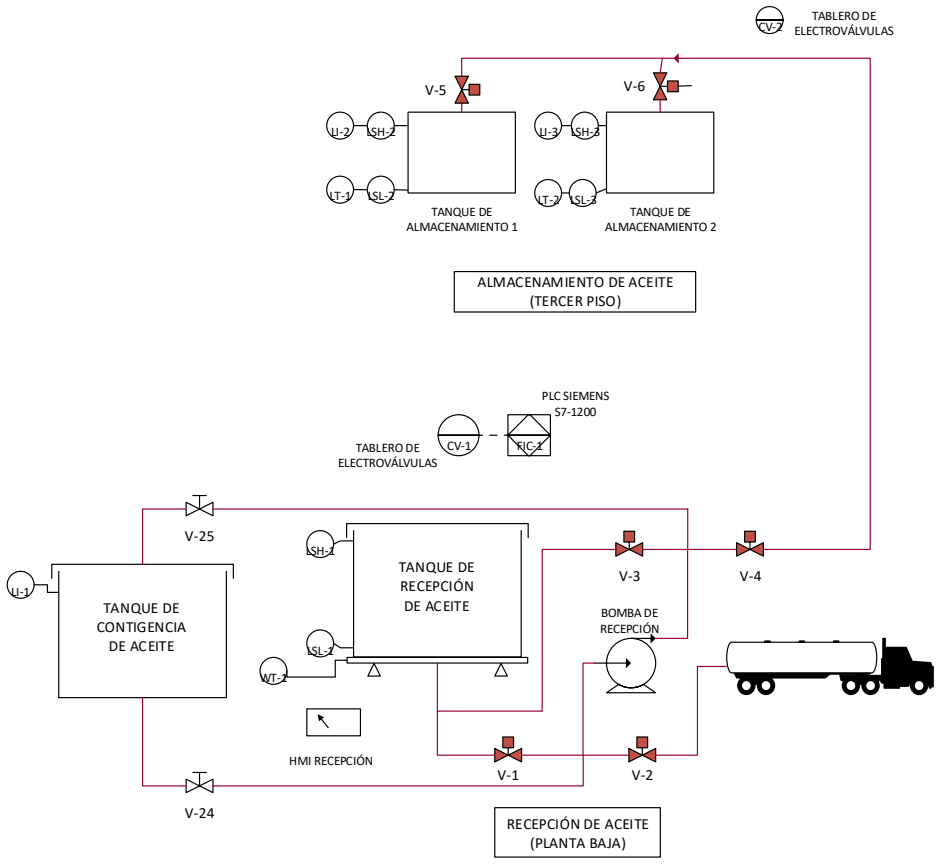


Figura V.1. Diagrama del sistema de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Tabla V.1. Elementos del sistema de recepción, transferencia y almacenaje de aceite

Elemento	Cantidad	Descripción
Tanque Nuevo de recepción de aceite	1	• Tanque para recepción de aceite ubicado en la planta baja • Capacidad: 34 toneladas • 4 celdas de carga de compresión de 10000 kg cada una
Válvulas de proceso de 2'' DONJOY	6	• Válvulas de mariposa de 2'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar
Tablero neumático con 4 electroválvulas de control	1	• Tablero plástico que cuenta con 4 electroválvulas de 110 VAC para controlar los actuadores neumáticos de las válvulas
Unidad de mantenimiento neumática	1	• Unidad de mantenimiento neumática a la entrada del tablero neumático
Tablero de control INOX*	1	• Tablero metálico INOX de control en el cual se encuentra el PLC y el panel de operador
Sensores de nivel IFM LT 102	6	• 3 sensores para nivel alto de los tanques de almacenamiento y el tanque de recepción • 3 sensores para nivel bajo de los tanques de almacenamiento y el tanque de recepción
Sensores de presión hidrostática marca DWYER 673	6	• Sensores de nivel continuo para visualización de contenido en tanques de almacenamiento

*En la Tabla V.2 se enlistan los elementos del tablero de control.

Tabla V.2. Elementos del tablero de control

Elemento	Nombre	Modelo	Características	Función
Breaker	Q1	SIEMENS 5SL3 – 3327	Trifásico 32 A	Seccionador principal.
Guardamotor	E1	SIEMENS 3RV2021 – 4BA10	14 – 20 A	Protección para el motor de la bomba.
Contactor	K1	SIEMENS 3RT2025-1AG20	16 A	Maniobra del motor de la bomba.
Breaker	Q2	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para el PLC y para la fuente de 24 VDC.
Breaker	Q3	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para elementos de 24 VDC.

Fuente de alimentación	U1	Fuente de poder: LOGO! Power	Voltaje entrada: 100-240 V Voltaje Salida: 24 VDC 2.5 A	Alimentación panel de operador, módulos de comunicación, entradas digitales.
PLC	PLC 1	SIEMENS 1212 AC/DC/RLY	8 DI / 6 DO 2 AI / PROFINET	Controlador
Switch Ethernet	A0	CSM 1277 SIMATIC NET	4 puertos Ethernet	Switch Ethernet / Profinet
Módulo de comunicación MODBUS	A1	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisor de peso
Panel de operador		KTP 400 Basic PN	Pantalla táctil de 4'' Comunicación PROFINET	Supervisión y mando de la recepción y transferencia de aceite.

El tablero cuenta también con accesorios de montaje como: canaletas, borneras, marquillas, etc.

Las conexiones se encuentran en los planos suministrados. Además, se han entregado los manuales de cada dispositivo y equipo del sistema.

V.2. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN

Pantalla Inicial

El panel de operador KTP 400 es táctil y además cuenta con 4 botones (F1) que cumplirán una función específica dependiendo de la pantalla que esté activa.

La pantalla inicial del sistema, que se muestra en la Figura V.2., cuenta con 2 botones. El botón "Menú" permite ingresar a la pantalla para seleccionar los distintos modos de funcionamiento. El botón "Vista General" muestra el esquema de todo el sistema y permite otras opciones que serán descritas más a fondo en el desarrollo del presente documento.

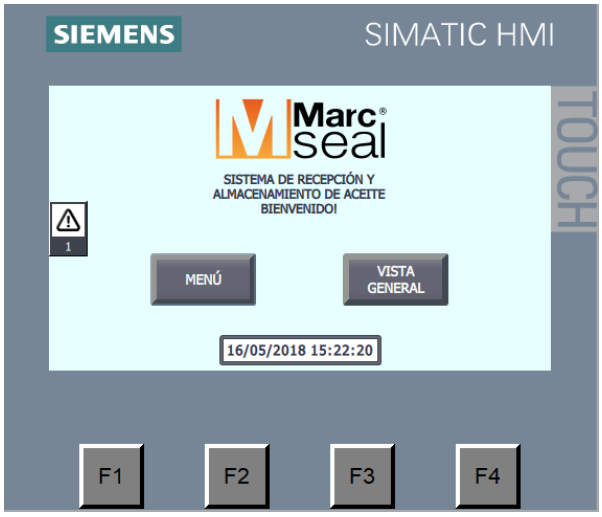


Figura V.2. Pantalla inicial del sistema de recepción

Al pulsar cualquiera de los dos botones es necesario iniciar sesión con un usuario y una contraseña específica como se indica en la Figura V.3. En la Tabla V.3. se muestran los usuarios configurados y su contraseña correspondiente.

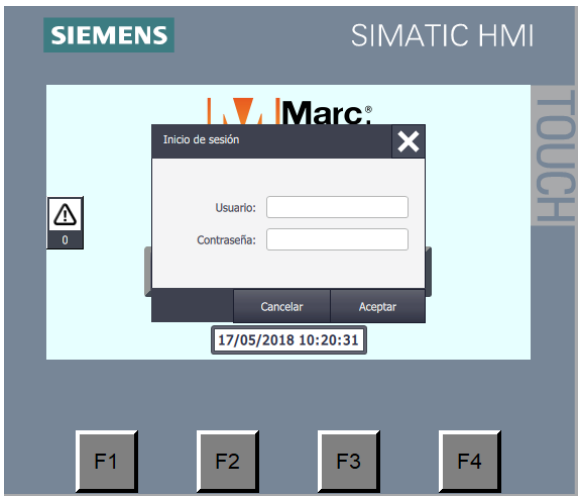


Figura V.3. Pantalla de inicio de sesión

Tabla V.3. Lista de usuarios y contraseñas del sistema de recepción

Usuario	Contraseña	Nivel de acceso
ANGEL	1980	Operación
EDWIN	1986	Operación
JAVIER	1992	Operación
mantenimiento	mant06	Administración de usuarios y operación
master	indumatic06	Administración de usuarios, operación, programación

El nivel de acceso define los permisos que tiene cada usuario para operar el sistema, como se detalla a continuación:

- Operación: Manejo y operación de todos los modos de funcionamiento del sistema en modo automático.
- Administración de usuarios: Los mismos permisos del nivel de operación y adicionalmente manejo del sistema en modo manual, y disponibilidad de agregar o eliminar usuarios y cambiar contraseñas.
- Programación: Todos los permisos disponibles, además de la opción de cambiar parámetros de calibración.

Adicionalmente las teclas F1, F2 y F4 cumplen las siguientes funciones en la pantalla inicial:

1. **BOTÓN INICIO**

El botón INICIO es usado para regresar a la pantalla inicial desde cualquier otra pantalla.

2. **BOTÓN RESET:**

El botón RESET, sirve para apagar la alarma sonora y para reconocer las alarmas no activas (las que ya han sido solucionadas). Las alarmas activas seguirán presentes después de pulsar este botón pero la alarma sonora se apagará.

3. **BOTÓN CERRAR SESIÓN:**

Este botón permite cerrar la sesión que se haya encontrado activa.

Menú de Funcionamiento

Una vez iniciada sesión, al aplastar el botón “Menú” se despliega la imagen mostrada en la Figura V.4.

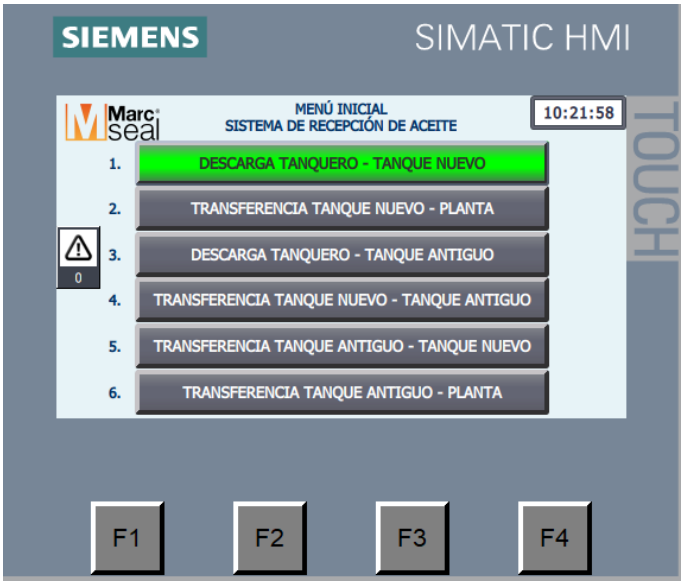


Figura V.4. Pantalla de Menú Inicial

Como se mencionó inicialmente, el sistema presenta 6 modos de funcionamiento.

Descarga Tanquero – Tanque Nuevo

En este modo de funcionamiento se abrirán las válvulas correspondientes y se encenderá la bomba de recepción. El caudal de diseño de dicha bomba es de 66 galones por minuto. Por lo que al aumentar el flujo excesivamente el motor de la bomba se sobrecargará.

La pantalla de este modo se muestra en la Figura V.5.

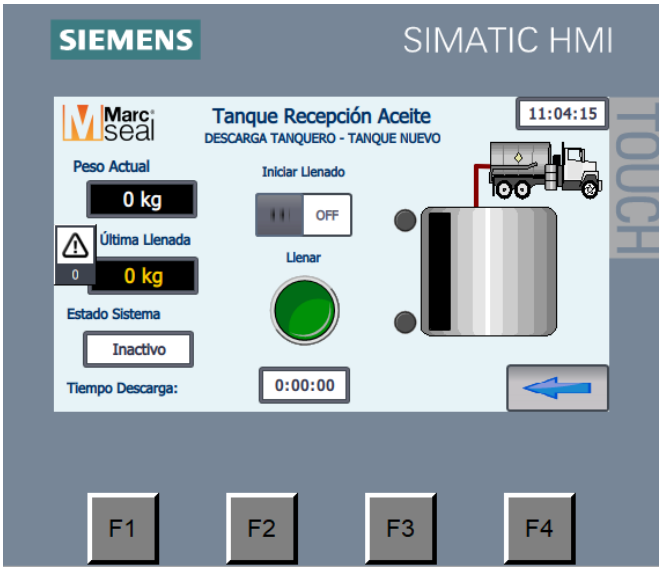


Figura V.5. Pantalla de funcionamiento de descarga tanquero – tanque nuevo

Esta pantalla muestra el peso actual del tanque de recepción, el peso de la última vez que se operó en este modo, el tiempo de descarga y el estado del sistema.

Para iniciar este modo es necesario colocar al selector de “INICIAR LLENADO” en posición ON, después de esto, al pulsar el botón “LLENAR” se abren las válvulas y después de 2 segundos se enciende la bomba de recepción. Una vez pulsado este botón

el temporizador de “Tiempo Descarga” inicia, y pausa cada vez que se pulse el botón de nuevo.

Una vez terminado el proceso de descarga, se debe colocar al selector nuevamente en la posición OFF, de esta manera se registra el peso de descarga, el usuario que operó el sistema y se resetea el temporizador.

Transferencia Tanque Nuevo – Planta

En este modo se transferirá aceite desde el tanque nuevo de recepción hacia los tanques de almacenamiento. Por ello es necesario seleccionar el tanque de transferencia y la cantidad a transferir. Como se muestra en la Figura V.6.

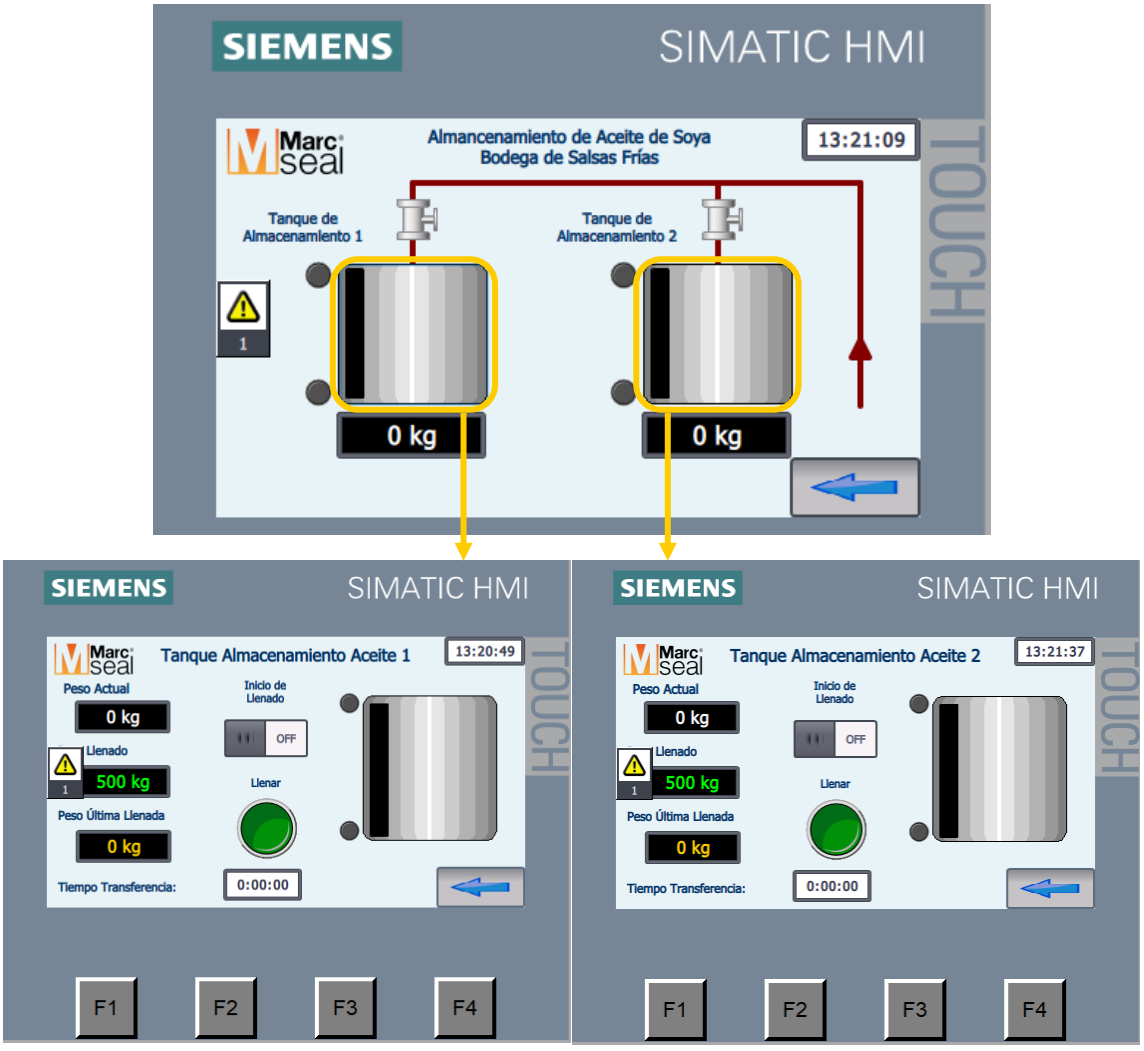


Figura V.6. Pantalla de funcionamiento de transferencia tanque nuevo – planta

Este modo funciona por descarga del tanque nuevo, por ejemplo, si en el tanque de almacenamiento existen 20 toneladas y se transfieren 3 toneladas hacia el tanque de almacenamiento 1, el sistema parará cuando el peso del tanque de recepción sea 17 toneladas.

El sistema no funciona por aumento de nivel de los tanques de almacenamiento debido a que al llenar el nivel presenta un sobre pico que no muestra el peso actual de los tanques.

Para operar en dicho modo se debe proceder de igual manera que en el modo anterior, se coloca al selector “Inicio de Llenado” en la posición ON y se pulsa el botón “Llenar”. La diferencia con el modo anterior es que en este modo se apagará automáticamente una vez transferido el peso.

Descarga Tanquero – Tanque Antiguo

Adicionalmente, por la disposición de las válvulas, es posible operar al sistema en modos en los cuales no se puede tener un control de peso. Este modo se muestra en la Figura V.7.

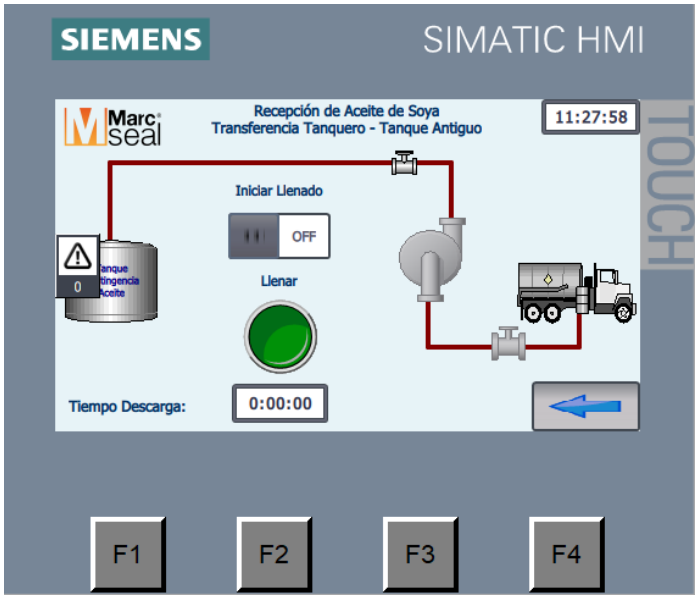


Figura V.7. Pantalla de funcionamiento de transferencia tanquero – tanque antiguo

La operación de este modo es igual que las anteriores, con el posicionamiento del selector y el pulsador de “Llenar”

Transferencia Tanque Nuevo – Tanque Antiguo

En este modo es posible visualizar el peso transferido desde el tanque nuevo hacia el tanque antiguo. El cálculo de peso transferido se realiza de igual manera por descarga del tanque nuevo.

La pantalla de funcionamiento se muestra en la Figura V.8.

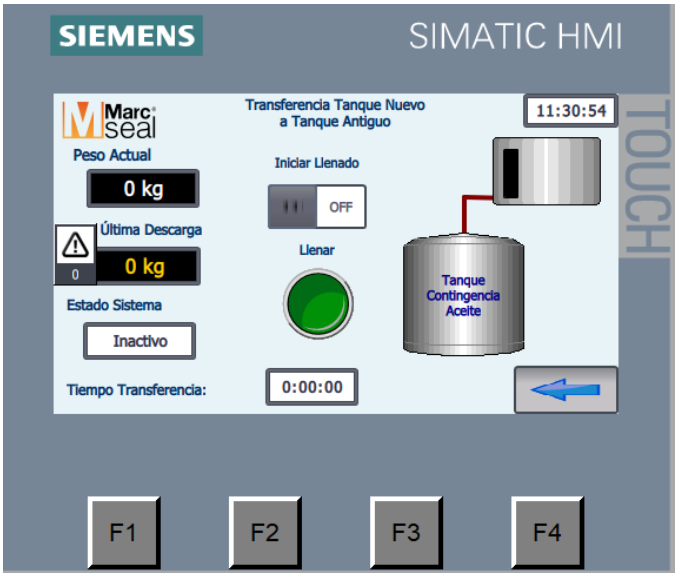


Figura V.8. Pantalla de funcionamiento de transferencia tanque nuevo – tanque antiguo

Transferencia Tanque Antiguo – Tanque Nuevo

En este modo es posible visualizar el peso transferido desde el tanque antiguo hacia el tanque nuevo. El cálculo de peso transferido se realiza por carga del tanque nuevo.

La pantalla de funcionamiento se muestra en la Figura V.9.

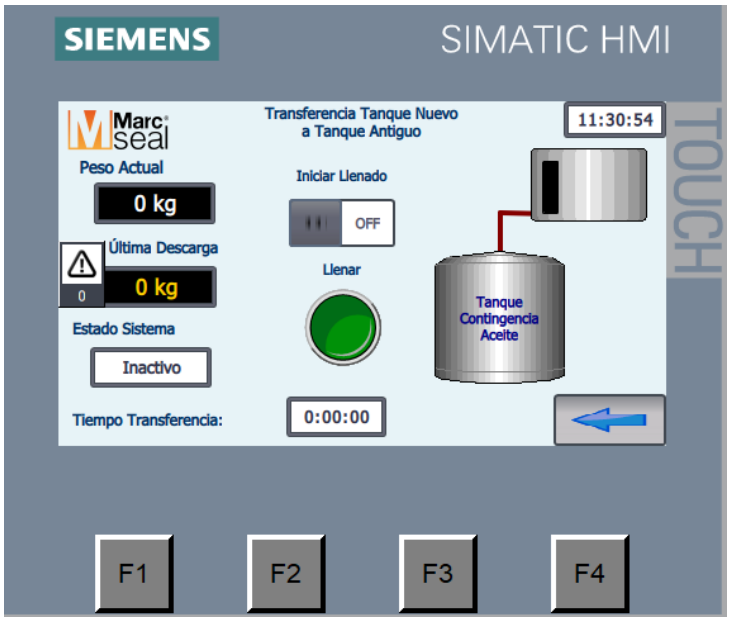


Figura V.9. Pantalla de funcionamiento de transferencia tanque antiguo – tanque nuevo

Transferencia Tanque - Antiguo

Este modo es similar al modo de funcionamiento “Transferencia Tanque Nuevo – Planta”, con la diferencia de que en este modo el apagado del llenado no se realiza de forma

automática. De igual manera es necesario seleccionar el tanque de almacenamiento al cual se realizará la transferencia.

La pantalla de funcionamiento se muestra en la Figura V.10.

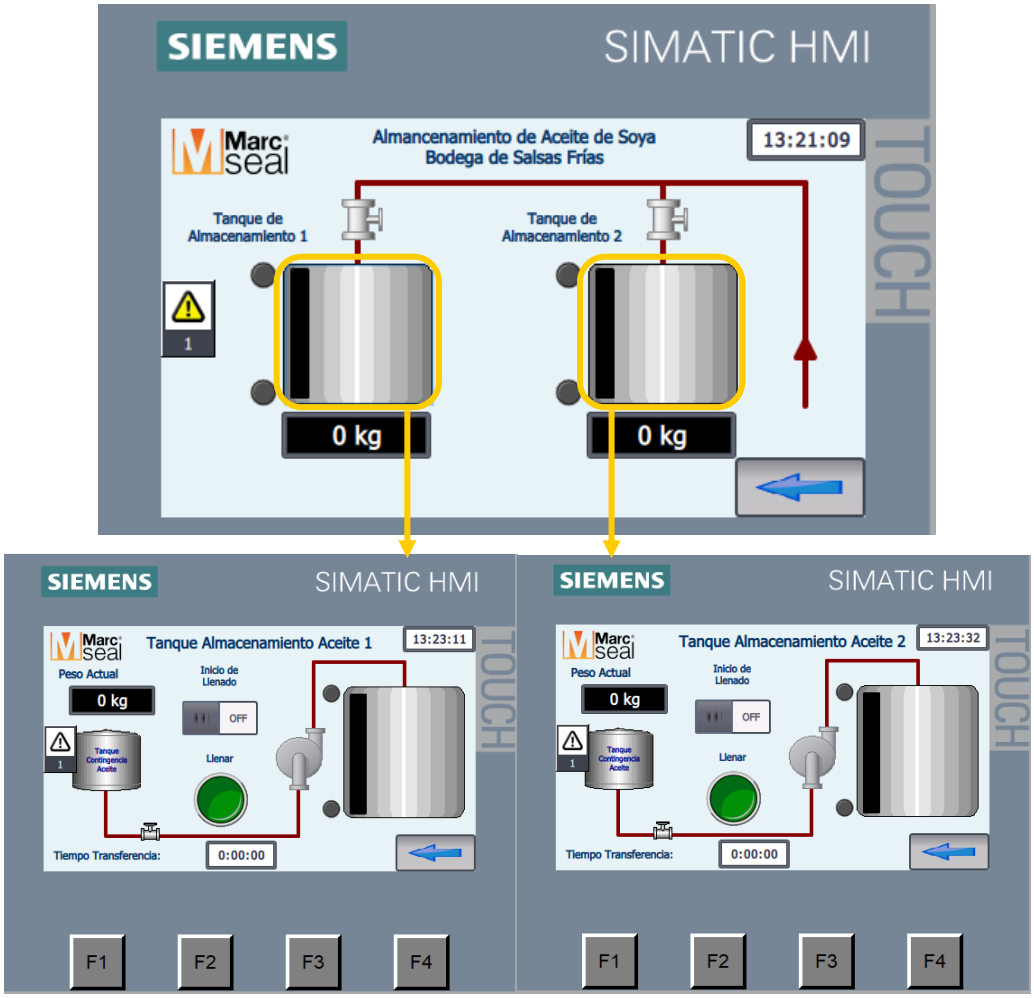


Figura V.10. Pantalla de funcionamiento de Transferencia de tanque antiguo – planta

Vista General

Al aplastar el botón “Vista General” de la pantalla inicial, se desplegará la imagen mostrada en la Figura V.11.

En dicha pantalla es posible observar el diagrama de todo el sistema, el peso disponible en cada tanque, el estado de las válvulas, sensores de nivel y la bomba de recepción.

En esta pantalla los botones F3 y F4 cumplen funciones distintas a las de la pantalla inicial.

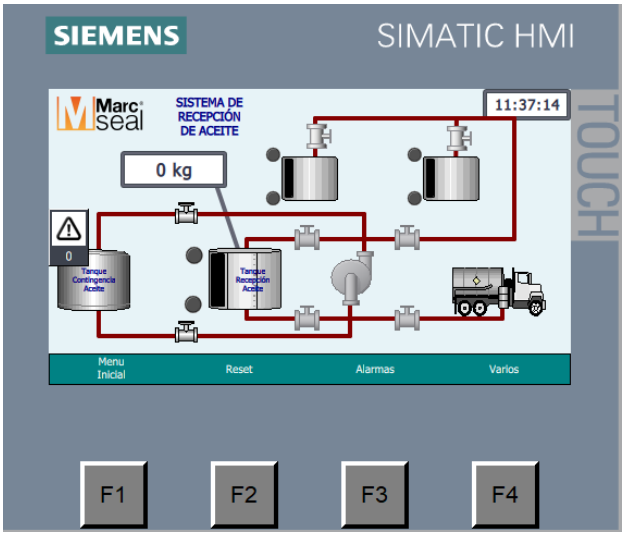


Figura V.11. Pantalla de Vista General

1. **BOTÓN ALARMAS**

El botón ALARMAS desplegará la pantalla mostrada en la Figura V.12.

2. **BOTÓN VARIOS:**

El botón VARIOS despliega la pantalla mostrada en la Figura V.13., en la cual es posible realizar ciertas funciones adicionales de conFiguración del sistema.

Alarmas

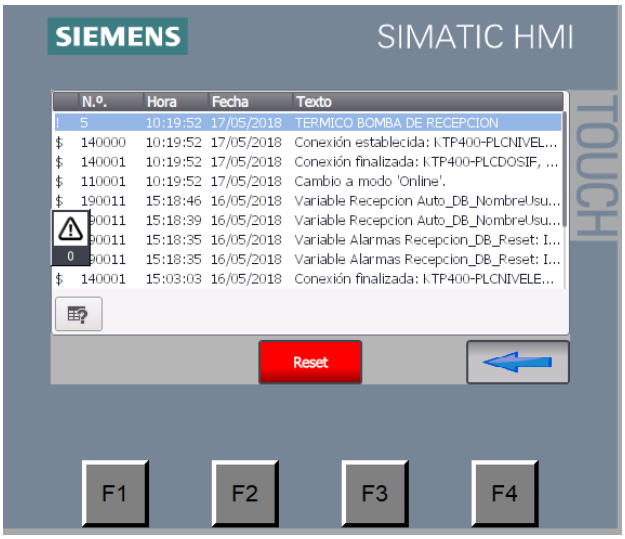


Figura V.12. Pantalla de Alarmas

El botón RESET presente en esta pantalla cumple la misma función que el botón F2.

En esta pantalla se visualiza el registro histórico de alarmas del sistema. Cabe mencionar que este registro es guardado en la memoria temporal de la pantalla, y permanecerá allí siempre y cuando no se apague el panel.

Varios

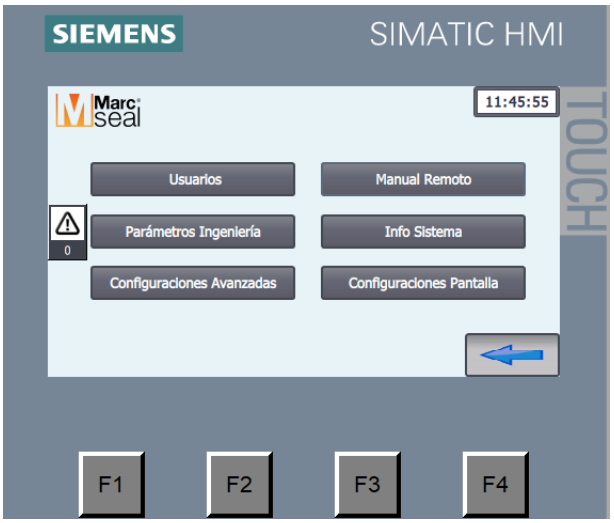


Figura V.13. Pantalla de Usuarios

En esta pantalla es posible realizar la configuración del sistema y la operación Manual de cada elemento.

Usuarios

En la pantalla Usuarios mostrada en la Figura V.14. es posible visualizar los usuarios disponibles y cambiar la contraseña del usuario que se encuentre activo, adicionalmente el usuario con permiso “Administración de usuarios” se pueden añadir usuarios y editar las contraseñas de los usuarios restantes.

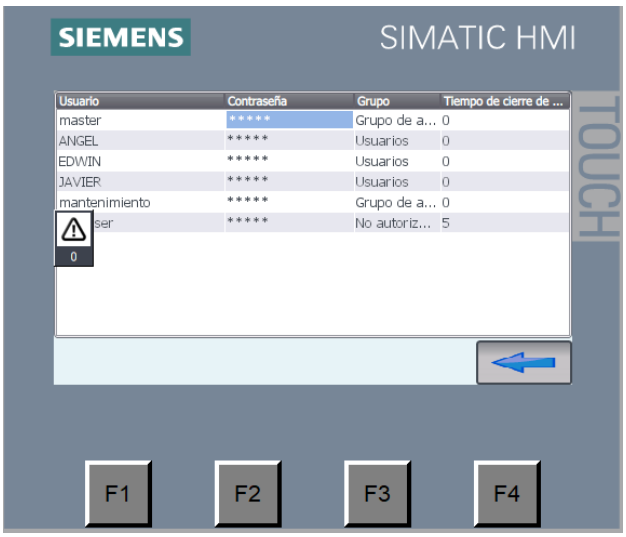


Figura V.14. Pantalla de Administración de Usuarios

Manual Remoto

Al aplastar el botón “Manual Remoto” en la pantalla “Varios” se despliega la imagen mostrada en la Figura V.15.

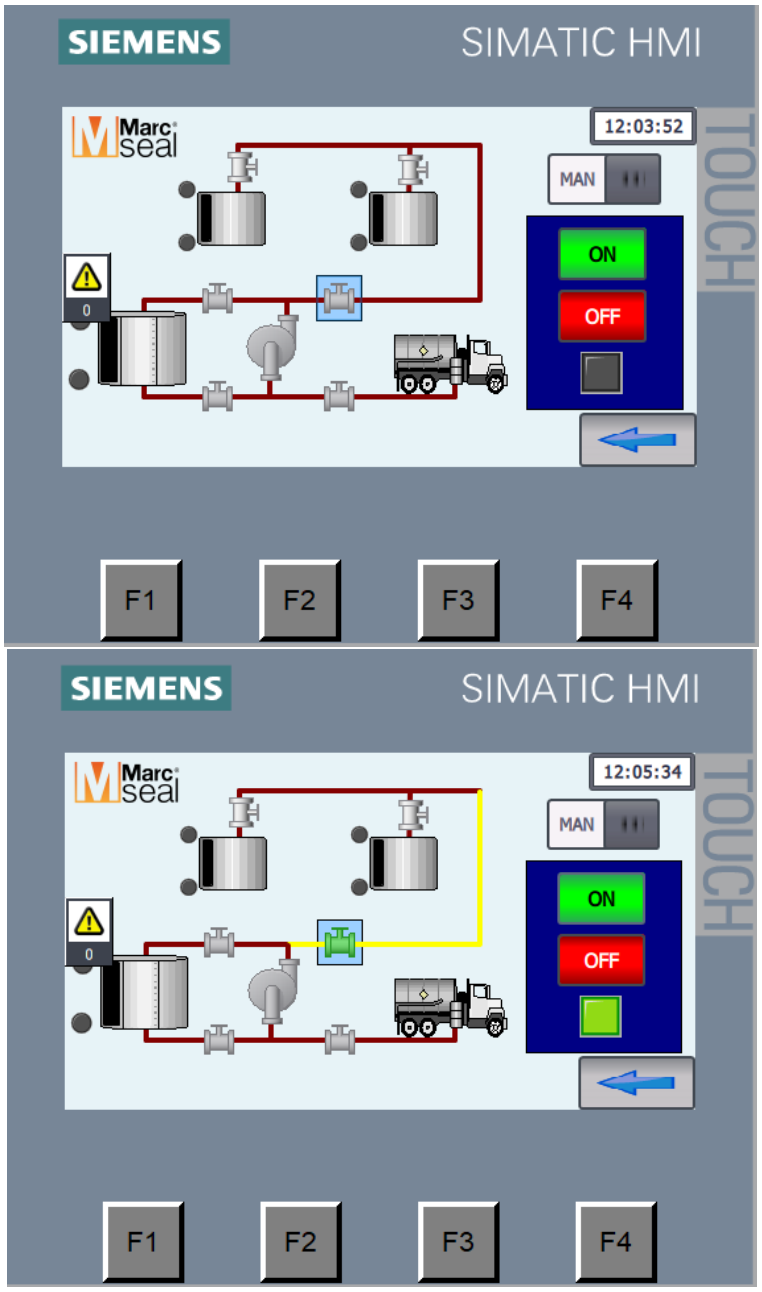


Figura V.15. Pantalla Manual Remoto

En esta pantalla se debe colocar al selector en posición MAN, y seleccionar el elemento a operar. Una vez realizado esto, los botones ON y OFF servirán para el manejo de dicho elemento, y el LED mostrará su estado actual.

Parámetros Ingeniería

Esta pantalla, mostrada en la Figura V.16., sirve para calibración y uso exclusivo de personal de mantenimiento o de programación.

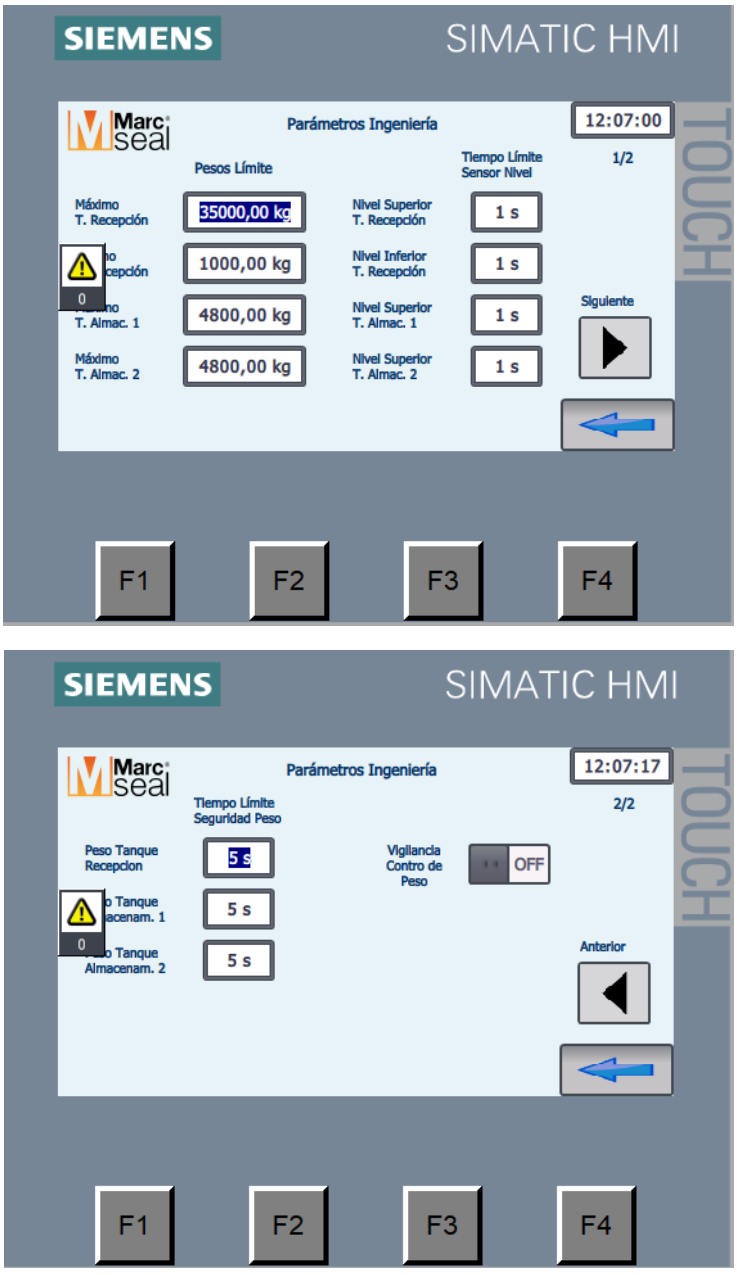


Figura V.16. Pantalla de parámetros de ingeniería

En la Tabla V.4. se muestra el listado de cada parámetro, su descripción, y el último valor configurado en el sistema.

Tabla V.4. Parámetros de ingeniería de calibración y funcionamiento del sistema

Parámetro	Descripción	Último Valor Configurado
Peso Máximo T. Recepción	Es el peso máximo de llenado del tanque de recepción. No será posible llenar el tanque a un valor superior a éste.	35000 kg
Peso Mínimo T. Recepción	Es el peso mínimo que se quedará en el tanque de recepción. No será posible bombear aceite a un valor inferior a éste.	300 kg
Peso Máximo T. Almac. 1	Es el peso máximo de llenado del tanque de almacenamiento. No será posible llenar el tanque a un valor superior a éste.	4300 kg
Peso Máximo T. Almac. 2	Es el peso máximo de llenado del tanque de almacenamiento. No será posible llenar el tanque a un valor superior a éste.	4800 kg
Tiempo Nivel Superior T. Recepción	Es el tiempo que transcurrirá una vez activado el sensor de nivel superior para mostrar una alarma y parar la operación actual.	1 s
Tiempo Nivel Inferior T. Recepción	Es el tiempo que transcurrirá una vez desactivado el sensor de nivel inferior para mostrar una alarma y parar la operación actual.	100 s
Tiempo Nivel Superior T. Almac. 1	Es el tiempo que transcurrirá una vez activado el sensor de nivel superior para mostrar una alarma y parar la operación actual.	0 s
Tiempo Nivel Superior T. Almac. 2	Es el tiempo que transcurrirá una vez activado el sensor de nivel superior para mostrar una alarma y parar la operación actual.	0 s
Tiempo Peso Tanque Recepción	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Tiempo Peso Tanque Almacen. 1	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Tiempo Peso Tanque Almacen. 2	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el	10 s

	peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	
Vigilancia Control de Peso	Selector que enciende o apaga la vigilancia para la variación de peso, configurado por los 3 tiempos anteriores.	ON

Info del sistema

Esta pantalla, mostrada en la Figura V.17., despliega la información para asistencia técnica del sistema.

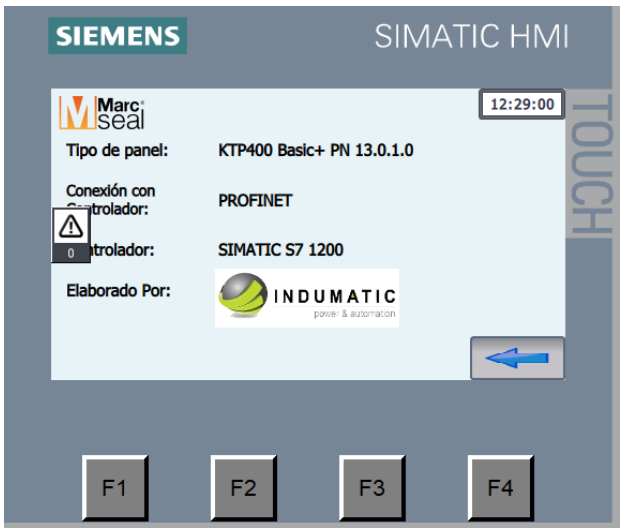


Figura V.17. Pantalla de información del sistema

Configuraciones Avanzadas

Al aplastar este botón se parará la operación de la pantalla para entrar al sistema operativo del panel y configurar parámetros de comunicación y calibración de uso exclusivo de personal técnico capacitado.

Configuraciones Pantalla

En esta pantalla, mostrada en la Figura V.18., es posible calibrar parámetros básicos de la pantalla, como modificar el brillo, activar una imagen que permite limpiar la pantalla, calibración táctil de la pantalla e igualar el reloj del sistema.

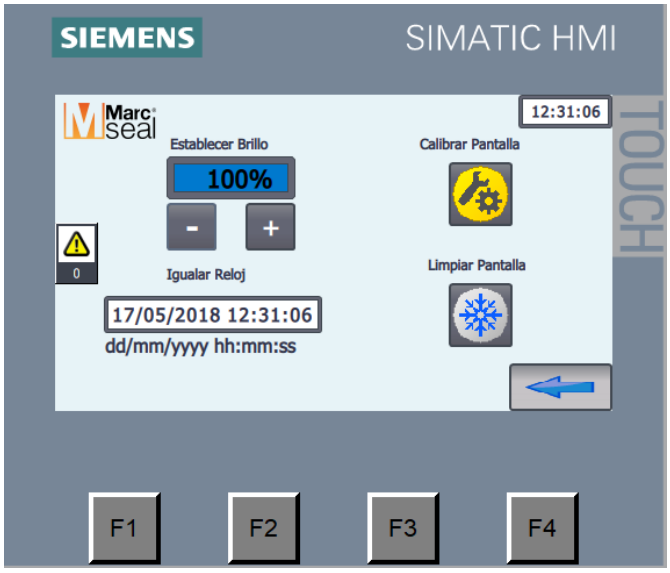


Figura V.18. Configuraciones de pantalla

V.3. DIAGNÓSTICO Y ALARMAS

El sistema cuenta con un sistema de diagnóstico que permite determinar fallas de operación, posibles causas y posibles soluciones.

Las alarmas pueden ser de 3 categorías, éstos se muestran en la Tabla V.5.

Tabla V.5. Categorías de alarmas del sistema

Categoría de alarma	Descripción	Símbolo	Color	Baliza
Warnings	Advertencias que no requieren de acción alguna		Amarillas cuando están activas, blancas cuando se han solucionado.	NO
Errors	Alarmas que requieren atención inmediata	!	Rojas cuando están activas, blancas cuando se han solucionado.	SI
Avisos de sistema	Avisos de estado del sistema como inicio y cierre de sesión de usuarios. No requieren ninguna acción, son de tipo informativas.	$	Blancas	NO

Además, la categoría errores encenderá la baliza.

En la Tabla V.6. se muestra el listado de alarmas que el sistema despliega.

Tabla V.6. Listado de alarmas del sistema

Nombre	Texto en Pantalla	Categoría	Baliza
TANQUE RECEPCIÓN VACÍO	TANQUE DE RECEPCIÓN VACÍO	Warnings	NO
TANQUE 1 LLENO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1 LLENO	Warnings	NO
TANQUE 2 LLENO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2 LLENO	Warnings	NO
TANQUE RECEPCIÓN LLENO	TANQUE DE RECEPCIÓN LLENO	Warnings	NO
TÉRMICO BOMBA RECEPCIÓN	TÉRMICO BOMBA DE RECEPCIÓN	Errors	SI
SELECTOR BOMBA RECEPCIÓN	SELECTOR BOMBA DE RECEPCIÓN NO ESTÁ EN AUTO	Errors	NO
TANQUE 1 PESO SEGURIDAD	REVISAR VÁLVULAS DE ENTRADA A TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1	Errors	SI
TANQUE 2 PESO SEGURIDAD	REVISAR VÁLVULAS DE ENTRADA A TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2	Errors	SI
TANQUE RECEPCIÓN PESO SEGURIDAD	REVISAR VÁLVULAS DE ENTRADA A TANQUE DE RECEPCIÓN	Errors	SI

Si se activa alguna alarma, en la pantalla de “Alarmas” es posible desplegar una ventana de texto de ayuda que mostrará las causas del error y las posibles soluciones, como se muestra en la Figura V.19.

Figura V.19. Ventana de texto de ayuda de alarmas

ANEXO VI

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE ELABORACIÓN DE SALSAS FRÍAS

VI.1. Introducción

El sistema de elaboración de salsas frías se divide en dos etapas:

- Preparación de Salsas Especiales
- Preparación de Mayonesas

Cada etapa cuenta con tres modos de funcionamiento:

- Manual
- Semi-Automático
- Automático

El diagrama del sistema se muestra en la Figura VI.1., y cuenta con los elementos y equipos descritos en la Tablas VI.1. y VI.2 para el área de preparación de mayonesas y salsas especiales respectivamente.

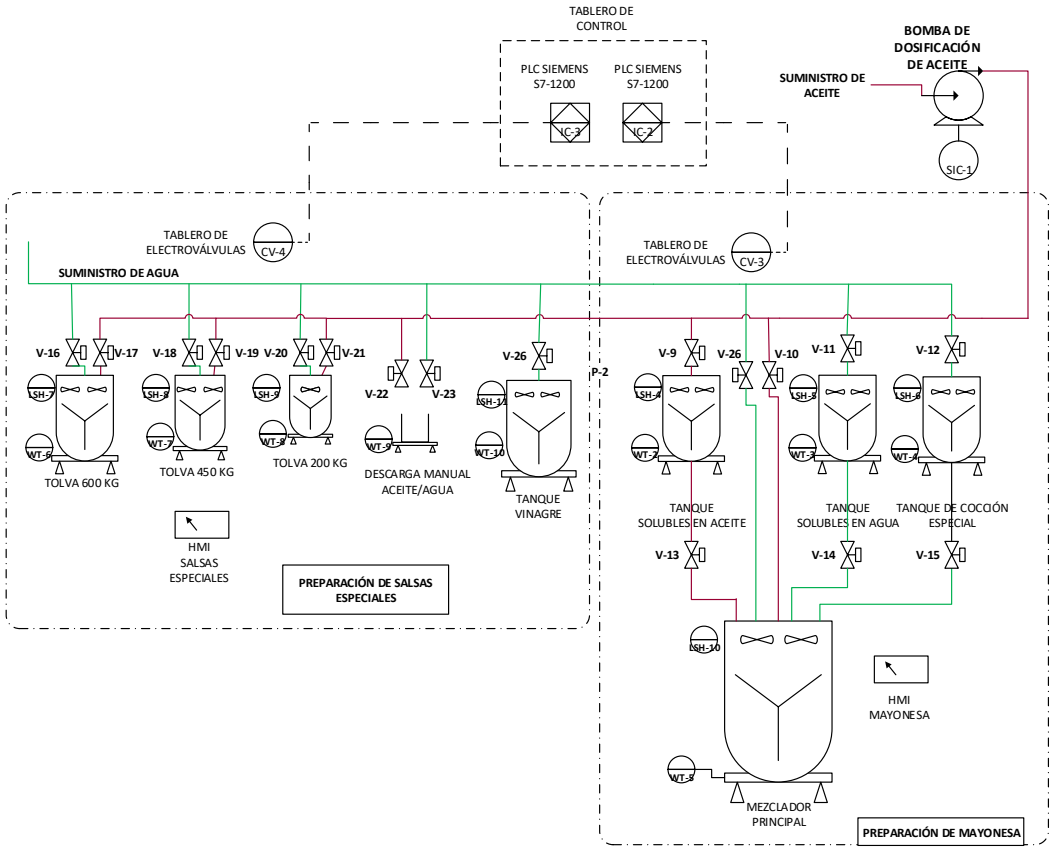


Figura VI.1. Diagrama del sistema elaboración de salsas frías

Tabla VI.1. Elementos del área de preparación de mayonesas

Elemento	Cantidad	Descripción
Válvulas de proceso de 1 ½'' DONJOY	7	• Válvulas de mariposa de 1 ½'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar • 1 válvula para entrada de tanque solubles en aceite • 1 válvula para entrada de tanque solubles en agua • 1 válvula para entrada de tanque de cocción especial • 2 válvulas para tanque de mezcla principal • 2 válvulas de salida de los tanques de almacenamiento
Válvula de proceso de 2'' DONJOY	1	• Válvula de mariposa de 2'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar • Válvula para salida de tanque de cocción especial
Válvulas de proceso Proporcionales DONJOY	2	• Válvula de mariposa proporcional de 2'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar • Señal de control: 0-20 mA, 4-20 mA • Válvulas para salida de los tanques de solubles en aceite y solubles en agua
Tablero neumático con 6 electroválvulas de control	1	• Tablero plástico que cuenta con 6 electroválvulas de 110 VAC para controlar los actuadores neumáticos de las válvulas del área de preparación de mayonesas
Tablero neumático con 4 electroválvulas de control	1	• Tablero plástico que cuenta con 4 electroválvulas de 110 VAC para controlar los actuadores neumáticos de las válvulas del área de los tanques de almacenamiento
Unidad de mantenimiento neumática	2	• Unidad de mantenimiento neumática a la entrada de los tableros neumáticos (Mayonesa y Almacenamiento)
Tablero de control INOX	1	• Tablero metálico INOX de control en el cual se encuentran los PLCs, protecciones eléctricas y los accionamientos de control.
Sensores de nivel IFM LT 102	3	• 1 sensor para nivel alto para cada tolva de dosificación

Sensor de nivel SITRANS LVL100	1	• Sensor para nivel alto para el tanque mezclador principal
Transmisores de peso LAUMAS CLM8	4	• Transmisor de peso con caja de Conexiones INOX montado en cada tolva de dosificación
Celdas de carga LAUMAS FTP	16	• 16 celdas de carga, 4 para cada tolva de dosificación

En la Tabla VI.3 se enlistan los elementos del tablero de control.

En la Tabla VI.4. se enlistan las capacidades de las celdas de carga para cada tolva de dosificación

Tabla VI.2. Elementos del área de preparación de salsas especiales

Elemento	Cantidad	Descripción
Válvulas de proceso de 1 ½'' DONJOY	8	• Válvulas de mariposa de 1 ½'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar • 2 válvulas para tolva de 600 kg • 2 válvulas para tolva de 450 kg • 2 válvulas para tolva de 200 kg • 2 válvulas para balanza de descarga manual
Válvula de proceso de 2'' DONJOY	1	• Válvula de mariposa de 2'' para el control del sistema. • Actuador Neumático • Rango de trabajo: 5-7 bar • Válvula para entrada al tanque de vinagre
Tablero neumático con 8 electroválvulas de control	1	• Tablero plástico que cuenta con 8 electroválvulas de 110 VAC para controlar los actuadores neumáticos de las válvulas del área de preparación de salsas especiales
Tablero neumático con 1 electroválvulas de control	1	• Tablero plástico que cuenta con 1 electroválvulas de 110 VAC para controlar los actuadores neumáticos de las válvulas del tanque de vinagre
Unidad de mantenimiento neumática	1	• Unidad de mantenimiento neumática a la entrada de los tableros neumáticos
Sensores de nivel IFM LT 102	4	• 1 sensor para nivel alto para cada tolva de dosificación
Transmisores de peso LAUMAS CLM8	5	• Transmisor de peso con caja de Conexiones INOX montado en cada tolva de dosificación y en la balanza de descarga manual
Celdas de carga LAUMAS FTP	17	• 16 celdas de carga para las tolvas de dosificación y para la balanza de descarga manual

En la Tabla VI.4. se enlistan las capacidades de las celdas de carga para cada tolva de dosificación

Tabla VI.3. Elementos del tablero de control

Elemento	Nombre	Modelo	Características	Función
Breaker	Q0	SIEMENS 3VT1703-2DC36 – 0AA0	Trifásico 32 A	Seccionador principal.
Breaker	Q1	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para entrada de fuente 24 VDC
Breaker	Q2	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para salida de fuente 24 VDC
Breaker	Q3	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para el PLC y electroválvulas 110 VAC
Breaker	Q4	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para elementos de 24 VDC. Área de Salsas especiales
Breaker	Q5	SIEMENS 5SL3 – 32027	2 A	Protección para elementos de 24 VDC. Área de Mayonesas
Fuente de alimentación	U1	Fuente de poder: SITOP	Voltaje entrada: 100-240 V Voltaje Salida: 24 VDC 5 A	Alimentación 24 VDC paneles de operador, módulos de comunicación, entradas digitales. Trasmisores de peso
PLC	PLC 1	SIEMENS 1214 AC/DC/RLY	14 DI / 10 DO 2 AI / PROFINET	Controlador área preparación de mayonesa
Módulo de comunicación MODBUS	A1	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisores de peso
Módulo de ampliación 16 entradas 16 salidas	A2	SIEMENS SM1223	16 DI / 16 DO A RELE	Entradas y salidas área mayonesa
Módulo de ampliación de 2 salidas análogas	A3	SIEMENS SM1232	2 salidas análogas configurables	Para válvulas proporcionales.
PLC	PLC 2	SIEMENS 1212 AC/DC/RLY	8 DI / 6 DO 2 AI / PROFINET	Controlador área preparación de

				salsas especiales
Módulo de comunicación MODBUS	A4	SIEMENS CM 1241	RS-485	Comunicación con transmisor de peso
Módulo de ampliación 16 entradas 16 salidas	A5	SIEMENS SM1223	16 DI / 16 DO A RELE	Entradas y salidas área salsas especiales
Switch Ethernet	A0	TRENDNET TI-PG80	8 puertos Ethernet	Switch Ethernet / Profinet

El tablero cuenta también con accesorios de montaje como: canaletas, borneras, marquillas, etc.

Las Conexiones se encuentran en los planos suministrados. Además, se han entregado los manuales de cada dispositivo y equipo del sistema.

Tabla VI.4. Descripción de las celdas de carga del área de salsas frías

Sección	Tanque	Capacidad de cada celda	Número de celdas	Tipo de celda
Preparación de mayonesa	Tolva de premezcla de solubles en aceite 600 kg	300 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tolva de premezcla de solubles en agua 600 kg	500 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tolva de cocción especial 600 kg	500 kg	4	Viga de cizallamiento
	Tanque mezclador principal	750 kg	4	Viga de cizallamiento
Preparación de salsas especiales	Tolva de 600 kg	500 kg	3	Viga de cizallamiento
	Tolva de 450 kg	300 kg	3	Viga de cizallamiento
	Tolva de 200 kg	150 kg	4	Viga de cizallamiento
	Balanza de descarga manual	75 kg	3	Viga de cizallamiento
	Tanque de vinagre	1000 kg	4	Viga de cizallamiento

Adicionalmente, el sistema cuenta con un tablero en el área de almacenamiento de aceite para el Variador de velocidad SINAMICS V20, cuyas características técnicas son las siguientes:

- Potencia: 2 HP
- Voltaje de entrada: 200 a 240 V
- Corriente de entrada: 19.7 A
- Corriente de salida: 7.8 A

VI.2. Descripción de funcionamiento y operación del área de elaboración de mayonesas

Pantalla Inicial

El panel de operador KTP 700 es táctil y además cuenta con 8 botones (F1-F8) que cumplirán una función específica dependiendo de la pantalla que esté activa.

La pantalla inicial del sistema, que se muestra en la Figura VI.2., permite al operador iniciar el día de producción. A nivel de registro de datos, el pulsar este botón implica la creación de un archivo de texto que servirá para almacenar los datos de producción hasta el cierre de día.

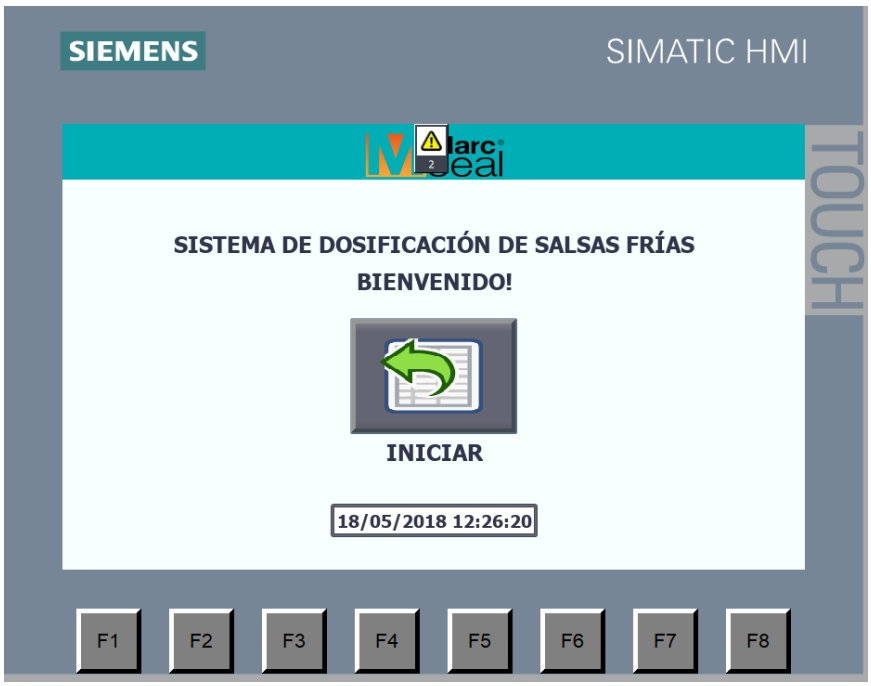


Figura VI.2. Pantalla inicial del sistema de elaboración de mayonesas

Es necesario además que el operador inicie sesión cada vez que se realiza esta acción. (Figura VI.3.)

La lista de usuarios y contraseñas del sistema de elaboración de mayonesas se encuentra en la Tabla VI.5.

Figura VI.3. Pantalla de inicio de sesión

Tabla VI.5. Lista de usuarios y contraseñas de elaboración de mayonesas

Usuario	Contraseña	Nivel de acceso
admin	marcseal06	Administración de usuarios, operación, programación
operador	operador	Operación

El nivel de acceso define los permisos que tiene cada usuario para operar el sistema, como se detalla a continuación:

- Operación: Manejo y operación del sistema en modo automático y semi-automático, y modificación de parámetros básicos.
- Administración de usuarios: Los mismos permisos del nivel de operación y adicionalmente manejo del sistema en modo manual, y disponibilidad de agregar o eliminar usuarios y cambiar contraseñas.
- Programación: Todos los permisos disponibles, además de la opción de cambiar parámetros de calibración.

Adicionalmente las teclas F2 – F7 cumplen las siguientes funciones en todas las pantallas:

4. **BOTÓN RESET:**

El botón RESET, sirve para apagar la alarma sonora y para reconocer las alarmas no activas (las que ya han sido solucionadas). Las alarmas activas seguirán presentes después de pulsar este botón pero la alarma sonora se apagará.

5. BOTÓN BLOQUEO DE OPERADOR:

Este botón permite al operador cerrar la sesión y mostrar una pantalla únicamente de visualización (Figura VI.4.). Esto aporta seguridad al sistema y asegura al operador que nadie va a intervenir en el proceso si el lo ha bloqueado.

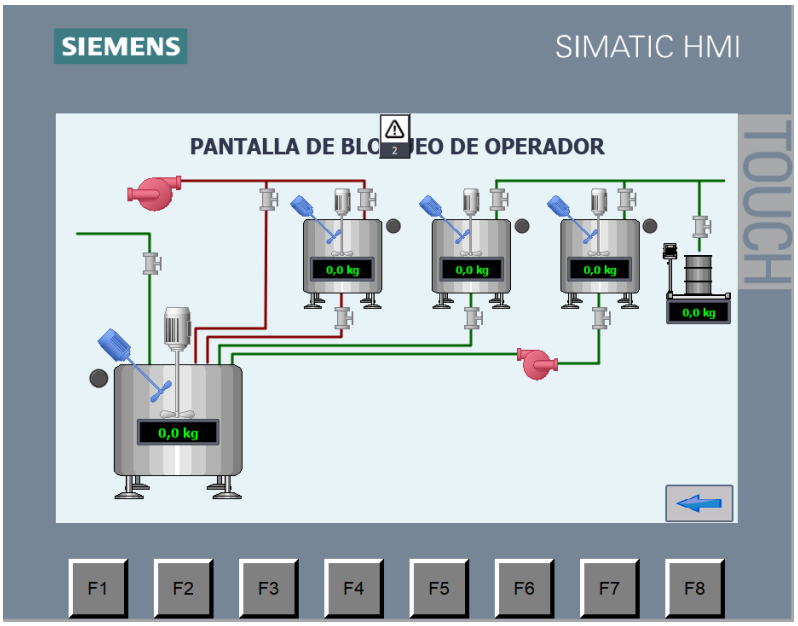


Figura VI.4. Pantalla de bloqueo de operador

Modo Automático

Una vez iniciada sesión, al aplastar el botón “INICIAR” se despliega la imagen mostrada en la Figura VI.5.

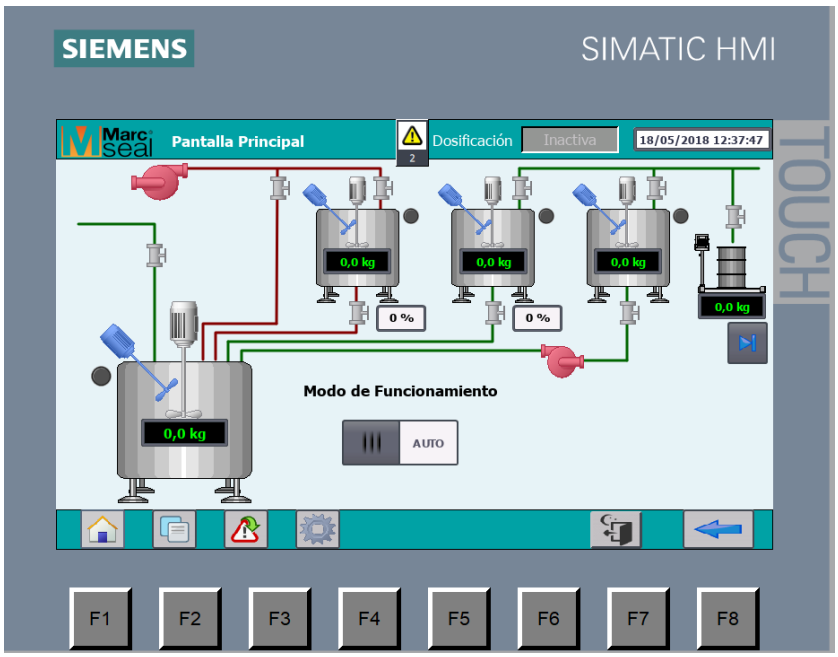


Figura VI.5. Pantalla General de elaboración de mayonesas

Este modo se encuentra activo cuando el selector “Modo de funcionamiento” se encuentra en la posición AUTO. Éste permite la importación de las órdenes de producción, su preparación automática, escritura de consumo de materia prima y tiempos de producción y alistamiento en la base de datos CANORUS.

Importar Orden de Producción

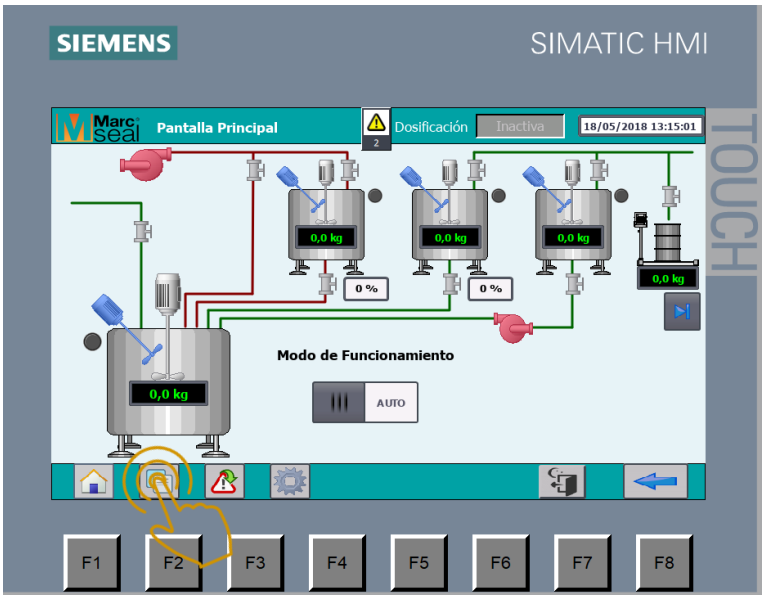
Para iniciar una orden en modo automático es necesario importar una orden de producción válida.

Una orden de producción se puede considerar válida si cumple con los siguientes parámetros:

- La orden existe
- La orden pertenece al departamento de salsas frías
- La cantidad de la orden es superior a 650 kg
- Se han realizado las transferencias de inventario suficientes para iniciar la orden de producción

Una vez importada la orden, es necesario ingresar datos de *Tiempo de alistamiento* y *Número de personas*.

Este proceso se muestra en la Figura VI.6.



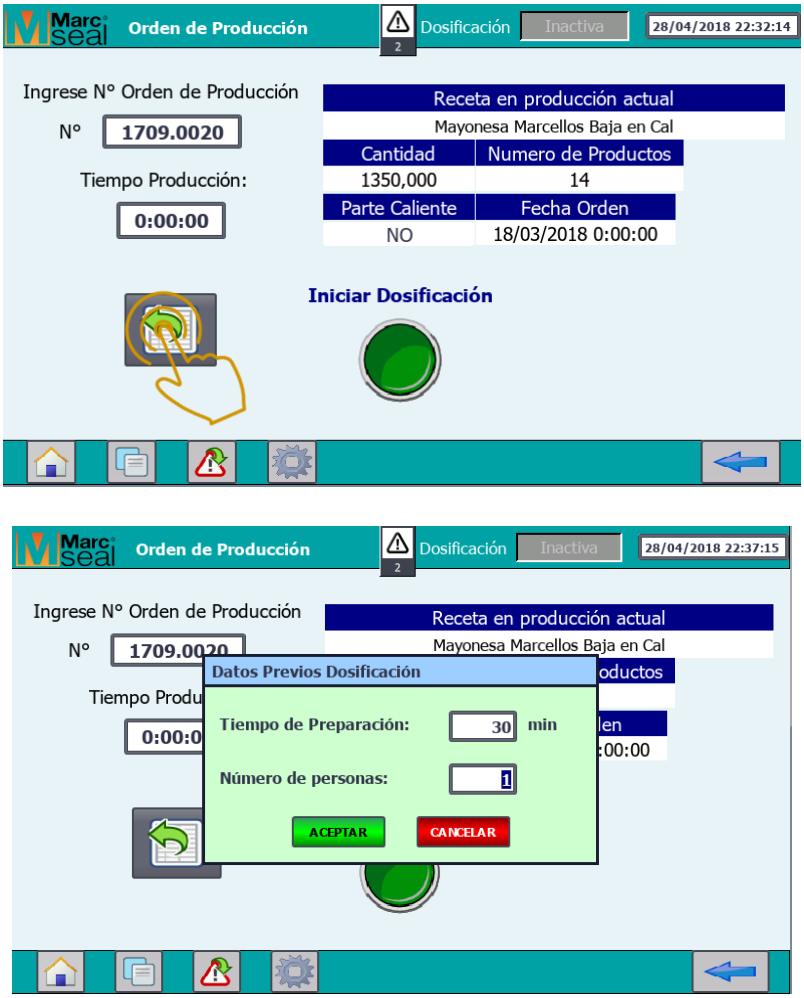


Figura VI.6. Imágenes de orden de producción

Al presionar el botón “Iniciar Dosificación”, el campo informativo de texto que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla cambia de “Inactiva” a “Iniciada”

A partir de aquí el operador puede empezar la dosificación de aceite en la tolva de solubles en aceite, dosificación de agua en la tolva de solubles en agua o dosificación de agua en la tolva de cocción especial. Esto puede realizarse individualmente tolva por tolva o de forma simultánea.

Dosificación de tolvas de premezcla

El proceso inicia al pulsar el botón “Iniciar Dosificación” de la pantalla de este tanque. El temporizador de producción inicia y una vez comprobado que el peso de la tolva es inferior al peso mínimo configurado, inicia la dosificación.

Se enciende la bomba de dosificación, junto con la válvula de llenado de aceite y la válvula de salida del tanque de almacenamiento seleccionado. Una vez que se ha llenado la cantidad requerida, se registra este consumo en la base de datos. El operador confirma el resto de los ingredientes de la tolva seleccionándolos y pulsando el botón de “Confirmar Ingrediente”. Por último, los agitadores correspondientes se encienden automáticamente. Este proceso se muestra en la Figura VI.7.

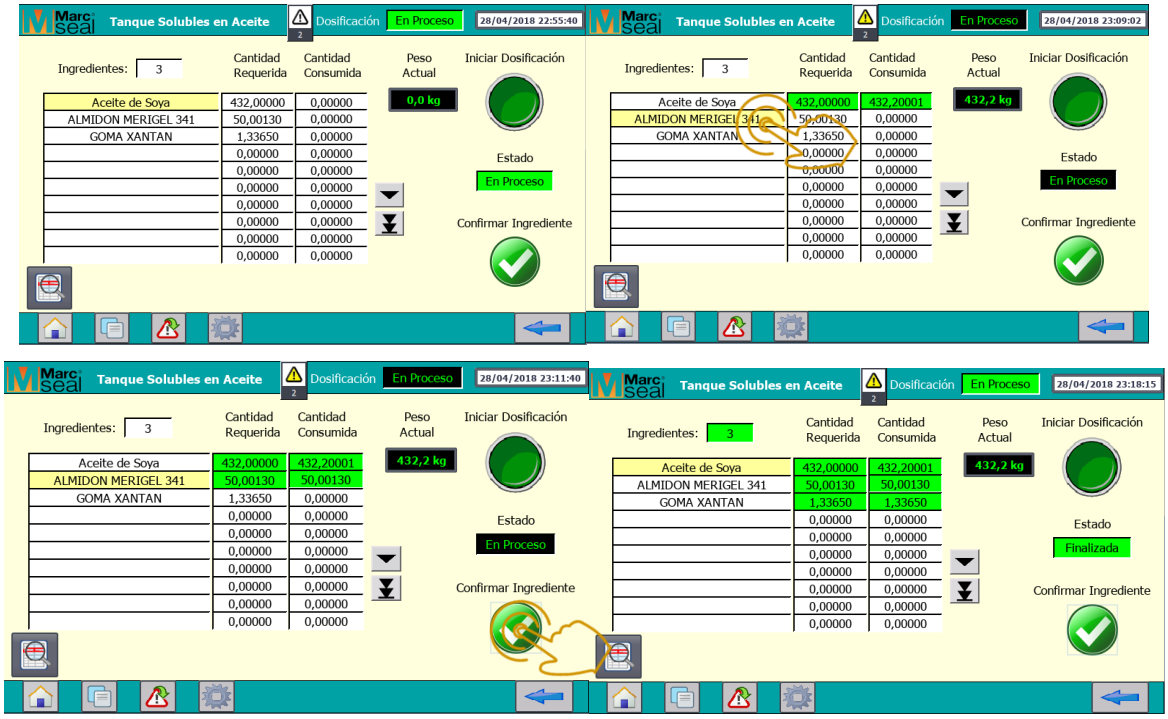


Figura VI.7. Imágenes del proceso de dosificación de los ingredientes solubles en aceite

Este proceso se repite para las dos tolvas restantes de forma similar. Y una vez concluidas las tres dosificaciones, inicia la descarga de estas tolvas hacia el mezclador principal.

Es posible comprobar que se han concluido las dosificaciones de premezcla ya que el estado de cada una cambia de “En Proceso” a “Finalizada”. No es posible iniciar la dosificación en el tanque mezclador sin que hayan finalizado las 3 dosificaciones anteriores.

Dosificación en tanque de mezcla principal

Una vez finalizadas las dosificaciones de premezcla, es posible iniciar la dosificación en este tanque siempre y cuando el peso de éste sea menor que el mínimo configurado.

Al iniciar este proceso, se enciende el agitador lento, y se espera la confirmación del ingrediente “Huevos Pasteurizados” para iniciar la descarga de las tolvas de premezcla.

Una vez confirmado el primer ingrediente se realizan las siguientes tareas:

- Abrir la válvula de descarga del tanque de cocción especial
- Encender la bomba del filtro
- Abrir la válvula de descarga del tanque de solubles en agua al 100%

La descarga continúa hasta que el tanque de solubles en agua se encuentre por debajo de los 150 kg, y después de esto se abre la válvula de descarga del tanque de solubles en aceite al 75%.

El agitador rápido se enciende por intervalos dependiendo del nivel del tanque de mezcla.

Una vez que se ha terminado la descarga de solubles en aceite, solubles en agua y cocción especial. Se inicia la dosificación de agua y/o aceite adicional, dependiendo de la receta.

La preparación de la receta finaliza cuando se han confirmado todos los ingredientes restantes. En ese momento pasa de “En Proceso” a “Finalizada” por 5 segundos, y luego a “Inactiva”.

En este lapso se realiza el procedimiento de consumo de materia prima con sus respectivos lotes en la base de datos CANORUS.

Tiempo de producción y descarga
Adicionalmente el sistema muestra el tiempo de producción, que es medido desde que el operador pulsa el botón “Iniciar Dosificación” hasta que el sistema pasa de “En Proceso” a “Inactiva”

Es posible visualizar también el tiempo de descarga, que se mide desde que finaliza el proceso de elaboración de mayonesa hasta que el peso del tanque se encuentra por debajo del mínimo configurado.

Modo Semi-Automático

El modo semi-automático se activa al colocar el selector de funcionamiento de la pantalla principal en la posición “MAN” y permite el llenado de agua o aceite en cada tolva en cantidades controladas de forma manual.

Una de las pantallas de llenado en modo semi-automático se muestra en la Figura VI.8.

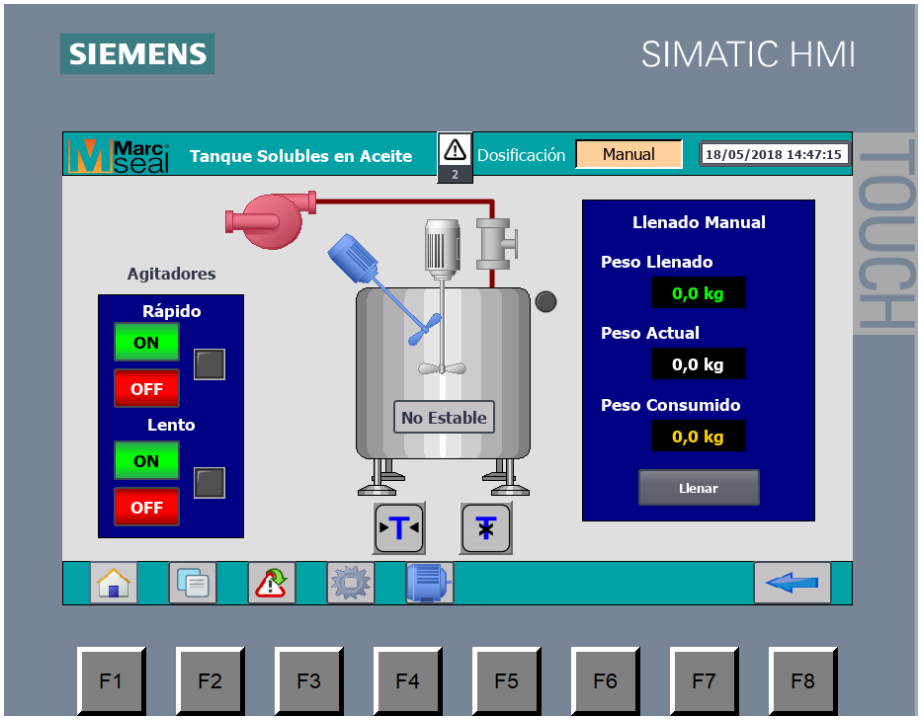


Figura VI.8. Pantalla de llenado manual del tanque de solubles en aceite

En esta pantalla se muestra el peso de llenado, peso actual y peso consumido. El peso de llenado es el peso que se va a llenar, el peso actual es el peso de la tolva en ese momento, el peso consumido es el peso que el sistema ha llenado en la última operación.

Por ejemplo, en la tolva existen 200 kg de aceite, el peso de llenado se ha configurado a 150, la tolva llenará hasta que el peso marque 350 kg.

Para iniciar el llenado es necesario que la tolva se encuentre en estado ESTABLE. Caso contrario al pulsar el botón “Llenar” no se ejecutará ninguna acción.

Adicionalmente es posible comandar los agitadores siempre y cuando los selectores de éstos se encuentren en la posición AUTO.

Este procedimiento se repite para todas las tolvas restantes de la misma manera.

Modo Manual

Este modo permite la operación manual de cada elemento de esta sección. Es necesario seleccionar el elemento para comandarlo con los botones “ON” y “OFF”, debajo de éstos se encuentra un LED que indica el estado actual. (Figura VI.9.)

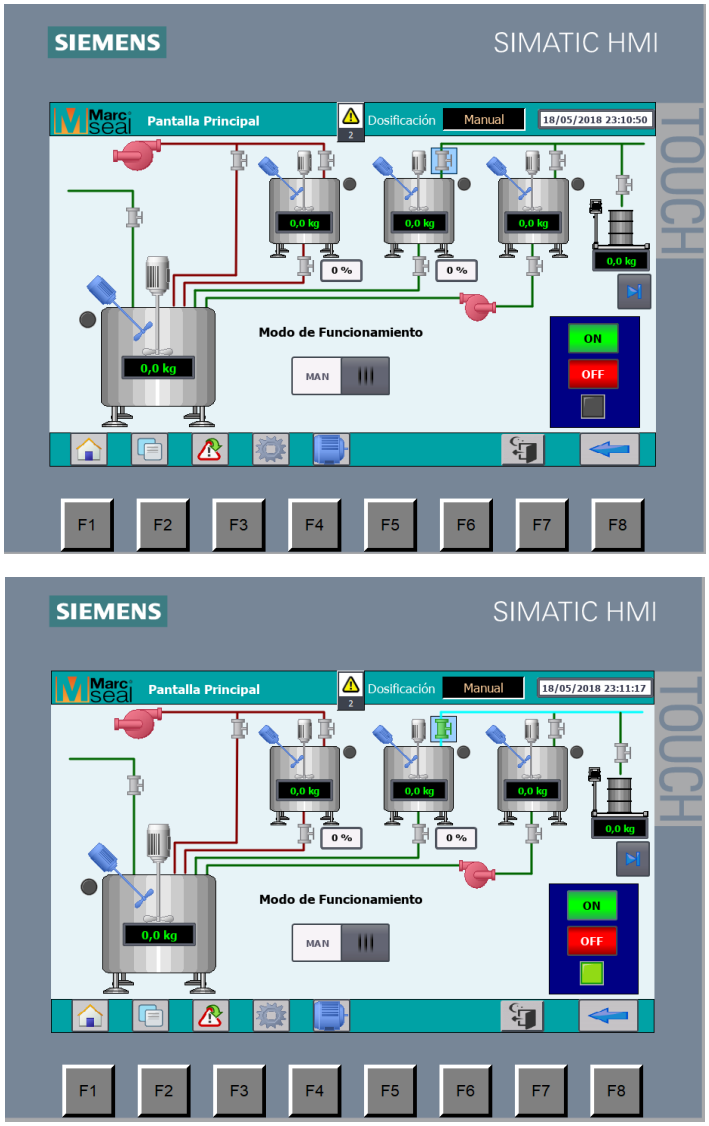


Figura VI.9. Pantalla de modo manual del área de elaboración de mayonesa

Alarmas

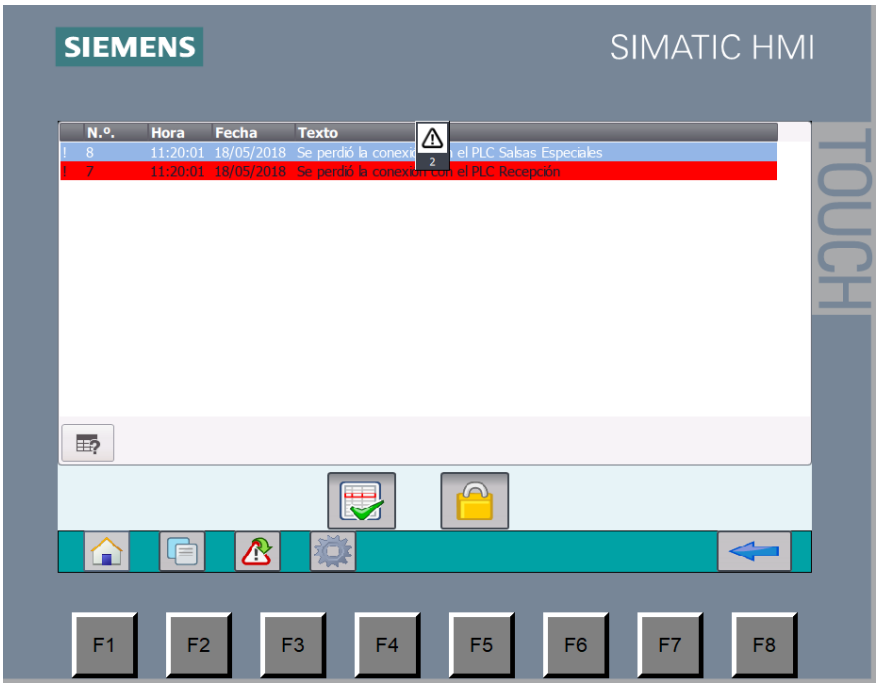


Figura VI.10. Pantalla de Alarmas

El botón para resetear las alarmas cumple la misma función que el botón F2.

El botón cuyo gráfico es un candado sirve para desbloquear el sistema. Este puede bloquearse bajo las siguientes condiciones:

- Se ha cortado el suministro eléctrico del PLC. El sistema reinicia en donde se quedó previo al corte de electricidad, pero con el sistema bloqueado.
- Se han alcanzado los niveles superiores de alguno de los tanques mientras se estaba llenando.

En esta pantalla, mostrada en la Figura VI.10., además, se visualiza el registro histórico de alarmas del sistema. Cabe mencionar que este registro es guardado en la memoria temporal de la pantalla, y permanecerá allí siempre y cuando no se apague el panel.

Pantalla de Configuración del Sistema

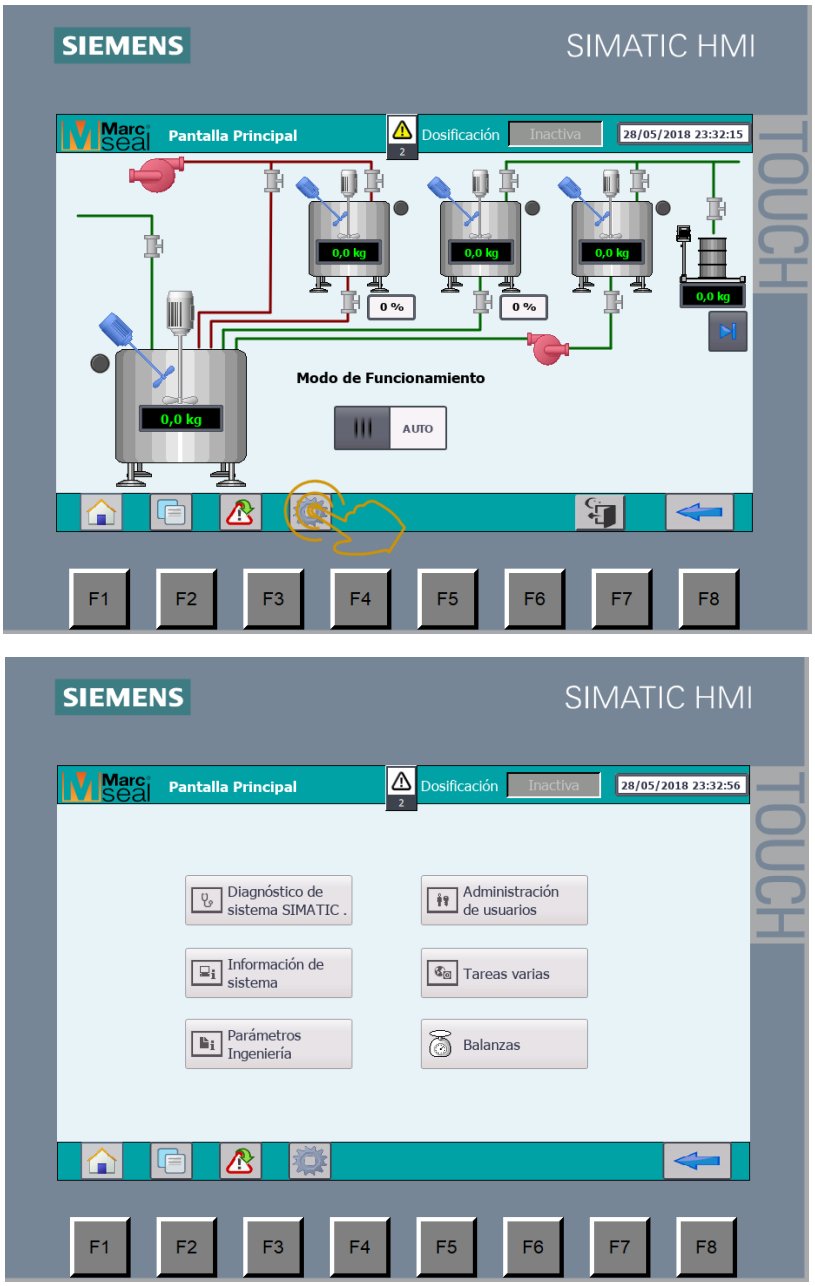


Figura VI.11. Pantalla de configuración del sistema

En esta pantalla, mostrada en la Figura VI.11., es posible realizar la configuración del sistema.

Diagnóstico de sistema SIMATIC

Esta pantalla (Figura VI.12.) muestra un diagnóstico avanzado de los PLCs de la red y su estado operativo (RUN o STOP).

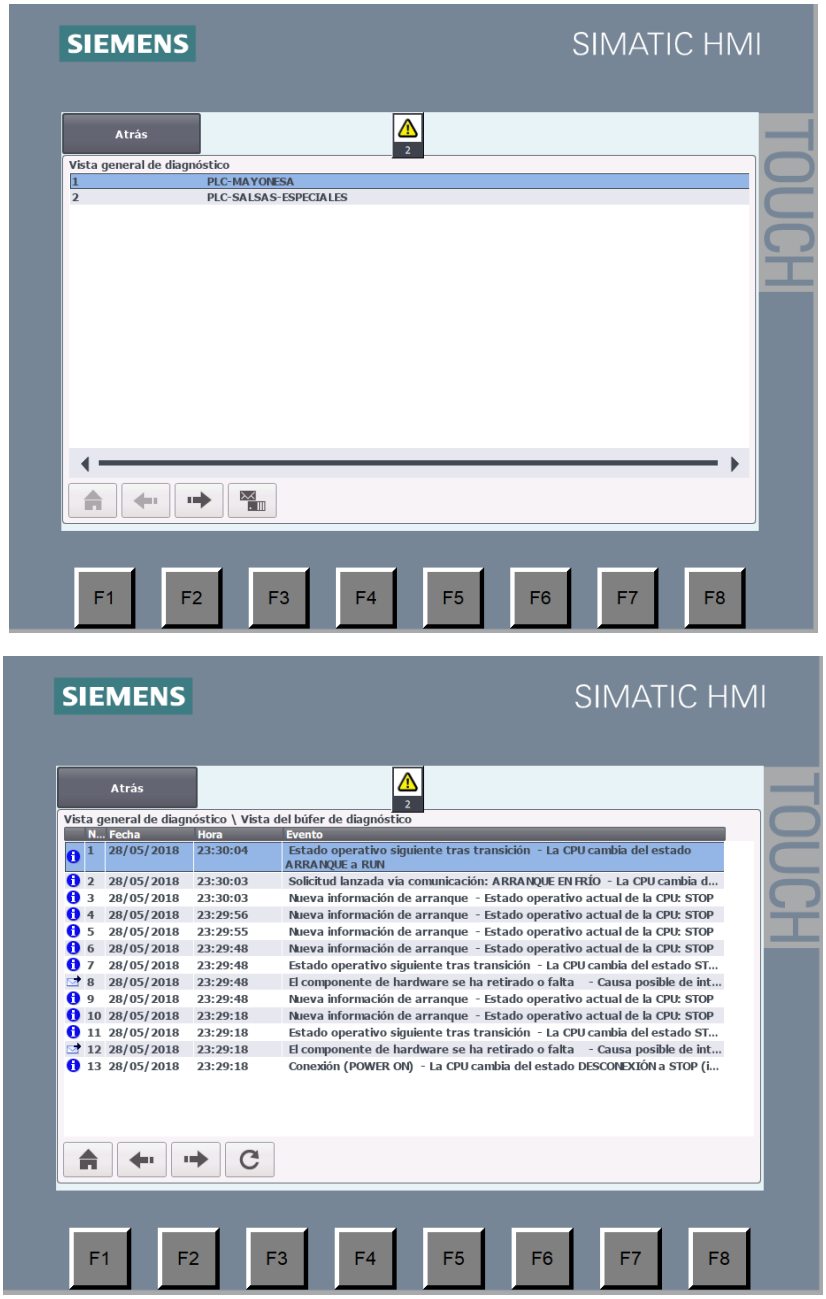


Figura VI.12. Visor de diagnóstico de los PLCs

Administración de Usuarios

En la pantalla Administración de Usuarios mostrada en la Figura VI.13. es posible visualizar los usuarios disponibles y cambiar la contraseña del usuario que se encuentre activo, adicionalmente el usuario con permiso “Administración de usuarios” puede editar las contraseñas de los usuarios restantes.

Figura VI.13. Pantalla de Administración de Usuarios

Información del sistema

Esta pantalla, mostrada en la Figura VI.14., despliega la información para asistencia técnica del sistema.

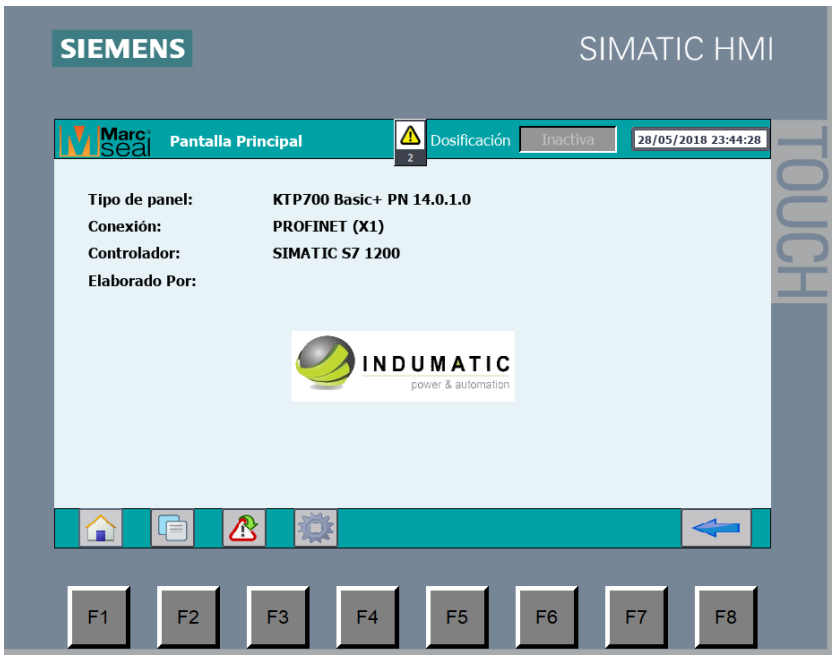


Figura VI.14. Pantalla de información del sistema

Parámetros Ingeniería

Esta pantalla, mostrada en la Figura VI.15., sirve para calibración y uso exclusivo de personal de mantenimiento o de programación.

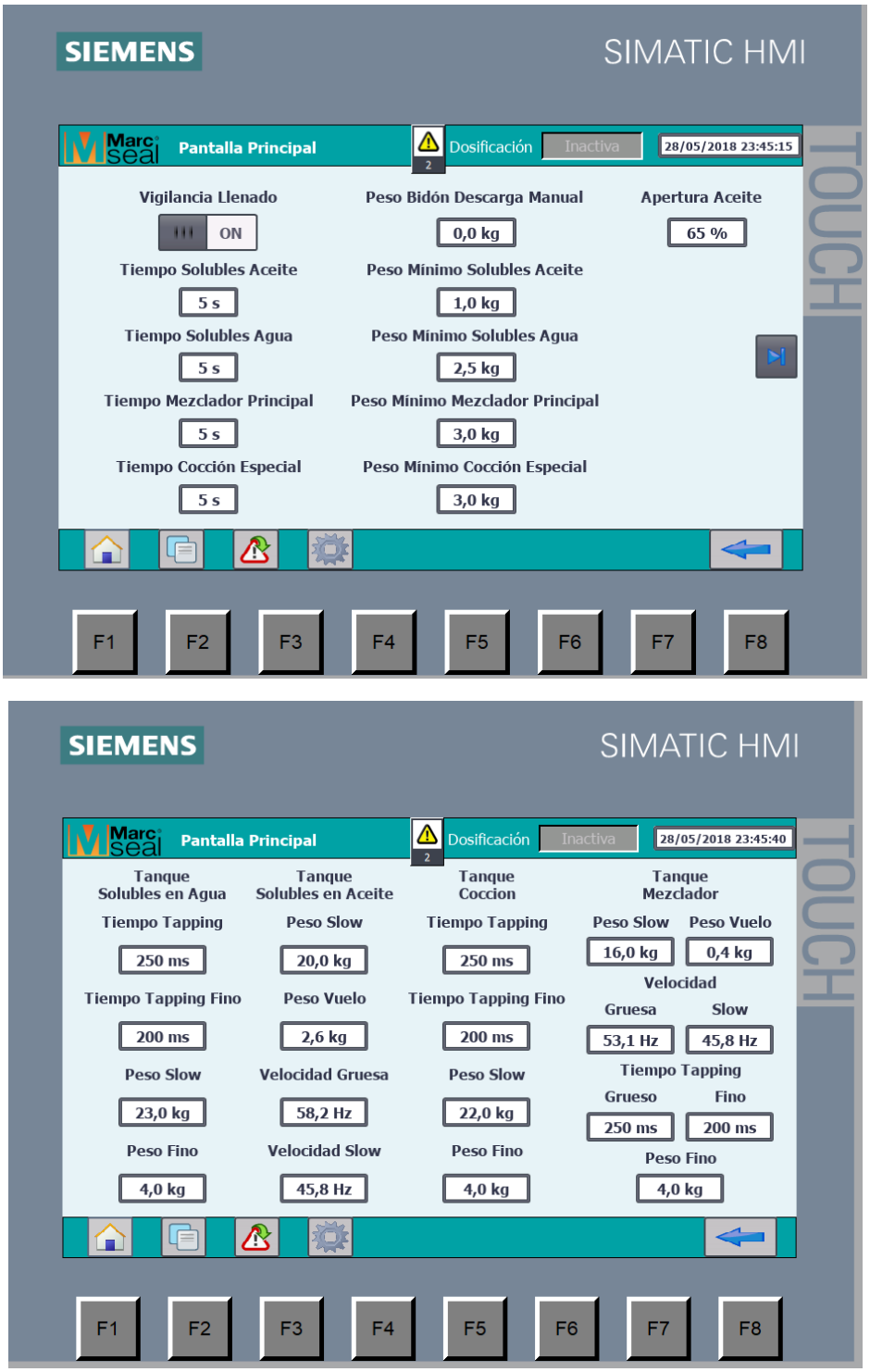


Figura VI.15. Pantallas de parámetros de ingeniería

En la Tabla VI.6. se muestra el listado de cada parámetro, su descripción, y el último valor configurado en el sistema.

Tabla VI.6. Parámetros de ingeniería de calibración y funcionamiento del sistema

Parámetro	Descripción	Último Valor Configurado
Tiempo Peso Tanque Solubles en aceite	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Tiempo Peso Tanque Solubles en agua	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Tiempo Peso Tanque Cocción Especial	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Tiempo Peso Tanque Mezclador Principal	Una vez encendido el modo de funcionamiento, es el tiempo que transcurrirá sin variación de peso en el tanque. Si después de este tiempo el peso no aumenta o disminuye se mostrará una alarma y se para la operación actual.	10 s
Vigilancia de Llenado	Selector que enciende o apaga la vigilancia para la variación de peso, configurado por los 4 tiempos anteriores.	ON
Peso Bidón Descarga Manual	Es el peso máximo que podrá tener el bidón para ser detectado en la balanza de descarga manual, un peso superior a este no será considerado como un bidón.	2.5 kg
Peso Mínimo Solubles Aceite	Es el peso mínimo del tanque para que se pueda considerar vacío e iniciar la siguiente dosificación.	5 kg
Peso Mínimo Solubles Agua	Es el peso mínimo del tanque para que se pueda considerar vacío e iniciar la siguiente dosificación.	5 kg
Peso Mínimo Cocción Especial	Es el peso mínimo del tanque para que se pueda considerar vacío e iniciar la siguiente dosificación.	5 kg
Peso Mínimo Mezclador Principal	Es el peso mínimo del tanque para que se pueda considerar vacío e iniciar la siguiente dosificación.	10 kg

Apertura Aceite	Es el porcentaje de apertura inicial de la válvula de descarga del tanque de solubles en aceite	65%
Tiempo Tapping Solubles en Agua	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación de agua en la etapa de llenado lento.	250 ms
Tiempo Tapping Fino Solubles en Agua	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación fina de agua en la etapa de llenado lento.	190 ms
Peso Slow Solubles en Agua	Es el peso para el cual comienza la dosificación en etapa de llenado lento. Para cualquier peso menor a éste, siempre empezará llenado con pulsos.	23 kg
Peso Fino Solubles en Agua	Es el peso para el cual comienza la dosificación fina en etapa de llenado lento.	4 kg
Peso Slow Solubles en Aceite	Es el peso para el cual comienza la dosificación de aceite en velocidad lenta.	20 kg
Peso Vuelo Solubles en Aceite	Es el peso de aceite que cae después de haber cerrado la válvula.	2.6 kg
Velocidad Gruesa Solubles en Aceite	Es la velocidad del variador de frecuencia para la dosificación inicial de aceite.	58.2 Hz
Velocidad Fina Solubles en Aceite	Es la velocidad del variador de frecuencia para la dosificación fina de aceite.	45.8 Hz
Tiempo Tapping Cocción Especial	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación de agua en la etapa de llenado lento.	250 ms
Tiempo Tapping Fino Cocción Especial	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación fina de agua en la etapa de llenado lento.	190 ms
Peso Slow Cocción Especial	Es el peso para el cual comienza la dosificación en etapa de llenado lento. Para cualquier peso menor a éste, siempre empezará llenado con pulsos.	23 kg
Peso Fino Cocción Especial	Es el peso para el cual comienza la dosificación fina en etapa de llenado lento.	4 kg
Peso Slow Mezclador Principal	Es el peso para el cual comienza la dosificación de aceite en velocidad lenta.	16 kg
Peso Vuelo Mezclador Principal	Es el peso de aceite que cae después de haber cerrado la válvula.	2.6 kg
Velocidad Gruesa Mezclador Principal	Es la velocidad del variador de frecuencia para la dosificación inicial de aceite.	53.1 Hz
Velocidad Fina Mezclador Principal	Es la velocidad del variador de frecuencia para la dosificación fina de aceite.	45.8 Hz
Tiempo Tapping Mezclador Principal	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación de agua en la etapa de llenado lento.	250 ms

Tiempo Tapping Fino Mezclador Principal	Es el tiempo en milisegundos de los pulsos para la dosificación fina de agua en la etapa de llenado lento.	200 ms
Peso Fino Mezclador Principal	Es el peso para el cual comienza la dosificación fina en etapa de llenado lento.	4 kg

Tareas Varías

En esta pantalla, mostrada en la Figura VI.16., es posible calibrar parámetros básicos de la pantalla, como modificar el brillo, activar una imagen que permite limpiar la pantalla, calibración táctil de la pantalla e igualar el reloj del sistema.

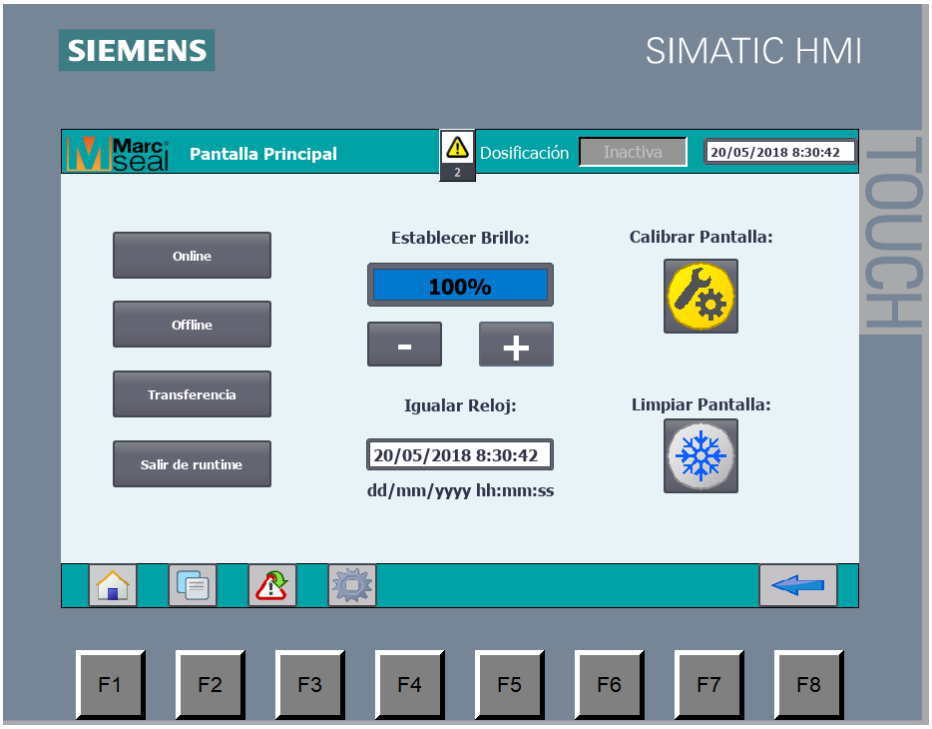


Figura VI.16. Configuraciones de pantalla

Balanzas

En esta pantalla (Figura VI.17) es posible realizar la puesta en cero y la tara de los transmisores de peso de cada tanque.

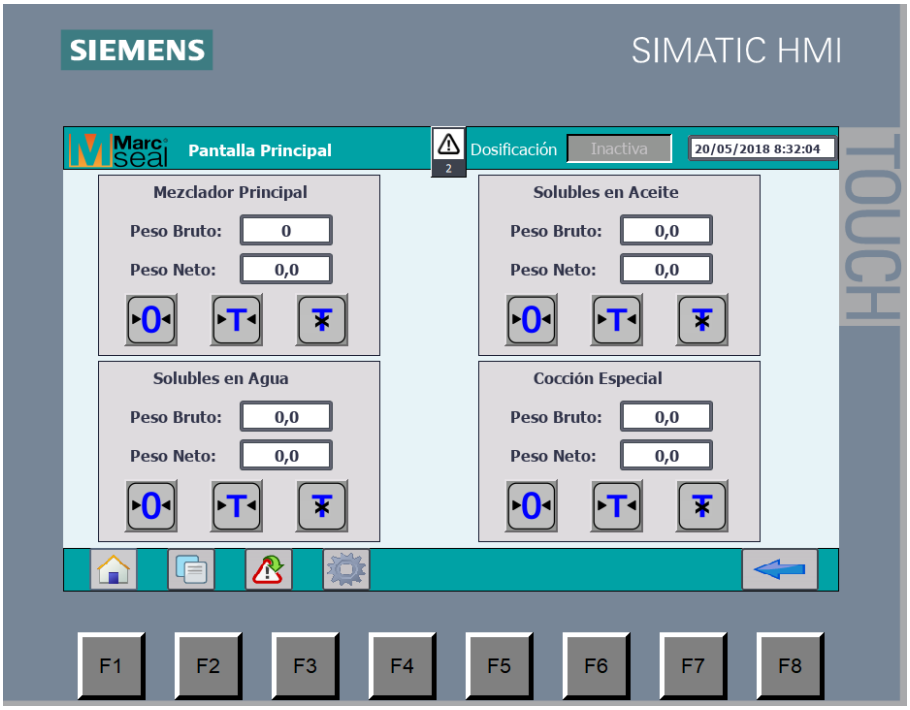


Figura VI.17. Pantalla de puesta en cero y tara de los transmisores de peso

El peso bruto y el peso neto serán iguales cuando no se encuentre ninguna tara configurada. Al aplastar el botón de tara, el peso neto muestra 0.0 kg.

Es posible realizar un encerado de las balanzas cada vez que se requiera, siempre y cuando el peso bruto sea inferior al 5% de la capacidad de la balanza.

VI.3. Diagnóstico y Alarmas

El sistema cuenta con un sistema de diagnóstico que permite determinar fallas de operación, posibles causas y posibles soluciones.

Las alarmas pueden ser de 3 categorías, esto se muestran en la Tabla VI.7.

Tabla VI.7. Categorías de alarmas del sistema

Categoría de alarma	Descripción	Símbolo	Color	Baliza
Warnings	Advertencias que no requieren de acción alguna		Amarillas cuando están activas, blancas cuando se han solucionado.	NO
Errors	Alarmas que requieren atención inmediata	!	Rojas cuando están activas, blancas cuando se han solucionado.	SI
Avisos de sistema	Avisos de estado del sistema como inicio y cierre de sesión de usuarios. No requieren ninguna acción, son de tipo informativas.	$	Blancas	NO

Además, la categoría errores encenderá la baliza.

En la Tabla VI.8. se muestra el listado de alarmas que el sistema despliega.

Tabla VI.8. Listado de alarmas del sistema

Nombre	Texto en Pantalla	Categoría	Baliza
Orden No Existe	Orden de producción no pertenece al departamento de salsas frías o la cantidad de la orden es menor a 650 kg.	Warnings	NO
Tanque Aceite No Vacío	Tanque de solubles en aceite no está vacío	Warnings	NO
Tanque Agua No Vacío	Tanque de solubles en agua no está vacío	Warnings	NO
Tanque Mezclador No Vacío	Tanque Mezclador no está vacío	Warnings	NO
Selector Bomba Dosificación	Bomba de Dosificación no está en Automático	Warnings	NO
Orden No Importada	No existe una orden de producción. Importe una orden de producción válida	Warnings	NO
Conexión PLC Niveles	Se perdió la conexión con el PLC Recepción	Errors	SI
Conexión PLC Especiales	Se perdió la conexión con el PLC Salsas Especiales	Errors	SI
Nivel Alto Aceite	Sobrellenado tanque solubles aceite	Errors	SI
Nivel Alto Agua	Sobrellenado tanque solubles agua	Errors	SI
Nivel Alto Cocción	Sobrellenado tanque cocción especial	Errors	SI
Nivel Alto Mezcla	Sobrellenado mezclador principal	Errors	SI
Nivel Tanque Almacenamiento Bajo	Aceite Insuficiente en Tanque de Almacenamiento. Seleccione otro Tanque	Errors	SI
Nivel Tanque Almacenamiento Bajo_1	Aceite Insuficiente en Tanque de Almacenamiento. Seleccione otro Tanque	Warnings	NO
Nivel Alto Aceite Manual	Sobrellenado tanque solubles aceite modo manual	Warnings	NO
Nivel Alto Agua Manual	Sobrellenado tanque solubles agua modo manual	Warnings	NO
Nivel Alto Cocción Manual	Sobrellenado tanque cocción especial modo manual	Warnings	NO
Nivel Alto Mezcla Manual	Sobrellenado mezclador principal modo manual	Warnings	NO
Aceite No Varía	Revisar Válvulas de Ingreso a Tanque Solubles en Aceite	Errors	SI
Mezcla No Varía	Revisar Válvulas de Ingreso a Tanque Mezclador	Errors	SI
Agua No Varía	Revisar Válvulas de Ingreso a Tanque Solubles en Agua	Errors	SI

Cocción No Varía	Revisar Válvulas de Ingreso a Tanque Cocción Especial	Errors	SI
OrdenAnteriorIgual	Orden Actual es Igual a Orden Anterior	Warnings	NO
DescargaNoVaría	Revisar Válvulas de Descarga Manual de Agua.	Errors	SI
ColoqueBidón	Coloque un Bidón en la balanza de descarga manual.	Warnings	NO
RevisarInventario	Revise el inventario antes de producir la orden	Warnings	NO

Si se activa alguna alarma, en la pantalla de “Alarmas” es posible desplegar una ventana de texto de ayuda que mostrará las causas del error y las posibles soluciones, como se muestra en la Figura VI.18.

Figura VI.18. Ventana de texto de ayuda de alarmas

ORDEN DE EMPASTADO